

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Matematické modelování kanalizačních sítí

**BC. Jiří Švarc**


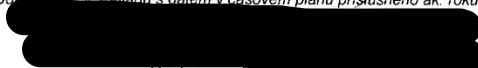
Praha 2023

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Švarc	Jméno: Jiří	Osobní číslo: 477063
Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Matematické modelování kanalizačních sítí	
Název diplomové práce anglicky: Mathematical modeling of sewage systems	
Pokyny pro vypracování: Rešerše literatury k dané problematice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Matematický model vybrané kanalizační sítě. Vyhodnocení a posouzení výsledků. Závěry a doporučení.	
Seznam doporučené literatury: Hlavínek P. a kolektiv, Stokování a čištění odpadních vod, CERM, 2003, ISBN 80-214-2535-0 Nypl V., Synáčková M., Zdravotně inženýrské stavby 30 - Stokování, ČVUT, 2002, ISBN 80-01-01729-X Krejčí V. a kolektiv, Odvodnění urbanizovaných území, NOEL 2000 s.r.o., Brno, 2001, ISBN 80-86020-39-8	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 22.09.2022	Termín odevzdání diplomové práce: 09.01.2023 <small>Údaj uváděte v souladu s datem v časovém plánu příštího ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

22.9.2022 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
------------------------------------	---

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Matematické modelování na stokové síti zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. 1. 2023



Jméno Příjmení

## Poděkování

Děkuji panu Ing. Filipu Horkému za jeho odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Zdeňku Pliskovi, Ing. Vítku Kučerovi, Ing. Stanislavu Hlavákovi, Ing. Petru Kubovi a Doc. Ing. Vladimíru Havlíkovi, CSc. za jejich ochotu při poskytnutí podkladů ke zpracování diplomové práce.

## **Anotace:**

Obsahem diplomové práce je posouzení a vypracování optimalizací výhledového stavu kanalizační sítě v Praze v programu Mike Urban. Konkrétně se jedná o kmenové stoky C, D a část kmenové stoky B. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsáno rozdělení odpadních vod. Dále se zde nachází dělení stokových systémů podle uspořádání, objekty na stokových sítích, materiály stokových sítí, hydrauliku stokových sítí, popis srážkoodtokových procesů na stokové síti a matematické modelování na stokových sítích. Praktická část je věnována aktualizaci matematického modelu kanalizačního systému. Konkrétně se jedná o aktualizaci geometrických popisů stávajících odlehčovacích komor na stokové síti a přidání nových stok a objektů. Dále byly na kanalizační síti hledány optimalizace, které by vylepšili stav na stokové síti.

## **Klíčová slova:**

Matematické modelování, Mike Urban, srážkový odtok, stokový systém, odpadní voda

## **Annotation:**

The content of the thesis is an assessment and development of optimizations of the prospective state of an existing sewer system. The specific sewers are trunk sewers C, D, and part of trunk sewer B. The thesis is divided in a theoretical and a practical part. The theoretical part describes wastewater division. Additionally, there are sewer network divisions, objects on sewer network, materials used on sewers, hydraulic of sewer systems, description of precipitation and runoff processes on sewer network and. Eventually there is a chapter about mathematical modelling of sewer systems. In the practical part there is an actualization of a geometrical descriptions of an existing and new objects or sewers. Finally at the end, there was looking for optimization of sewer network, which should improve conditions of the sewer network.

## **Key words**

Mathematical modelling, Mike Urban, storm drain, sewer system, wastewater

# Obsah

## A: Teoretická část

A. Teoretická část .....	1
1. Druhy odpadních vod a látky na stokové síti .....	1
1.1. Splaškové odpadní vody .....	1
1.2. Dešťové odpadní vody .....	1
1.3. Průmyslové odpadní vody .....	1
1.4. Infekční odpadní vody .....	1
1.5. Oplachové odpadní vody.....	2
1.6. Ostatní odpadní vody .....	2
1.7. Látky ve stokové síti .....	2
2. Dělení stokových sítí.....	4
2.1. Dělení stokových systémů podle uspořádání .....	4
2.2. Dělení stokových soustav podle systému odvodnění .....	6
2.2.1. Jednotná stoková soustava .....	6
2.2.2. Oddílná stoková soustava .....	7
2.2.3. Modifikovaná stoková soustava.....	8
2.3. Dělení stokových sítí podle způsobu dopravy vody.....	9
2.3.1. Tradiční způsoby dopravy odpadních vod .....	9
2.3.2. Alternativní způsoby dopravy odpadních vod .....	9
2.3.3. Svoz .....	10
3. Objekty na stokových sítích .....	11
4. Materiály a tvary stokových sítí.....	17
4.1. Materiály stokových sítí .....	17
4.2. Tvary stokových sítí.....	19
5. Hydraulika stokových sítí .....	22
5.1. Výpočet splaškových vod .....	22
5.2. Návrh splaškové kanalizace .....	24
5.3. Návrh dešťové kanalizace .....	25
6. Monitoring stokových sítí .....	27
6.1. Měření srážek na stokové síti.....	27
6.2. Měření průtoku na stokové síti .....	28
6.3. Kamerové inspekce.....	30

7. Srážkoodtokové procesy a popis srážkového odtoku na stokové síti .....	32
7.1. Jednoduché hydrologické modely srážkového odtoku a druhy dešťů .....	34
7.2. Výpočet srážkového procesu .....	35
7.3. Proudění ve stokové síti .....	36
7.3.1. Rovnice kontinuity .....	37
7.3.2. Saint Venantovy rovnice.....	37
8. Matematické modelování na stokových sítích .....	38
8.1. Potřebná data pro matematické modelování na stokové síti .....	39
8.1.1. Vstupní data .....	39
8.1.2. Systémová data (systémová analýza).....	39
8.1.3. Hodnoty modelových konstant a parametrů .....	40
8.1.4. Data pro kalibraci a verifikaci modelu .....	40
8.2. Kalibrace a verifikace matematického modelu .....	40
8.3. Programy používané pro matematické modelování ve vodním hospodářství ...	40
8.3.1. Mike Urban.....	41
B. Praktická část .....	48
1. Cíle práce .....	48
2. Popis zájmového území.....	48
3. Stávající stav .....	51
3.1. Analýza průtoků na stokové síti za stávajícího stavu .....	51
3.1.1. Bezdeštné průtoky na stokové síti.....	51
3.1.2. Dešťové průtoky na stokové síti .....	53
3.1.3. Měření získaná z měrných profilů B1 a D1.....	55
3.2. Stavba modelu stávajícího stavu.....	57
3.2.1. Podrobná definice geometrie objektů na stokové síti .....	57
3.2.2. Okrajové podmínky modelu.....	57
3.2.3. Předpoklady funkčnosti stokové sítě .....	58
3.3. Verifikace modelu.....	58
3.4. Výpočet modelu stávajícího stavu .....	63
3.4.1. Výpočet bezdeštného stavu .....	63
3.4.2. Vyhodnocení bezdeštného stavu .....	64
3.4.3. Výpočet dešťového stavu.....	64
3.4.4. Vyhodnocení výsledků stávajícího stavu.....	65

4. Výhledový stav.....	66
4.1. Popis modelu výhledového stavu .....	66
4.1.1. Popis nových objektů na stokové síti.....	66
4.2. Popis variant výpočtů ve výhledovém stavu .....	69
4.3. Okrajové podmínky na stokové síti ve variantách 1- 4 .....	70
4.4. Výpočet modelů variant 1 - 4.....	70
4.5. Stavba modelu výhledového stavu – stavu určeného k realizaci (Varianta 1)...	71
4.5.1. Výsledky výhledového stavu – stavu určeného k realizaci .....	71
4.6. Popis a stavba modelu provizorního stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a starou odlehčovací komorou OK 1B (Varianta 2) .....	72
4.6.1. Výsledky varianty stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a starou odlehčovací komorou OK 1B.....	73
4.7. Popis a stavba modelu provizorního novou čerpací stanicí BD a novou odlehčovací komorou OK 1B s kompletně novou výustí (Varianta 3).....	75
4.7.1. Výsledky varianty stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a novou odlehčovací komorou OK 1B s kompletně novou výustí.....	75
4.8. Popis a stavba modelu s novou čerpací stanicí BD a novou odlehčovací komorou OK 1B s použitím staré a nové výusti (Varianta 4).....	77
4.8.1. Výsledky varianty stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a starou odlehčovací komorou OK 1B s použitím staré a nové výusti.....	77
4.9. Vyhodnocení variant výpočtů 1 - 4 .....	79
4.10. Definice variant optimalizace výhledového stavu .....	80
4.11. Výsledky variant optimalizací výhledového stavu - stavu určeného k realizaci	81
4.11.1. Výsledky optimalizace 1 – zvýšení čerpání na nové čerpací stanici z 3 m <sup>3</sup> /s na 4,5 m <sup>3</sup> /s .....	81
4.11.2. Výsledky optimalizace 2 – změna výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600 .....	83
4.11.3. Výsledky optimalizace 3 – kombinace obou předchozích variant.....	85
4.11.4. Vyhodnocení variant optimalizace.....	86
5. Závěry a shrnutí.....	88
Citovaná literatura .....	0



# **A. Teoretická část**

## **1. Druhy odpadních vod a látky na stokové síti**

Odpadními vodami jsou například vody, které byly odváděny stokovou sítí, vody které byly odváděny z drenážních systémů, tekuté odpady a vody znečištěné při výrobě v průmyslu [1].

Tyto vody mají po použití změněnou jakost a jejich vypuštění by znamenalo změnu jakosti vod, se kterými by přišly do kontaktu. Dle způsobu znečištění se odpadní vody dělí na tyto druhy (viz kapitola 1.1. - 1.6.) [2].

Neznečištěné odpadní vody jsou dle zákona brány jako odpadní, pokud jsou odváděny stokovou sítí (viz kapitola 1. 7.)

### **1.1. Splaškové odpadní vody**

Splaškové odpadní vody obsahují převážně organické znečištění, jako jsou například zbytky z jídel, odpadní vody z kuchyní, koupelen, prádeln atd. [2].

### **1.2. Dešťové odpadní vody**

Dešťové odpadní vody pochází ze všech druhů atmosférických srážek, které spadly na povrch, nevsácky se a nakonec odtekly do kanalizačních stok. [2].

### **1.3. Průmyslové odpadní vody**

Průmyslové odpadní vody jsou takové vody, které byly využívány při výrobních procesech v průmyslu. U průmyslových odpadních vod záleží na druhu znečištění a u některých závodů je dokonce nutné předčištění, jelikož tyto odpadní vody nesplňují emisní nebo imisní limity (viz kapitola 1.7.1.) [2].

### **1.4. Infekční odpadní vody**

Infekční odpadní vody pocházejí z nemocnic nebo jiných zdravotnických zařízení. Obsahují chorobotvorné nebo zdraví škodlivé zárodky. Infekční odpadní vody musí

být před vypuštěním do kanalizační sítě hygienicky zabezpečeny nebo likvidovány v místě znečištění [2].

## **1.5. Oplachové odpadní vody**

Oplachové odpadní vody jsou vytvářeny například při čištění parkovišť a chodníků. Míra jejich znečištění se rovná dešťovým odpadním vodám. Tyto odpadní vody se nepoužívají při návrhu stokové sítě, protože jejich intenzita je v porovnání s ostatními dešťovými vodami zanedbatelná [2].

## **1.6. Ostatní odpadní vody**

Jedná se o odpadní vody, které nelze zařadit do předchozích skupin, například vody chladící [2].

Dále lze do ostatních odpadních vod zařadit vody, které se do stokové sítě dostaly za nepředvídatelných okolností, například voda z drobné vodoteče nebo voda z netěsností stokové sítě z okolního prostředí. Tyto odpadní vody se nazývají balastními odpadními vodami. Přítomnost těchto odpadních vod je v kanalizační síti nežádoucí, protože snižuje její kapacitu [13].

## **1.7. Látky ve stokové síti**

Látky ve stokové síti mohou být rozpustné nebo nerozpustné a dále se tyto látky dají dělit na:

- **Látky s akutním vlivem na životní prostředí**

Látky s akutním vlivem na životní prostředí vyvolávají v toku okamžitou odezvu nebo odezvu ve velmi krátkém časovém intervalu. Tyto látky vyvolávají deficit kyslíku [1].

- **Látky se zpožděně – akutním vlivem**

Látky se zpožděně akutním vlivem na životní prostředí vyvolávají odezvu po dobu několika dní. Snižují koncentraci rozpuštěného kyslíku a mohou vyvolat onemocnění některých živočišných druhů [1].

- **Látky s dlouhotrvajícími efekty**

Látky s dlouhotrvajícími efekty se projevují střádáním a zbavení se tohoto znečištění je dlouhodobá záležitost [1].

### 1.7.1. Přípustné znečištění povrchových vod

Ukazatele znečištění povrchových vod stanovuje nařízení vlády č. 401/2015. Povolení k vypouštění dává místní vodohospodářský orgán. Vypouštění do povrchových vod se řídí ukazateli M a P. U těchto vzorků se vyhodnotí CHSK, BSK, NL, N-NH<sup>+</sup> N<sub>anorganické</sub> a P<sub>celkové</sub> [12].

Tabulka 1a: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p<sup>3)</sup>, maximální hodnoty (m<sup>4)</sup> a hodnoty průměru<sup>5)</sup> koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l

Kategorie COV (EO) <sup>1)7)</sup> nebo velikost aglomerace	CHSK <sub>Cr</sub>		BSK <sub>5</sub>		NL		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> *		N <sub>celk</sub> <sup>2),8)</sup> *		P <sub>celk</sub> *	
	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4)</sup> 6)	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4)</sup> 6)	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4)</sup>
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001 - 10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001 - 100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Obrázek 1 emisní standardy [12]

Dalším hlediskem přípustného znečištění odpadních vod jsou emisní a imisní limity. Emisní a imisní limity jsou vyjadřovány způsoby, jako jsou například koncentrace nebo účinnost [11].

- **Emisní limity**

Emisní limity stanovuje vodoprávní úřad a hodnoty emisních limitů jsou stanovovány podle nejlepších dostupných technologií a ukazují množství znečištění, které může ve vyčištěné odpadní vodě zůstat před vypuštěním do recipientu [11].

- **Imisní limity**

Imisní limity jsou takové hodnoty látkového znečištění, které se po vypuštění odpadních vod z čistírny odpadních vod objeví v recipientu. Imisní limity stejně jako emisní limity stanovuje vodoprávní úřad. [14].

## 2. Dělení stokových sítí

Stoková síť je soustava stok sloužící k odvádění odpadních vod od spotřebitele a z veřejných ploch. Tyto stoky odvádí vodu do čistírny odpadních vod a následně do recipientu. Stokové sítě byly nejprve navrhovány převážně z důvodu zpomalování nebo v některých případech předcházení šířením nemocí [10].

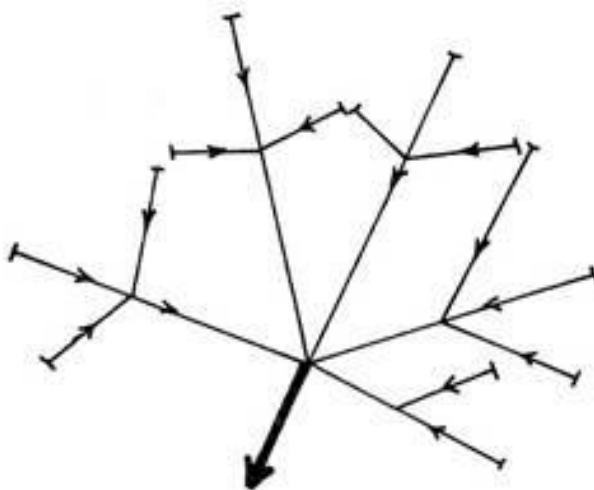
Stokové sítě lze dělit například podle jejich systémů uspořádání (viz kapitola 2.1), podle druhů stokových soustav (viz kapitola 2.2) nebo podle způsobu dopravy vody (viz kapitola 2.3).

### 2.1. Dělení stokových systémů podle uspořádání

Stokové systémy lze obecně dle jejich uspořádání rozdělit na čtyři druhy. Toto uspořádání je pak závislé například na konfiguraci terénu, způsobu zástavby nebo dispozici k recipientu. [7].

#### Radiální stokový systém

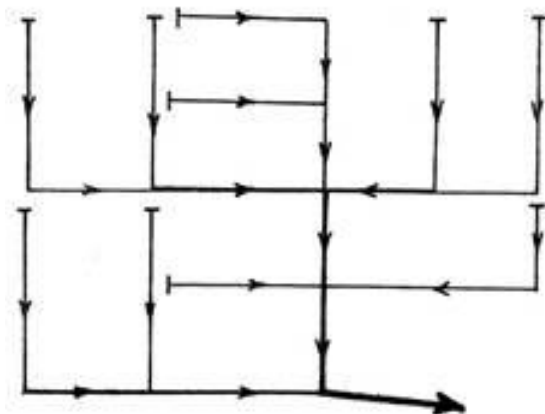
U radiálního stokového systému se stoky sbíhají v nejnižším místě. Odtud je pak voda odváděna gravitačně nebo přečerpáváním na čistírnu odpadních vod (viz Obrázek 2). [9].



Obrázek 2 Příklad radiálního stokového systému [2]

## **Větvený stokový systém**

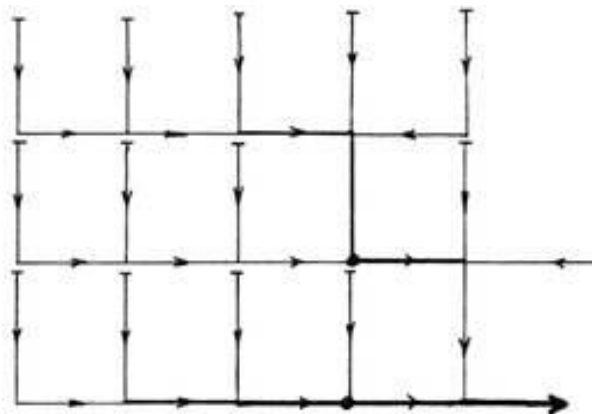
Větvený stokový systém se využívá nejčastěji ve členitém terénu. Stoky jsou vedeny co nejkratší a nejvýhodnější cestou do nejnižšího bodu v zájmovém území (viz Obrázek 3) [9].



Obrázek 3 Příklad větveného stokového systému [2].

## **Úchytný stokový systém**

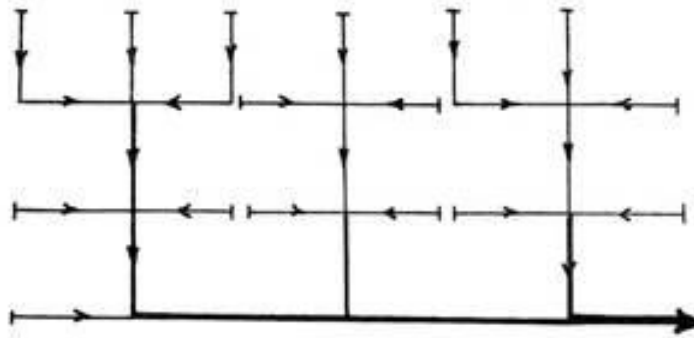
Úchytný stokový systém je používán v dlouhých a táhlých údolích. Úchytná stoka se většinou nachází podél komunikace nebo vodního toku (viz Obrázek 4). [9].



Obrázek 4 Příklad úchytného stokového systému [2].

## **Pásmový stokový systém**

Pásmový systém vzniká při návrhu několika výškových pásem stok. Toto rozdělení je využíváno pro minimalizaci čerpání a v místech, kde je nutné počítat se zdvihem odpadních vod a pro zaústění do recipientu (viz Obrázek 5) [2].



Obrázek 5 Příklad pásmového stokového systému [2].

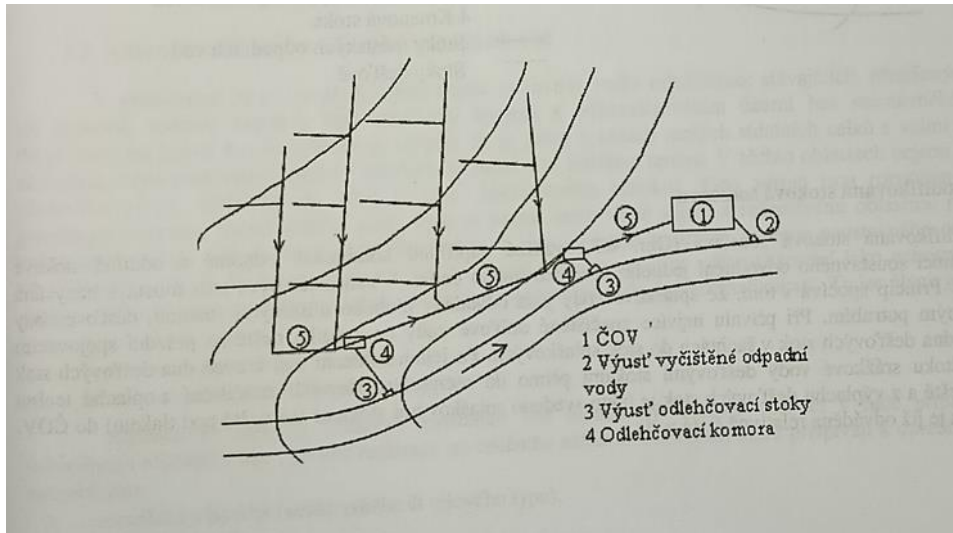
## 2.2. Dělení stokových soustav podle systému odvodnění

Ve zdravotním inženýrství se rozlišují základně tři druhy stokových soustav podle systému odvodnění. Tyto soustavy jsou pak konkrétně jednotné, oddílné a modifikované stokové soustavy.

### 2.2.1. Jednotná stoková soustava

V jednotné stokové síti jsou všechny odpadní vody dopravované ve společném potrubí na čistírnu odpadních vod. Toto má ekonomickou a technickou výhodu oproti oddílné stokové síti. Nevýhodou této soustavy je naopak zhoršení vlivu na životní prostředí a větší zatížení na provoz čistíren odpadních vod. Toto dále vede k výstavbě odlehčovacích komor (viz kapitola 3) [1].

Mezi odpadními vodami jsou takové vody například splaškové (viz kapitola 1.1), které mají stálý průtok. Oproti tomu dešťové vody mají veliké výkyvy. I když splaškové vody jsou v celoročním průměru řádově větší, tak tyto výkyvy tvoří na jednotné stokové síti problémy, které mohou dojít až k jejímu přetížení se. Znečištěná voda se pak může z kanalizace dostat do recipientu nebo na ulici [2].



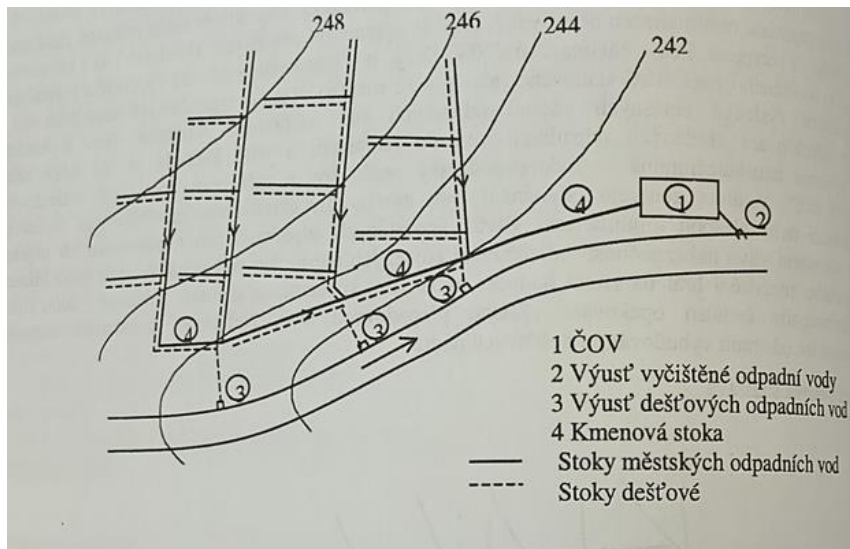
Obrázek 6 jednotná stoková soustava [1].

### 2.2.2. Oddílná stoková soustava

Principem oddílné stokové soustavy je, že odpadní vody se navzájem nesměšují. Odpadní vody jsou odváděny v samostatném potrubí. V ulici se tedy pak nachází dvě a více stok. Jednou stokou jsou odváděny splaškové vody a druhou stokou to jsou pak dešťové vody. Případně jsou v ulici další stoky, které odvádějí například průmyslovou vodu [2].

Splašková voda je zaústěna na čistírnu odpadních vod a splašková kanalizace je navržena na splaškové konstantní průtoky (viz kapitola 5.1 a kapitola **Chyba! Nenašel jsem zdroj odkazů.**).

Koncentrace znečištění v oddílné dešťové kanalizaci záleží převážně na době trvání či intenzitě deště. Oddílná dešťová kanalizace je navrhována na dešťové průtoky, jejichž definice jsou zmíněné v kapitolách 5.3 a 7 [1].



Obrázek 7 Oddělná stoková soustava [1].

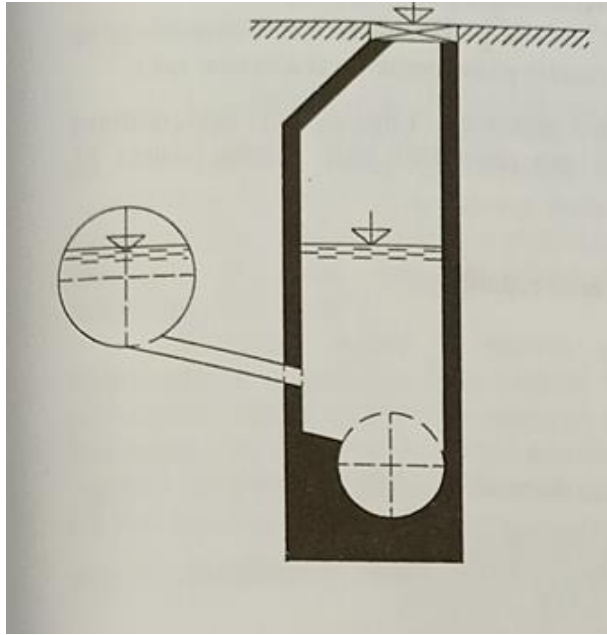
### 2.2.3. Modifikovaná stoková soustava

Modifikovaná stoková soustava je kombinací oddělné a jednotné kanalizační soustavy. Splaškové vody jsou odváděny hluboko uloženými stokami a dešťové v mělce uloženém potrubí [1].

Při přívalu nejvíce znečištěné dešťové vody se tyto vody vyprázdňují spojovacím potrubím ze dna dešťových stok v šachtách do splaškových stok. Po jejich zahlcení nad úroveň dna dešťových stok dojde k odtoku srážkové vody přímo do recipientu [7].

V České republice se modifikované stokové soustavy využívají převážně pro odvodnění menších obcí. Nejčastěji používanou modifikací bylo, že stokami pro dešťové vody jsou odváděny vody ze střech přímo do recipientu. Dešťové vody ze znečištěných ploch, například z komunikací, byly pak odváděny na čistírnu odpadních vod [7].





Obrázek 8 Modifikovaná stoková soustava [1].

## 2.3. Dělení stokových sítí podle způsobu dopravy vody

Způsoby dopravy vody lze obecně rozdělit na tradiční způsoby dopravy vody, alternativní způsoby odvádění odpadních vod a svoz.

### 2.3.1. Tradiční způsoby dopravy odpadních vod

U tohoto způsobu dopravy vody je hlavním cílem jednoduchost a spolehlivé provozování. Jedná se o jednotné nebo oddílné gravitační kanalizační soustavy. Tlakové nebo podtlakové systémy jsou využívány jen v nezbytných případech [1].

### 2.3.2. Alternativní způsoby dopravy odpadních vod

Tento způsob dopravy se využívá převážně u oblastí s roztržitou zástavbou, příměstských oblastí s plochým reliéfem terénu. Tyto způsoby se dělí na kanalizaci tlakovou a kanalizaci podtlakovou [1].

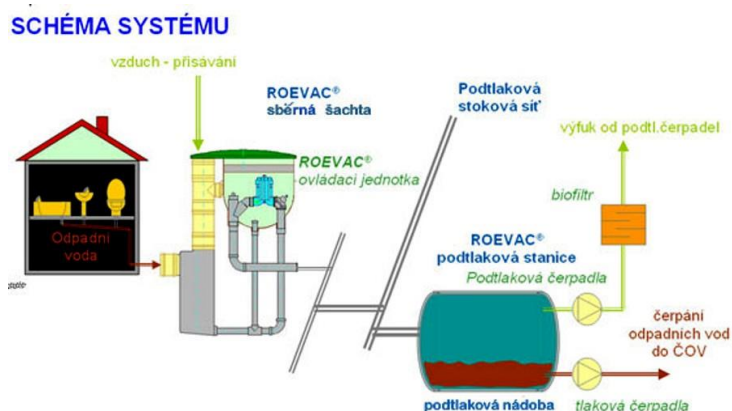
### Tlaková kanalizace

Principem tlakové kanalizace je přetlak uvnitř stokové sítě. Tento přetlak je umožněn čerpadly, která jsou umístěna v čerpacích stanicích. Do čerpacích stanic je přítok většinou gravitační a odtud je pak odpadní voda přečerpávána na čistírnu odpadních vod [1].

## Podtlaková kanalizace

Rychlost dopravovaných splašek je 6 – 8 m/s bez ohledu na spád. Voda není dopravována jako u ostatních systémů, ale jedná se o uzavřený vodní sloupec. Tento vodní sloupec je dodáván po určitých časových intervalech [1].

Odpadní vody jsou shromážděny v centrální podtlakové stanici a odtud jsou přečerpávány do další stokové sítě [20].



Obrázek 9 schéma podtlakové kanalizace [20]

### 2.3.3. Svoz

Jedná se vývoz septiků, domovních čistíren odpadních vod a jímek zachycujících odpadní vody. Pro tyto účely se využívá fekální vůz [8].

### **3. Objekty na stokových sítích**

Stoková síť se skládá ze stokových úseků a objektů. Objekty jsou na stokové síti navrhovány pro zajištění správné funkce stokové sítě, jednotlivé objekty jsou dále zpřehledněny níže [1].

#### **Dešťové vpusti**

Dešťové vpusti slouží k odvodnění vozovek, chodníků a zpevněných ploch. Dešťové vpusti se dělí na uliční nebo chodníkové [2].

Uliční vpusti se nacházejí na pozemních, komunikacích nebo jiných zpevněných plochách a slouží k zachycování srážkového odtoku na dané ploše. Zpravidla hltnost jedné uliční vpusti je 10 - 25 l/s a maximální plocha, na kterou je připojena může být maximálně 400 m<sup>2</sup> [61].

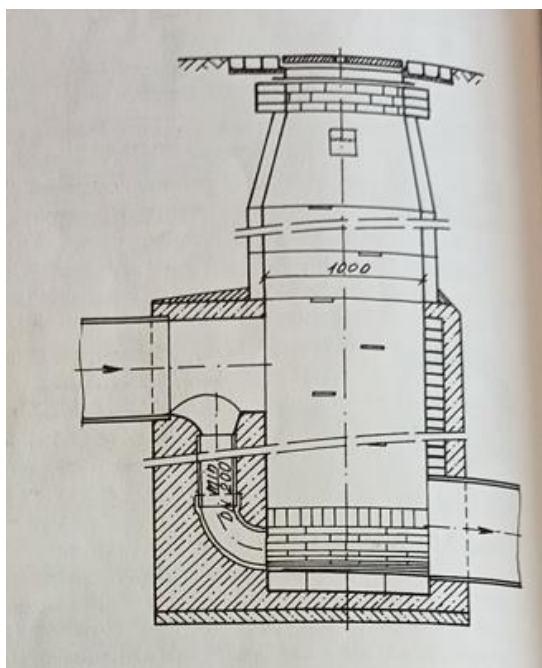
Chodníkové vpusti mají obdobné využití jako uliční vpusti. Chodníkové vpusti se navrhují na místech, kde je třeba zachovat plynulý provoz na pozemních komunikacích [1].

#### **Vstupní šachty**

Vstupní šachty se navrhují v místech stokové sítě, kde se mění směr přímých úseků stok, mění se sklon stoky, spojují se dvě a více stok, rozdělení úseků delších než 50 m, konce a začátky stokových sítí, apod. [3], [1].

#### **Spadiště**

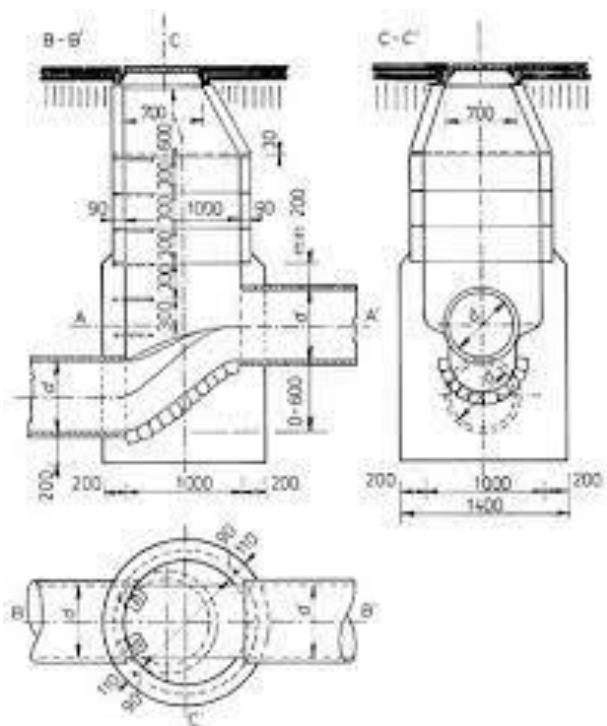
Spadiště na stokové síti slouží k překonání výškových rozdílů na stokové síti. Jedná se o tzv. stupeň na dně stok. Pro převedení splaškových vod a malých průtoků se používá obtokové potrubí a dešťové průtoky potom přepadají na dno spadiště [2], [3].



Obrázek 10 Příklad spadiště na stokové síti [2]

## Skluzy

Skluzy jsou funkcí obdobné spadištím, slouží k překonání velkých sklonů na stokové síti. Limitem pro použití skluzu je průtoková rychlost 5 – 10 m/s. Energie z přepadu je tlumená na konci skluzu například pomocí železobetonových rozrážců [3], [1], [2].



Obrázek 11 Příklad skluzu na stokové síti [7]

## Odlehčovací komory

Odlehčovací komory slouží k odlehčení zatížení na čistírnu odpadních vod při deštích. Při určitém průtoku voda v odlehčovací komoře přepadá do odlehčovací stoky a odtud voda odtéká do recipientu nebo dešťové nádrže [2], [3], [1].

Nevýhodou odlehčovacích komor je zanášení nevyčištěné vody ze stokové sítě rovnou do recipientu [2].

V problematice stokování existuje mnoho druhů odlehčovacích komor. Volba jejich druhu je podmíněná ztrátami na výšce k čistírně odpadních vod, směrové dispozici přítoku a odtoku k čistírně odpadních vod [2].

Před vtokem do odlehčovací komory se navrhuje škrťací trať, která slouží k zmírnění přítoku do odlehčovací komory. Škrťací trať je navržena tak, aby byl zaručen plynulý bezdeštný odtok [4].

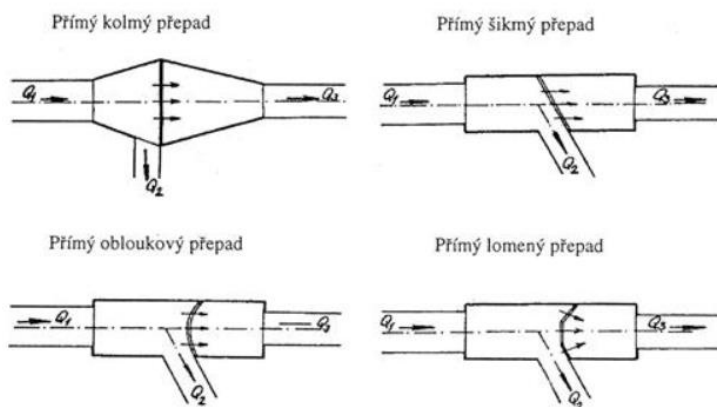


*Obrázek 12 Příklad odlehčovací komory [5]*

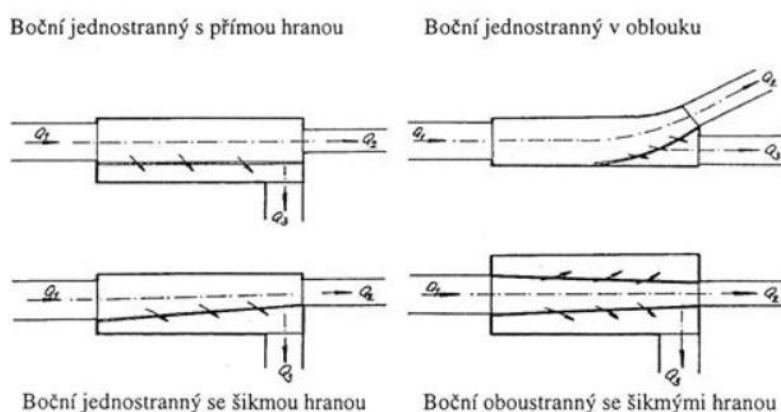
Při navrhování a řešení stokových sítí existuje celá řada odlehčovacích komor. Mezi základní a nejpoužívanější typy odlehčovacích komor řadíme například:

- **Odlehčovací komory s přepadem bez regulace**

V odlehčovacích komorách lze navrhnout několik druhů přepadů, nejčastěji se však navrhují přepady přímé a přepady boční. V odlehčovacích komorách s přímým přepadem je odlehčování prováděno ve směru přívodní stoky a v odlehčovacích komorách s bočním přepadem je odlehčení prováděno od směru přívodní stoky [1].



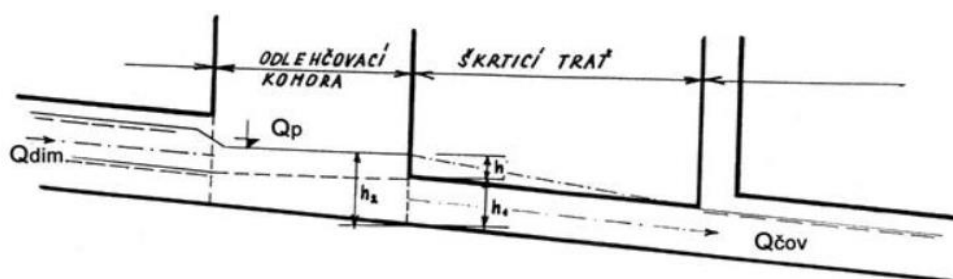
Obrázek 13 Odlehčovací komory s přímým přepadem [2]



Obrázek 14 Odlehčovací komory s bočním přepadem [2]

- **Odlehčovací komory se škrťací tratí s přepadem**

Škrťací trať má za úkol zpomalit odtok z odlehčovací komory na čistírnu odpadních vod. Škrťací trať se provádí vložением úseku potrubí s menším průměrem než je stoka vedoucí k čistírně odpadních vod mezi odlehčovací komoru a již zmíněnou stoku vedoucí k čistírně odpadních vod. Škrťací trať se kombinuje s přepadem přímým nebo bočním [1].



Obrázek 15 Odlehčovací komory se škrťací tratí [2]

- **Odlehčovací komory s přepadajícím paprskem**

Principem tohoto typu odlehčovacích komor je rozdělení přepadajícího paprsku vody. Bezdeštné průtoky propadají do žlábků, odkud odtékají k čistírně odpadních vod. Při větších průtocích potom dojde k rozdělení paprsku a přebytečná voda přepadá do recipientu [1].

### **Dešťové nádrže**

Dešťové nádrže se navrhují na stokové síti z důvodů snížení zanesení znečištěných vod do recipientu, zmírnění přívalové vlny vedenou stokovou sítí na čistírnu odpadních vod, zmírnění přívalové vlny dešťových vod před jejich zaústěním do vodního vtoku [2].

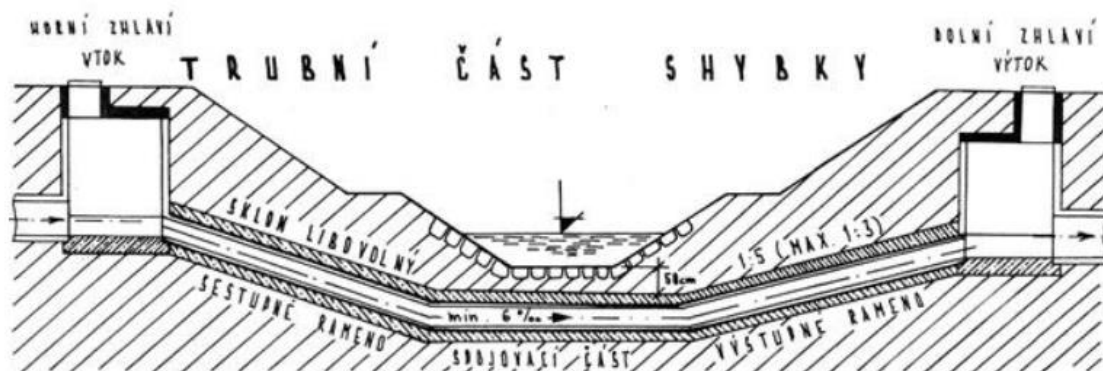
Dešťové nádrže jsou vybavené komorou s přepadem do recipientu, čerpací stanicí, štěrbinou ve stěně sloužící k regulaci odtoku, ovládní odtoku na čistírnu odpadních vod, nornou stěnou sloužící k zachycení plovoucích nečistot a ropných látek, zařízením na oplach a čištění nádrže [2], [1].



Obrázek 16 Příklad dešťové nádrže [6]

## Shybky

Shybka je objekt, který slouží k překonání vodního toku, jiných stok, komunikací, apod. Shybka se používá pouze v případech, kdy se nelze překážce vyhnout samospádem s volnou hladinou [1].



Obrázek 17 Příklad shybky [7]

## Čerpací stanice

Potřeba čerpací stanice na stokové síti je dána reliéfem terénu návrhového území. Konkrétně se čerpací stanice navrhují na stokových sítích například v případech, kdy není možné dosáhnout při návrhu minimálního sklonu stok nebo při návrhu skupinové čistírny odpadních vod [1].

Čerpací stanice jsou složeny z uzavřené mokré jímky, kam přitékají odpadní vody. Z této jímky je odpadní voda pomocí čerpadel přečerpávána do výše osazeného gravitačního potrubí nebo do tlakové kanalizace [1].



## 4. Materiály a tvary stokových sítí

### 4.1. Materiály stokových sítí

Nejčastěji používanými materiály na stokových sítích jsou beton, litina, plast a kamenina. Stokové sítě jsou velmi agresivním prostředím, proto navrhovaný materiál musí být navržen tak, aby odolával nejenom chemickým a biologickým vlivům okolního prostředí a dopravované odpadní vody, ale i vnějšímu zatížení působícímu na materiál [2], [62].

#### Kameninové potrubí

Kamenina je vysoce odolný a tvárný materiál. Tyto vlastnosti jsou zajištěny zejména pomocí glazury. Životnost tohoto kameninového potrubí je výrobcem zaručována až 100 let. Potrubí je spojováno hrdlovými spoji a jejich těsnění je zajišťováno těsníci kroužky nebo spojkami určenými pro protlaky. Kameninové potrubí je většinou vyráběno v profilech DN 100 až DN 1000. Výhodou kameninové kanalizace je velká chemická odolnost. Naopak největší nevýhodou kameninového potrubí je velká hmotnost [15], [16], [17], [18].

#### Betonové potrubí

Betonové potrubí je v této době nejvíce rozšířeným kanalizačním potrubím v České republice. Nejčastěji se používá pro stavbu dešťových kanalizací. Spoje betonových kanalizačních potrubí jsou prováděny pomocí těsnících kroužků na jedné straně potrubí, do které se pak zasouvá opačná část druhého potrubí. Betonové potrubí se vyrábí běžně v rozměrech DN 300 – DN 1500 a v atypických rozměrech až DN 2500. Výhodou betonových potrubí je únosnost a životnost. Nevýhodou je pak náchylnost potrubí k abrazi a velká hmotnost materiálu [15], [18].

#### Litinové potrubí

Litinové potrubí je dle vlastností jedním z nejdolnějších materiálů a jeho životnost může být až 120 let. Naopak velkou nevýhodou litiny je cena. Litinové potrubí využívané na stokové sítě je opatřeno vnitřní cementomaltovou vystýlkou, která je

odolná vůči korozi, toto opatření pak umožňuje odvádění odpadních vod s pH 4 – 12. Spoje litinového potrubí jsou prováděny jako hrdlové [18], [63].

### **Čedičové potrubí**

Čedičové potrubí se v praxi nevyužívá z mnoha důvodů, například vysokých nákladů. Obecně je čedič velmi odolný materiál, který se velmi často používá jako obklad v odlehčovacích nebo rozdělovacích komorách kvůli odolnosti vůči otěru [15].

### **Zděné stoky**

Zděné stoky jsou již spíše historickým materiálem. První pražská kanalizace byla postavena z běžných cihel atypických rozměrů 240x115x71mm. Některé tyto stoky jsou dodnes v provozu a to nejen v České republice, ale i ve světě. Zděné stoky jsou stavěny do vejcovitého nebo kruhového tvaru větších rozměrů (viz kapitola 4.2). Spoje zděných stok jsou prováděny pomocí malty. Obecně lze jako zdící prvky použít kámen, keramické cihly, čedičové cihly, keramické tvárnice [19].

### **Plastové potrubí**

Plastové potrubí je využíváno spíše pro stokové sítě menších průměrů nebo se velmi často využívají pro domovní rozvody odpadních vod. Plastové potrubí se dá dále rozdělit na [15]

- **PVC**

Polyvinylchlorid (PVC) je jedním z prvních materiálů využívaný pro stavbu stokových sítí. Výhodami kanalizačních potrubí z PVC jsou hladký vnitřní povrch a statická únosnost. Naopak nevýhodami jsou neodolnost proti UV záření a špatné samočistící vlastnosti. Spoje potrubí jsou prováděny pomocí těsnících kroužků [21]

- **Žebrované potrubí polyethylene PE-HD**

Polyethylenové potrubí se vyznačuje velmi dobrými mechanickými a chemickými vlastnostmi. Nevýhody PE-HD jsou totožné s PVC potrubím. Spoje PE-HD jsou prováděny pomocí svorek nebo svařováním [21]

- **Žebrované a hladké kanalizační potrubí (polypropylen - PP)**

Polypropylenové kanalizační potrubí (PP) je oproti ostatním materiálům relativně mladé (25 let) a díky svým vlastnostem je stále více používáno. Výhodou je snadná instalace, odolnost proti opotřebení a vysoká odolnost proti abrazivním vodám [21].

- **PET kanalizační potrubí**

PET kanalizační potrubí se využívá pro stavbu potrubí o velkých rozměrech. Skládá se z nenasyčené polyesterové pryskyřice, skleněných vláken a pryskyřice. Výhodami PET potrubí jsou dobrá chemická odolnost a odolnost proti chladu a teplu, naopak nevýhody PET potrubí jsou stejné jako ty, které se dají nalézt u ostatních plastových potrubí [21].

## **4.2. Tvary stokových sítí**

V současnosti se používají čtyři základní tvary pro navrhování stok, a to jsou kruhový, tlamový a vejčitý (Viedeňský a Pražský normál). Tvar stok se vybírá pomocí hydraulických, statických a geologických požadavků. [1], [2].

### **Kruhový profil**

Kruhový profil se používá převážně z hlediska jednodušší konstrukce, čištění a možnosti prefabrikace, ale jsou staticky méně výhodné. Kruhové stoky jsou definovány vnitřním nebo vnějším průměrem [2].

Kruhové profily se podle rozměru (DN) pro potřeby údržby dají rozdělit na:

- Neprůlezná
- Průlezná
- Průchozí

Neprůlezná profily jsou všechny profily do průměru DN 800, průlezná profily jsou mezi průměry DN 800 – 1500 a průchozí profily jsou větší než průměry DN 1500. [22]

Minimálními rozměry gravitačních stok jsou DN 250 nebo DN 300. Průměr DN 250 je potom minimálním průměrem pro kameninu a plasty. Průměr DN 300 je potom minimálním průměrem pro ostatní materiály a pro kanalizační stoky v Praze [1].

Tabulka 1 Příklady kruhových profilů [1]

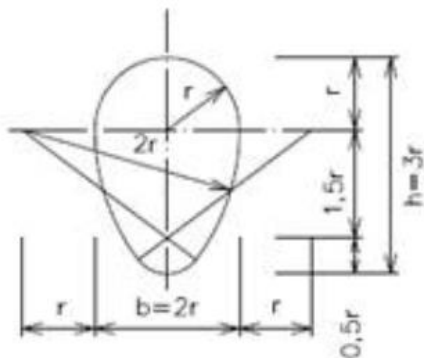
DN [mm]	50	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600
	1800	2000	2200	2400	Větší se doporučuje navrhovat po 200 mm.					

## Vejtčný profil

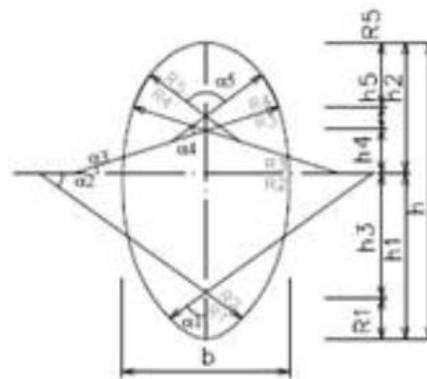
Vejtčné profily mají nejlepší hydraulické vlastnosti a jsou staticky nejvýhodnější, ale nevýhodou je, že vejtčný profil lze navrhnout jen při dostatečné výšce nadloží. Tvar vejtčitého profilu je dán poměrem šířky a výšky profilu [1].

U vejtčných a tlamových profilů je průřeznost a průchodnost profilů dána minimální šířkou 600 mm a minimální výškou 1500 mm. Profily s menší šířkou než je 600 mm a výškou 1500 mm jsou průřezné a profily s šířkou větší než je 600 mm a výškou 1500 mm jsou průchozí [1].

Vejtčný (vídeňský)



Vejtčný (pražský normál)



Obrázek 18 Příklady vejtčných profilů [22]

## Tlamový profil

Tlamové profily jsou hydraulicky a staticky nejméně výhodné. Tlamové profily jsou navrhovány v geologicky nepříznivých podmínkách, jako je například nízké nadloží [1].



*Obrázek 19 Příklad tlamového profilu [23]*

## 5. Hydraulika stokových sítí

### 5.1. Výpočet splaškových vod

Splaškové vody jsou znečištěné odpadní vody, které se do kanalizace dostávají z obytných budov, průmyslových budov, apod. (viz kapitola 1).

Výpočet množství splaškových odpadních vod z obytných budov vychází ze specifické denní potřeby vody dané vyhláškou č.428/2001 sb. příloha 12 (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) [24].

$$Q_d = q * O * k_d \quad (1)$$

Kde  $q$  je specifická potřeba vody, pro Prahu byla v roce 2021 113 l/os/den (v roce 1989) byla 202 l/os/den [25], [26]

$O$  je výhledový počet obyvatel

$k_d$  je součinitel denní nerovnoměrnosti

Po výpočtu maximálního denního průtoku ( $Q_d$ ) se spočítá maximální a minimální hodinový průtok, kde se vypočítaný maximální denní průtok přepočítá pomocí součinitelů minimální a maximální hodinové nerovnoměrnosti (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) a poté se určí  $Q_{dim}$ , který se rovná dvojnásobku  $Q_D$  [2].

$$Q_h = q * O * k_d * \frac{k_h}{24} \quad (2)$$

$$Q_{min} = q * O * k_{min} * \frac{k_{min}}{24} \quad (3)$$

$Q_h$  – maximální hodinový průtok

$Q_{min}$  – minimální hodinový průtok

$k_h$  – součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti

$k_{min}$  – součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti

Balastní vody se počítají jako procenta z celkové produkce splaškových vod.

Vypočítané hodnoty maximálního a minimálního hodinového průtoku se pak používají pro výpočet bilance bezdeštných průtoků (viz rovnice 4-7).

Průměrný bezdeštný denní průtok

$$Q_{24,m} = Q_{24obyv} + \sum Q_{24splZ} + \sum Q_{24průmZ} + Q_B \quad (4)$$

Maximální bezdeštný denní průtok

$$Q_d = Q_{dobyv} + \sum Q_{dsplZ} + \sum Q_{dprůmZ} + Q_B \quad (5)$$

Minimální bezdeštný denní průtok

$$Q_{min} = Q_{minobyv} + \sum Q_{hspl(3)} + \sum Q_{hprům(3)} + Q_B/24 \quad (6)$$

Maximální hodinová potřeba

$$I. Q_h = Q_{hobyv} + \sum Q_{hspl(2)} + \sum Q_{hprům(2)} + Q_B/24$$

$$II. Q_h = Q_d/24 + \sum Q_{hspl(1)} + \sum Q_{hprům(1)} + Q_B/24$$

(7)

Pro výpočet objektů, které není možné připojit na čistírnu odpadních vod, se vychází z veličiny nazývané ekvivalentní obyvatel (EO). Ekvivalentní obyvatel vyprodukuje průměrně 120 – 150 l/den se znečištěním 60 g BSK<sub>5</sub>/den [27].

Tabulka 2 součinitele hodinové nerovnoměrnosti [2]

Počet příp obyvatel	30	40	50	70	100	300	400	500
$k_h$	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6
$k_{min}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet příp obyvatel	1000	2000	5000	10000	20000	30000	50000	100000
$k_h$	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5
$k_{min}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5

Byty.

1. na jednu osobu bytu s tekoucí studenou vodou mimo byt za rok 15 m<sup>3</sup>
2. na jednu osobu bytu bez tekoucí teplé vody (teplé vody na kohoutku) za rok 25 m<sup>3</sup>
3. na jednu osobu bytu s tekoucí teplou vodou (teplá voda na kohoutku) za rok 35 m<sup>3</sup>

Obrázek 20 Směrná čísla roční potřeby z vyhlášky č.428/2001 sb příloha 12 [67]

## 5.2. Návrh splaškové kanalizace

Po výpočtu množství splaškových vod (viz kapitola 5.1) je zvolen sklon a dimenze (DN) potrubí. Dle těchto zvolených hodnot se pomocí tabulek určí kapacitní průtok potrubím ( $Q_{kap}$ ) a kapacitní rychlost potrubím ( $v_{kap}$ ). Poté pomocí součinitele  $\lambda_1$  určíme tabulkově součinitel  $\kappa$ . Pomocí součinitele  $\kappa$  se určuje skutečná rychlost odpadní vody a nakonec pomocí  $\lambda_2$  se určí výška plnění v daném profilu [2], [64].

$$\lambda_1 = (Q_{24}/Q_{KAP}) \cdot 100 \quad (8)$$

$$\lambda_2 = (Q_{max}/Q_{KAP}) \cdot 100 \quad (9)$$

I [%]	DN [mm]	$Q_{kap}$ [l/s]	$v_{kap}$ [m/s]	$v_{sk} [Q_{24}]$ [m/s]	h [cm] ( $Q_{max}$ )

Obrázek 21 Postup při návrhu splaškové kanalizace [2]

Posouzení návrhu kanalizace lze provést pomocí výpočtu tečného napětí. Hodnota tečného napětí musí být vždy větší než 4 Pa [29].

$$T_u = \rho \cdot g \cdot R \cdot I \quad (10)$$

kde

$\rho$  je hustota vody v  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$g$  – gravitační zrychlení v  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

$R$  – hydraulický poloměr v m

$I$  – sklon stoky uváděný desetinným číslem.



## 5.3. Návrh dešťové kanalizace

Racionální metody se využívají k prvotnímu návrhu stokových sítí. Racionální metody jsou obecně děleny na metody, které předpokládají, že maximum průtoku způsobí kritické deště, na metody, při kterých je vyhledáván déšť obecně kratší než je trvání deště kritického a na metody retardační [2], [9].

### Součinitel odtoku

Součinitel odtoku popisuje jev na povodí, který ukazuje, že veškerá voda, která spadne při srážkové události na povrch neodteče, ale část spadlé vody se například vsákne nebo vypaří [2].

Hodnota tohoto součinitele je vždy menší než 1 a u každého povrchu je velmi odlišná. Dále u hodnot součinitele odtoku záleží na sklonu daného povrchu [30], [31].

Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
	Součinitel odtoku srážkových povrchových vod $\Psi$		
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce větší než 100 mm (střešní zahrady)	0,7 <sup>1)</sup>	0,7 <sup>1)</sup>	0,7 <sup>1)</sup>
Střechy s vrstvou kačírku na nepropustné vrstvě nebo střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce do 100 mm (střešní zahrady)	0,9 <sup>1)</sup>	0,9 <sup>1)</sup>	0,9 <sup>1)</sup>
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m <sup>2</sup>	0,9	0,9	0,9
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se záilkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
Upravené štěrkové plochy	0,3	0,4	0,5
Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
Komunikace ze zatravnovacích tvárníc	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvárníc	0,2	0,3	0,4
Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

<sup>1)</sup> Tyto součinitel odtoku srážkových povrchových vod platí pouze pro dimenzování vsakovacích zařízení.

Tabulka 3 Příklady součinitele odtoku [30]

### Součtová metoda

Součtová metoda je využívána k dimenzování stokových sítí malých plošných rozsahů, kde doba dotoku je kratší než 15 minut.

$$Q = S * q * \Psi \quad (11)$$

S – plocha povodí

$\Psi$  – součinitel odtoku

q – vydatnost deště

[2]

## **Bartoškova metoda**

Bartoškova metoda se používá, pokud průtok ve stokové síti trvá déle než 15 minut. Předpoklad pro použití této metody je, že maximální odtok ve stokové síti je způsobený srážkou o stejné době trvání, jako je doba odtoku ve stokové síti. Tento předpoklad byl doplněn Bartoškovým zákonem, kde se určila účinná doba trvání deště [1].

$$t_z = t + (t_r + t_p) \quad (12)$$

Kdy  $t_z$  je účinná doba trvání srážky (min)

$t$  je skutečná doba trvání srážky (min)

$t_r$  je doba povrchové retence (min)

Dalšími způsoby výpočtu jsou dále Riedova metoda, Máslova metoda, Hauff-Vicariho metoda, apod.

## 6. Monitoring stokových sítí

Obecná definice monitoringu je poznání a vyhodnocení reálného stavu pomocí kvalitativních a kvantitativních měření. Výstupem monitoringu bývají časové řady měřených dat [33].

Monitoring na stokových sítích je prováděn zejména na uzávěrových profilech kmenových stok a objektech na stokové síti (viz kapitola 3). Monitoring stokových sítí slouží především k ověření průtokových poměrů ve sběračích, vyhodnocení funkcí objektů na stokové síti, vyhodnocení přítomnosti sedimentů, stanovení množství balastních vod, apod. a tato data se potom dále využívají ke kalibracím a verifikacím matematických modelů [34].

### 6.1. Měření srážek na stokové síti

K měření srážek jsou využívány srážkoměry. Umístění a počet srážkoměrů je závislý na členitosti a velikosti daného území. Obecně je doporučeno na zájmové území osazovat minimálně 3 srážkoměry [33], [35].

#### Ombrografy

Ombrograf měří srážkový úhrn kontinuálně pomocí plováku umístěného v plovákové komoře. Přenos naměřených dat je pomocí registračního zařízení na záznamový papír neboli ombrogram [36].

#### Váhové srážkoměry

Váhový srážkoměr je automatický srážkoměr, který funguje na principu vážení nádoby, do které jsou zachycovány srážky. Váhové srážkoměry mají výhodu oproti člunkovým srážkoměrům, protože dokáží vyhodnotit jak tuhé tak i kapalné srážky a jeho přesnost není závislá na intenzitě srážek [37], [65].

Srážkoměr je složený ze dvou nádob, mezi kterými je kapalina přenášena čerpadlem. Do horní nádoby jsou zachycovány padající srážky [37].

## **Člunkové srážkoměry**

Principem měření srážek pomocí člunkových srážkoměrů je počítání pulzů od překlápějícího se člunku. Člunek se překlopí, když je naplněn deštěm nebo rozpuštěnými tuhými srážkami. Po překlopení voda nateče do dolní části člunku, kde se při překlopení sepne kontakt a proces se opakuje [38].

## **Měření srážek pomocí radarů**

Principem měření srážek pomocí radarů je zachycení zpětného rozptylu mikrovln na vodních kapkách a ledových krystalech ve srážkách [39].

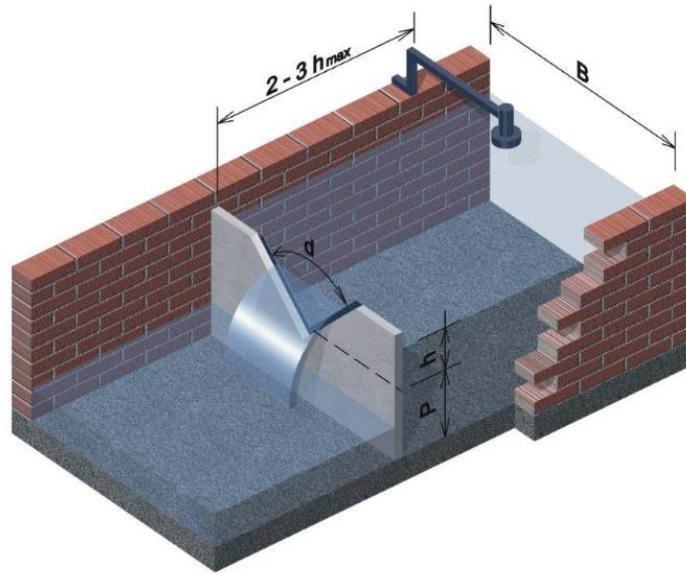
## **6.2. Měření průtoku na stokové síti**

Měření průtoků na stokové síti se provádí na předem vybraných profilech. Ve stokové síti se používají tyto průtokoměry a způsoby měření: měrné přelivy, měrné žlaby, ultrazvukové průtokoměry a dříve Q-h křivky [40].

Volba druhu přístroje záleží na mnoha faktorech a špatně zvolený přístroj by mohl vést k chybám v měření. Volba přístroje záleží na hydraulických podmínkách na stokové síti, převážně pak na sedimentaci a vzdutí před měřením. Dále pak na kvalitě vody, množství průtoku vody, přesnosti, životnosti, spolehlivosti, apod [40].

### **Měrné přelivy**

Měrné přelivy měří okamžitý průtok na stokové síti. Principem měření průtoku na měrných přelivech je závislost mezi okamžitým průtokem a výškou hladiny. Měrné přelivy se umísťují do pravoúhlého kanálu na místa s dostatečně nízkou rychlostí. V praxi jsou nejvíce využívány ostrohranné přelivy, konkrétně trojúhelníkové přelivy. Dále se používají přelivy s krátkou přelivnou hranou a širokou korunou [41], [40].



Obrázek 22 Příklad trojúhelníkového přelivu [40]

## **Měrné žlaby**

Měrné žlaby jsou stavby, které na kanalizační síti zužují kanalizační profil do takové míry, kdy proudění v místě žlabu přechází z říčního do bystřínného potrubí. Měrné žlaby se používají na vodách s velkým obsahem nerozpuštěných látek. Měrné žlaby se většinou umísťují na odtoky z čistíren odpadních vod. V praxi se používá několik druhů měrných žlabů, nejznámějšími jsou Parshallovy a Venturiho měrné žlaby [40], [42].



Obrázek 23 Příklad měrného žlabu [43]

## **Ultrazvukové průtokoměry**

Obecně jsou ultrazvukové průtokoměry děleny na průtokoměry, které vyhodnocují dobu průchodu signálu a průtokoměry využívající Dopplerův jev. Obecnou výhodou ultrazvukových průtokoměrů je, že místní tlaková ztráta vyvolána tímto druhem měření je téměř nulová. Naopak nevýhodami ultrazvukových průtokoměrů jsou pak nepřesné měření při výskytu bublin nebo pevných částí a turbulence nebo víření, které mohou ovlivnit signál [44].

## **Q-h křivky**

Principem této metody je výpočet průtoku v závislosti na hloubce. Konzumní křivka je určována při několika různých průtocích za pomoci různých druhů měření například hydrometrováním. Z hlediska velké nejistoty vyvolané způsobem měření a dále výpočtem, kdy odchylka od skutečnosti je 15 – 30%, je tato metoda využívána jako náhradní [40].

## **Magneticko-indukční průtokoměr**

Princip měření je založen na Faradayově zákoně, který říká, že při časové změně magnetického toku pohybem přes vodič (odpadní vodou) magnetickým polem vzniká napětí [45].

V praxi se používá předpoklad, že indukované napětí je úměrné střední rychlosti měřené kapaliny. Měřící rozsah těchto přístrojů je dán rychlostí proudění 0,1 – 12 m/s. Přesnost je výrobci běžně zaručena na 0,2 – 0,5 % [45].

## **6.3. Kamerové inspekce**

U kamerových inspekcí je nejprve nutné provést zbavení stokové sítě nánosů nečistot. Zbavování nečistot se provádí nejčastěji vysokotlakým čištěním. Principem vysokotlakého čištění je čerpání vody pomocí vysokotlakých čerpadel do trysek [46], [47].

Monitoring stokových sítí pomocí kamerových systémů se provádí spuštěním kamery nebo robota s připevněnou kamerou do stokové sítě. Kamera nebo robot jsou

ovládány z monitorovacího vozu. Tímto monitoringem se měří například stupeň poškození, průměr, kaverny neboli místní protispády [46].



RV305+T100

*Obrázek 24 Robot sloužící k monitorování stokových sítí [63]*

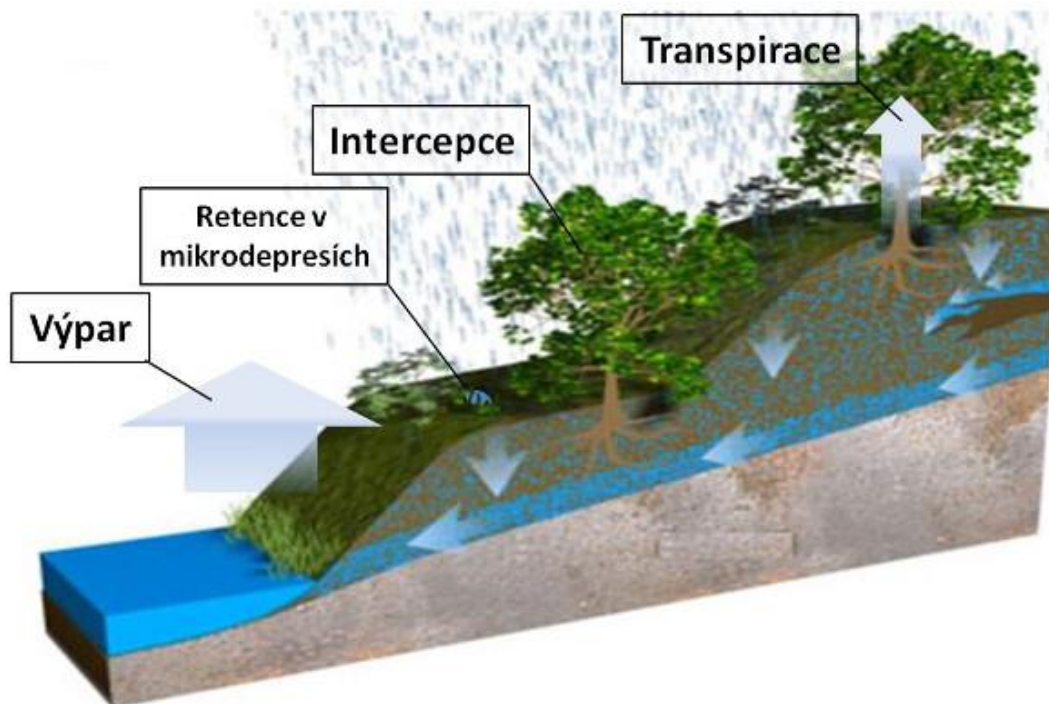
## 7. Srážkoodtokové procesy a popis srážkového odtoku na stokové síti

Urbanizovaná území se dají charakterizovat velkým podílem nepropustných a propustných ploch. Tento podíl má za následek navýšení povrchového odtoku tím, že se snižuje přirozená infiltrace do podzemních vod. Toto může mít za následek navýšení lokálních povodní. Když je řešené povodí na malém vodním toku nebo v daném stokovém systému, může docházet k tlakovému proudění a v některých případech může dokonce dojít k překročení kapacity stokového systému. Dalším důsledkem urbanizace území je snížení hladiny podzemních vod [48].

Nepropustné plochy, jako jsou například silnice, mají velkou nevýhodu, že na těchto plochách jsou shromažďovány polutanty, jako jsou například doprava, atmosférická depozice, apod.). Tyto nečistoty se pak při dešti dostávají do povrchových vod [48].

### Ztráty nastávající při srážkovém odtoku

Při povrchovém odtoku dochází k mnoha ztrátám a tyto ztráty jsou velmi důležité při popisu srážkového odtoku.



Obrázek 25 Příklady ztrátách při srážkovém odtoku [49]



- **Omočení povrchu (intercepce)**

Intercepce je část srážek, které jsou zachyceny na povrchu například vegetací nebo půdou. Konkrétně se jedná o vodu, která se zachycuje na větvích nebo listech [49]. Velikost intercepce je v desetinách až jednotkách milimetrů [26].

- **Povrchová retence**

K této ztrátě dochází po naplnění intercepce. Tato ztráta je představovaná jako kapacita povrchové retence a jedná se o zaplnění nerovností na zemském povrchu srážkovým odtokem. Velikost povrchové retence je v desetinách až v jednotkách milimetrů [26].

- **Infiltrace**

Infiltrace vody je vsakování vody z atmosférických srážek a povrchové vody do půdy [50]. Infiltrace je závislá na vlastnostech půdy. Infiltrace je na začátku deště největší a postupem deště dochází k nasycení půdy a infiltrace se snižuje. Výpočet infiltrace se provádí například pomocí Hortonovy metody, metody Green & Ampt nebo metody SCS-CN [26].

- **Evapotranspirace**

Část vody, která je zachycená v půdě, se z půdy dostává evaporací nebo ji dostávají z půdy rostliny transpirací a tyto dva jevy se dohromady nazývají evapotranspirace [49]. Hodnota evapotranspirace je závislá na klimatických a půdních poměrech. Největším meteorologickým faktorem, který ovlivňuje evapotranspiraci, je sluneční záření [51].

- **Výpar**

Ztráty výparem začínají působit až v období mezi dešti. Konkrétně je výpar největší mezi prvním a druhým deštěm, ale ovlivňuje až déšť následující. Velikost ztráty výparem se pohybuje mezi 1-3 mm/den [26].

- **Ostatní ztráty**

Tyto ztráty není možné matematicky popsat. Jedná se například o ztráty, které jsou při dopravě odhozeny z komunikací [26].

## **7.1. Jednoduché hydrologické modely srážkového odtoku a druhy dešťů**

Na změnu množství dešťových vod má největší vliv urbanizace a klimatická změna. V urbanizaci se jedná zejména o navyšování nezpevněných ploch a tím pádem navýšení povrchového odtoku. Klimatická změna souvisí s tím, že deště mají větší intenzitu, ale kratší dobu trvání [26], [52].

- **Druhy dešťů využívaných při výpočtu**

Dešťový odtok vychází z tzv. efektivního deště. Efektivní dešť vychází z reálného deště. Reálný dešť je historický nebo modelový dešť a rozdíl mezi těmito dešti jsou ztráty [26].

### **Historické deště**

Historické deště jsou reálné deště, které byly v minulosti zaznamenány. Tyto deště se používají jako vstupní data do srážkoodtokových modelů nebo jako podklad pro výpočet modelových dešťů [26].

### **Modelové deště**

Modelové deště se používají pro hydraulický návrh stokové sítě. V současné době jsou ale čím dál tím častěji nahrazovány historickými dešti. Modelové deště se dají rozdělit na blokové deště a modelové deště s proměnou intenzitou [26].

- **Modely srážkoodtokového procesu**

Hydrologické modely slouží k popsání srážkoodtokových procesů. Tyto modely mohou být velmi rozmanité, ale nejčastěji se používají níže zmíněné.

### **Metoda počátečních ztrát**

Metoda počátečních ztrát vychází z předpokladu, že po dosažení počátečních ztrát veškerá voda odteče. Tato počáteční ztráta se skládá z omočení povrchu a povrchové retence [26].

### **Metoda konstantních ztrát**

V metodě konstantních ztrát jsou počáteční ztráty interpretovány jako ztráty omočením a všechny ostatní ztráty v každém časovém intervalu jsou brány jako konstantní [26].

V této metodě se předpokládá, že dominantní ztráty na povodí jsou takové ztráty, které nejsou ovlivněné dešťovou událostí [26].

### **Procentová metoda**

V procentové metodě se nejprve určí ztráty omočením a poté pomocí redukčního faktoru se určí podíl ostatních ztrát. Při této metodě jsou dominantními ztrátami ztráty trvalé. Tento model je vhodný použít při výpočtu v městských podmínkách [26].

### **Hraniční metoda**

V této metodě se počítá se ztrátami intercepce, povrchovou retencí i ztrátami trvalými [26].

## **7.2. Výpočet srážkového procesu**

Ke srážkovému odtoku dochází po nasycení půdy, zaplnění všech nerovností na povrchu, apod. (viz kapitola 7). V praxi se používá několik způsobů výpočtu srážkoodtokového procesu:

### **Metoda izochron**

Metoda izochron popisuje vzájemný vztah trvání deště a doby, kdy voda odteče ze zájmového území [36].

Principem této metody je spojení míst v povodí se stejnou dobou transportu částeczek vody. Tyto křivky se nazývají izochrony. Z tohoto rozdělení povodí vzniknou plochy

mezi izochrony. Tyto plochy jsou v následném kroku poděleny mezi sebou a přenásobeny dobou dotoku [26], [53].

## **Retence**

V modelu dešťového odtoku lze použít abstraktní nádrž neboli retenci (dále lineární rezervoár). Tato nádrž může být lineární nebo nelineární. Častěji se používá nádrž lineární, jelikož je častěji zavedená v simulačních programech [26].

Výhodou lineárního rezervoáru je snazší použití než nelineárního rezervoáru. Nevýhodou lineárního rezervoáru je, že nepřihlíží na translační procesy. Model nelineárního rezervoáru je omezen podmínkou, že déšť je rovnoměrně rozložen po celé ploše povodí [26], [66].

## **Kinematická vlna pro výpočet povrchového odtoku**

Výpočet povrchového odtoku vychází z výpočtu rovnice kontinuity a rovnice hybnosti (viz kapitola 7.3).

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$$

(13)

where  $S_f$  = energy gradient (also known as the friction slope);  $S_0$  = bottom slope;  $V$  = velocity;  $y$  = hydraulic depth;  $x$  = distance along the flow path,  $t$  = time;  $g$  = acceleration due to gravity;  $(\partial y / \partial x)$  = pressure gradient;  $(V/g)(\partial V / \partial x)$  = convective acceleration; and  $(1/g)(\partial V / \partial t)$  = local acceleration. [This equation, these terms, and the basic concepts are described in detail in Chow (1959), Chaudhry (1993), and many other texts.]

## **Metoda jednotkového hydrogramu**

Metodu jednotkového hydrogramu není vhodné použít v urbanizovaných povodích. Principem této metody je, že pro určitou dešťovou událost je měřený odtok v uzávěrovém profilu [26].

### **7.3. Proudění ve stokové síti**

V praxi se ukázalo, že výpočet proudění ve stokové síti je velmi výhodné založit na předpokladu jednorozměrného pomalu se měnícího proudění. Rovnice, kterým se toto proudění řídí, jsou rovnice kontinuity a Saint Venantovy rovnice [26].

### 7.3.1. Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity vychází ze zjednodušení Eulerových hydrodynamických rovnic, kde se předpokládá, že kapalina je v klidu v gravitačním poli a že kapalina je nestlačitelná [68].

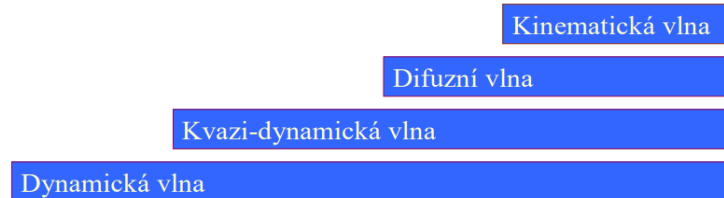
$$Q = S \cdot v \quad (14)$$

$v$  – rychlost proudění vody [m/s]

$S$  – průřez průtočného průřezu [m<sup>2</sup>]

[68]

### 7.3.2. Saint Venantovy rovnice

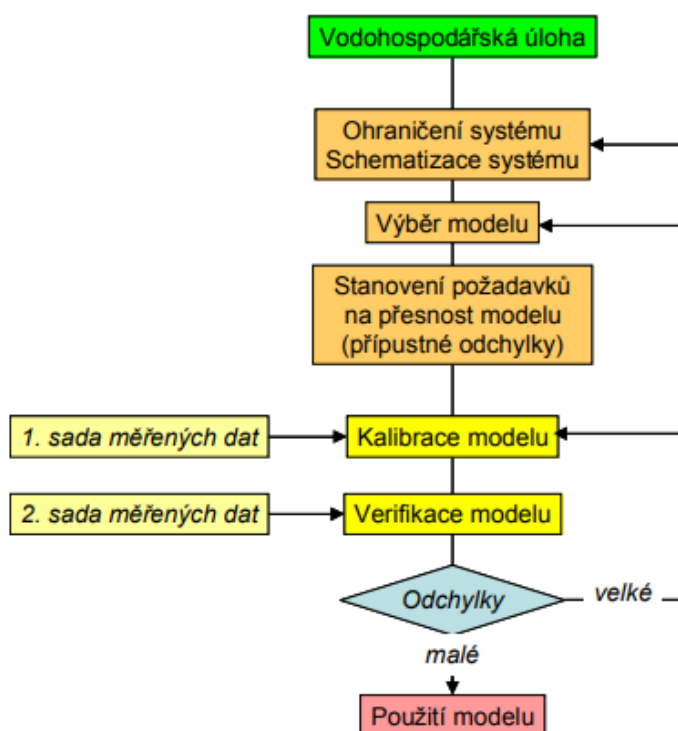
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$
$$\frac{1}{gA} \left[ \frac{\partial Q}{\partial t} + \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q}{A} \right) \right] + \frac{\partial y}{\partial x} = s_0 - \frac{\tau}{\rho \cdot g \cdot R}$$


Obrázek 26 Saint Venantovy rovnice [54]

Na Obrázek 26 lze vidět dvě rovnice. První rovnicí je obecný zápis rovnice kontinuity (viz kapitola 7.3.1) a druhou rovnicí je Saint Venantova rovnice. Saint Venantova rovnice je základní rovnicí, která je využívána při matematickém modelování na stokových sítích [55].

## 8. Matematické modelování na stokových sítích

Simulační modely jsou ve vodním hospodářství používány pro ověření návrhu nebo pro samotný návrh objektů na stokové síti. Obecně se matematické modely ve vodním hospodářství dělí na hydrologické a hydraulické modely [56].



Obrázek 27 Postup při matematickém modelování [56]

Hydrologické modely slouží k určení srážkového odtoku (viz kapitola 7.2.) Hydraulické modely slouží k výpočtu odtoku ve stokové síti. Většina těchto modelů je založená na De Saint Venantových rovnicích v kombinaci s rovnicí kontinuity (viz kapitola 7.3) [56].

## 8.1. Potřebná data pro matematické modelování na stokové síti

Data potřebná pro tvorbu matematického modelu se dají obecně rozdělit na:

- Vstupní data
- Systémová data
- Hodnoty modelovaných konstant a parametrů
- Data pro kalibraci a verifikaci modelu

[26]

### 8.1.1. Vstupní data

Ke vstupním datům patří převážně data o dešťových a bezdešťových průtocích (viz kapitola 5.1 a 5.3). Tato data jsou nejen potřebná jako vstupní data, ale jsou potřebná i ke kalibraci a verifikaci modelu [56].

### 8.1.2. Systémová data (systémová analýza)

Systémová data jsou potřebná k analýze daného stokového systému. Jedná se o strukturu systému, procesy v systému a komunikaci systému s okolím [26], [56].

Pro hydrologické modely se jedná o plochu a napojení povodí na stokovou síť, počet obyvatel na daném povodí, denní potřebu vody, typy ploch, druhy ploch, tvar povodí, sklon povodí apod. U hydraulických modelů se pak jedná o detailní zanesení stokové sítě do modelu. Toto znamená zanesení všech šachet, potrubí, objektů na stokové síti, konkrétně nádrží, čerpacích stanic, odlehčovacích komor, druhu výpočtu přepadů v odlehčovacích komorách, apod. do modelu [56].

Cílem systémové analýzy je detailní popis daných systémů a procesů, které v daném systému probíhají. Konkrétně se jedná o srážko – odtokové procesy, procesy transportu vodního média, procesy transportu znečištění, čistící procesy, apod. [26].

Zdroje systémových dat jsou většinou získávány z geografického informačního systému (GIS) nebo pasportu stokové sítě [56].

### **8.1.3. Hodnoty modelových konstant a parametrů**

Konstanty jsou takové hodnoty, které zůstávají po celou dobu výpočtu stejné. V hydraulických modelech se jedná například o drsnost potrubí a v hydrologických modelech se jedná například o součinitel odtoku [56].

### **8.1.4. Data pro kalibraci a verifikaci modelu**

Modely jsou kalibrovány a verifikovány podle skutečných dat naměřených na daném systému stokové sítě [26].

## **8.2. Kalibrace a verifikace matematického modelu**

Kalibrace modelu je postup, při kterém jsou upravovány sady parametrů v modelu do takové úrovně, dokud je odchylka mezi modelem a skutečností minimální. Verifikace modelu slouží k ověření zkalibrovaného modelu na datech z jiného období [56].

Kalibrace je prováděna většinou dvěma způsoby a to buď metodou pokus omyl, která spočívá v systematickém měnění vstupních parametrů nebo matematickým výpočtem. Výpočet ověření kalibrace nebo verifikace je prováděn pomocí výpočtu odchylek mezi výsledky z modelu a skutečností [26], [56].

- Systematická odchylka: kalibrace < 5 %, verifikace < 20%
- Průměrná odchylka: kalibrace < 10 %, verifikace < 30%
- Kvadratická odchylka: kalibrace < 20 %, verifikace < 30%

[26]

## **8.3. Programy používané pro matematické modelování ve vodním hospodářství**

Ve vodním hospodářství je používáno mnoho simulačních programů. Nejčastěji používanými simulačními programy jsou Mike Urban pro modelování stokových, vodovodních sítí a 2D proudění na povrchu, SWMN se používá pro modelování stokových sítí a EPANET, který se používá pro modelování vodovodních sítí.



### 8.3.1. Mike Urban

Mike Urban byl vyvinut společností DHI a.s. a je jedním z nejpoužívanějších systémů, který se používá na matematické modelování vodohospodářských problémů v městském inženýrství. Konkrétně slouží k modelování odpadních stok jednotných i oddílných systémů, 2D proudění na povrchu a modelování rozvodů pitné vody, posouzení funkčnosti odlehčovacích komor, apod. Matematické modely dělané v programu Mike Urban jsou kompatibilní s programem ArcGIS [57].

ArcGIS je informační systém, který se používá pro práci s prostorovými daty, v našem případě se jedná konkrétně o prostorové a výškové uspořádání kanalizačních stok [58].

Mike Urban umožňuje v modelování stokové sítě řešení mnoha problémů. Těmito problémy jsou:

- Plánování a posouzení rozvoje na stokové síti a určení množství obyvatel, které je možné připojit na stokovou síť
- Posouzení kapacity stokové sítě
- Vymodelování povrchového odtoku při dešti
- Vymodelování přítoku a proudění na stokové síti při dešti
- Posuzování extrémních srážek při deštích
- Posuzování a určení množství přepadů v odlehčovacích komorách
- Posouzení navrhovaných řešení a staveb na stokové síti
- Optimalizace navrhovaných řešení na stokové síti
- Krizové plánování při povodních

Nejčastěji je Mike Urban využíván pro modelování stokových systémů, posuzování srážkového odtoku a posuzování proudění ve stokové síti. Tímto posouzením se získávají informace o daném systému dříve, než dojde k situaci, která by na daném systému mohla vyvolat poruchu a případně navrhnout opatření, u kterých by se dalo dané poruše předejít [59], [60].

Schematizace stokové sítě se provádí pomocí nodes, links, wiers a pumps. Nodes definují šachty, spojné komory, odlehčovací komory, čerpací stanice, apod. Geometrii nodes definujeme pomocí průměru nebo detailně popsanou geometrií. Pro detailně popsanou geometrii se definuje příčná a podélná plocha v závislosti na výšce v objektu. Správné popsání geometrie objektu je nutné, aby byl správně namodelovaný průtok a rychlost uvnitř daného objektu [59], [60].

Links jsou definovány jako spojnice mezi dvěma nodes. V praxi se jedná o potrubí, jehož geometrie může být definována jako u nodes průměrem nebo detailně popsanou geometrií, jedná-li se například o potrubí vejcovitého tvaru nebo potrubí atypických rozměrů. Toto popsání lze provést například pomocí šířky profilu v závislosti na jeho výšce. Pro popsání drsnosti potrubí se využívá Manningova drsnostního součinitele [59], [60].

Dalšími spojnicemi nodes jsou wiers. Wiers se definují výpočtovou metodou a používají se například pro definici přepadu v odlehčovací komoře. Pro wiers definujeme druh přepadu, přepadový součinitel a délku přelivné hrany. Nejčastějším druhem přepadu v odlehčovacích komorách je přepad boční [59], [60].

Pumps se dají v reálném světě popsat jako čerpadla. V programu Mike Urban to jsou spojnice mezi dvěma nodes. Druhy čerpadel, která lze přidat do modelu jsou taková čerpadla, která čerpají konstantní množství při stejné rychlosti nebo čerpadla, která mají nadefinovanou Q-H funkci [59], [60].

Výpočet povrchového odtoku v Mike Urbanovi je založen převážně na tzv. povodích neboli catchmen, na které je puštěna vybraná srážka z daného období, která se dostává do potrubí. Proces výpočtu povrchového odtoku se skládá z několika kroků. Prvním krokem je vytvoření povodí, nastavení definice parametrů a hranic povodí, dále určení počátečních ztrát v dané lokalitě a definice hydraulického modelu. Povodí neboli catchments jsou brány jako hydrologické jednotky, na kterých je generovaný srážkový odtok a jsou v nich zanesené ztráty, které vznikají na povrchu [59], [60].

Druhým krokem je výběr hydrologického modelu, v Mike Urban jsou na výběr k dispozici čtyři možnosti:

- Time-Area Method
- Kinematic Wave
- Linear Reservoir
- Unit Hydrograph Method

### **Time-Area Method**

Time-Area method (čas-plocha) je nejjednodušším modelem v nabídce. Jedná se o výpočet založený na zjednodušení hydraulických ztrát, které jsou v tomto případě počáteční ztráty, faktoru snížení a tzv křivkách časové oblasti. Time-Area method je velmi blízká metodě izochron (viz kapitola 7.2) [59], [60].

### **Kinematic Wave**

Kinematic wave (metoda kinematické vlny) je hydraulický model založený na podrobném popisu hydraulických ztrát a Manningově formuli, odtok směřovaný pomocí kinematické vlny (viz kapitola 7.2) [59], [60].

### **Linear Reservoir**

Linear reservoir (metoda lineárního rezervoáru) je hydraulický model založený na principu výpočtu lineárního rezervoáru (viz kapitola 7.2) a počátečních hydraulických ztrát. V program Mike Urban jsou připraveny dvě verze lineárního rezervoáru C1 a C2 [59], [60].

### **Unit Hydrograph method**

Unit hydrograph method (metoda jednotkového hydrogramu) je využívána u modelů, u kterých jsou nedostatečné záznamy o průtocích ve stokové síti. Tento model lze také využít k odvození hydrografů [59], [60].

## **Popis neustáleného proudění v Mike Urban**

V Mike Urban je neustálené proudění počítáno pomocí Saint Venantovy rovnice (viz kapitola 7.3.2) a rovnice kontinuity založené na těchto předpokladech [59], [60]:

- Voda je nestlačitelná a homogenní kapalina a ve vodě jsou minimální změny v hustotě.
- Vlnové délky jsou oproti hloubce vody považované za mnohonásobně velké. Tento předpoklad zajišťuje, že proud v jakémkoliv místě může být považován za rovnoběžný se dnem.
- Proudění není kritické.

[59], [60]

Tyto rovnice jsou aproximované do několika postupů výpočtu a v našem případě se jedná o tyto aproximace:

- **Kinematická vlna**

Aproximace pomocí kinematické vlny je založena na balancování mezi gravitačními a třecími silami. Metoda kinematické vlny se musí využívat s velkou opatrností, protože je zanedbán tlak a setrvačnost v rovnici hybnosti. Hlavní podmínkou pro použití této aproximace je Froudovo číslo, které musí být větší než 1. Další podmínkou pro využití této aproximace jsou případy, kdy ve stokové síti dochází k tlakovému proudění. Tato aproximace se používá v případech, kdy se jedná o potrubí s velkým sklonem bez zpětného vzduť [59], [60].

- **Difúzní vlna**

Aproximace pomocí difúzní vlny uvažuje v rovnici hybnosti gravitační, třecí a hydrostatický gradient. Toto umožňuje popsání zpětného vzduť na stokové síti, ale zanedbává složku setrvačnosti, proto je v mnoha případech výhodnější používat aproximaci pomocí difúzní vlny než aproximaci pomocí kinematické vlny. Podmínky použití aproximace pomocí difúzní vlny jsou totožné jako u kinematické vlny [59], [60].

- **Dynamická vlna**

Aproximace pomocí dynamické vlny používá úplnou rovnici hybnosti a teoreticky nejlépe popisuje všechny síly, které ovlivňují proudění na stokové síti. Toto umožňuje nejlepší a nejspolehlivější výpočet rychlých přechodových jevů proudění vzduté vody. Nevýhodou této aproximace je pak delší a náročnější výpočet. Aproximace pomocí dynamické vlny se pak využívá v případech, kdy je sklon potrubí a odpor, který je vyvíjen na kapalinu, relativně malý [59], [60].

Obecně pro dosažení co nejpřesnějších výsledků se doporučuje používat aproximaci pomocí dynamické vlny, protože ostatní dvě aproximace jsou jejím zjednodušením [59], [60].

### **Okrajové podmínky**

Obecně lze okrajové podmínky v Mike Urban rozdělit na vnitřní a venkovní. Venkovní okrajové podmínky slouží k popisu chování systému při působení vlivů z okolního prostředí a vnitřní okrajové podmínky slouží k popisu chování uvnitř systému [60].

Okrajové podmínky obecně představují nezávislé veličiny, které slouží k omezení daného modelu tak, aby daný model odpovídal co nejvíce skutečnosti. V Mike Urban okrajové podmínky představují například různé typy a množství dešťové intenzity a infiltraci. Okrajové podmínky jsou definovány pomocí boundary items. Druhy okrajových podmínek v Mike Urban jsou [59], [60]:

- **Catchment loads**

Tyto okrajové podmínky jsou přiřazovány na jednotlivě vytvořená povodí a mezi tyto okrajové podmínky patří [59], [60]:

**Teplota vzduchu** – tato okrajová podmínka se používá pro výpočet tání sněhu

**Evapotranspirace** – tato okrajová podmínka se využívá převážně pro výpočty potencionální evapotranspirace například při návrhu RDI

**Déšť** – tato okrajová podmínka se používá pro výpočet hydraulického zatížení na povodí a stokové síti při dešti

**Úroveň hladiny** – okrajová podmínka průtoku reprezentuje mnoho druhů hydraulických zatížení, jako jsou například plošná infiltrace nebo zátěž povodí za sucha

[59], [60]

- **Network loads**

Tyto okrajové podmínky reprezentují mnoho druhů hydraulických ztrát, jako je například infiltrace a přítok. Network loads jsou vždy definovány průtokovým hydrogramem. Velmi častým použitím této okrajové podmínky je přiřazení výsledkového hydrogramu z jiného modelu. Okrajové podmínky jsou pak přidávány do jednotlivých vytvořených šachet (nodes) [59], [60].

- **External water level**

Okrajová podmínka external water level představuje úroveň hladiny vody, která se již na povodí vyskytuje [59], [60].

Konkrétně se venkovní okrajové podmínky definují pro výusti a objekty. Venkovními okrajovými podmínkami jsou pak například:

- Konstantní přítok
- Přítok závislý na čase
- Vypočítaný průtokový hydrograf z jiného modelu
- Konstantní hladina vody
- Časová závislost hladiny vody
- Závislost průtoku a hladiny

[59], [60]

Vnitřní okrajové podmínky jsou pak konkrétně definované například jako:

- Přepad do dalšího objektu – v Mike Urban jsou definovány odlehčovací komory jako dva objekty spojené přepadem, kde lze pomocí  $Q(H)$  křivky definovat tento přepad a tuto křivku lze pak definovat jako okrajovou podmínku [59], [60].
- $Q(H)$  křivky čerpadel, kdy lze definovat startovní a koncovou hladinu čerpání na čerpadle [59], [60].

### **Simulační modely**

Mike Urban nabízí několik nastavení simulací sloužících k výpočtu hydraulických a hydrologických parametrů v zájmovém území. Konkrétně tato nastavení jsou Runoff, a Network simulations [59], [60].

- **Runoff simulations**

Výpočtem runoff simulations se zjistí, kolik vody při dešti oteče. Ztráty v tomto modelu jsou identifikovány v catchments (povodích) nebo okrajových podmínkách (viz výše). Runoff simulations se také spouští jako kontrola nastavení modelu. Dále se Runoff simulations využívají jako Hot start při výpočtu network simulations. Hot start je nástroj, který lze využít jako okrajovou podmínku systému, při které výpočet hydrauliky sítě (network) počítá už s případem, kdy potrubí není prázdné [59], [60].

- **Network simulations**

Výpočtem network simulations se zjistí hydraulické poměry při bezdešťových i dešťových stavech v samotné stokové síti. Výsledky této simulace jsou hodnoty průtoku, tlaku, vodní hladiny, apod. ve stokové síti. Výpočet této simulace je oproti Runoff simulations řádově delší [59], [60].

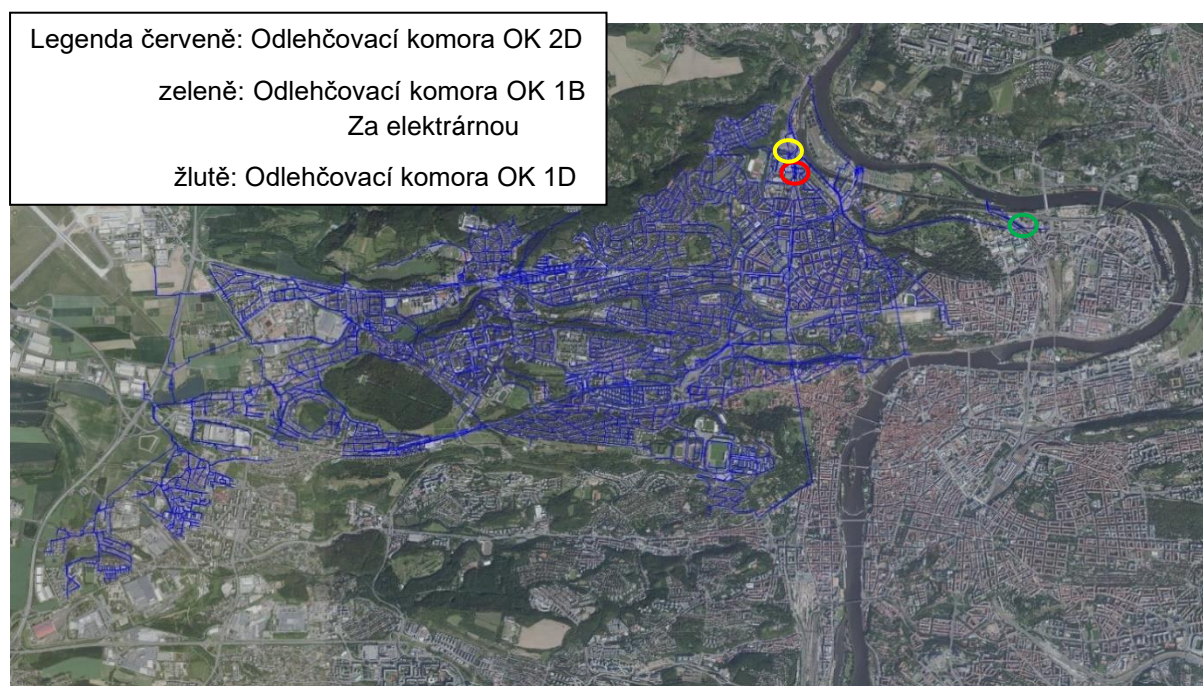
# B. Praktická část

## 1. Cíle práce

Hlavním cílem této práce byla aktualizace modelů kmenových stok CD a části kmenové stoky B a pak následné posouzení hydraulických poměrů na kmenových stokách B, C a D v Praze se zahrnutím nových staveb na stokové síti. Dílčími cíli této práce byly pak

- Analýza dešťových průtoků na kmenových stokách C a D a části kmenové stoky B
- Analýza bezdeštných průtoků na kmenových stokách C a D a části kmenové stoky B
- Podrobný geometrický popis objektů odlehčovacích komor OK1B za elektrárnou, OK1D a OK2D
- Vypracování optimalizace výhledového stavu

## 2. Popis zájmového území



Obrázek 28 Spojený model kmenových stok CD a části kmenové stoky B



Řešený kanalizační systém se skládá z povodí tří stok a to B, C a D. Z východu podél řeky Vltavy je vedena stoka B, která odvádí vodu z městských částí Praha 3, 7 a 8. V ulici Za elektrárnou se nachází odlehčovací komora OK 1B. Voda do odlehčovací komory OK 1B je přiváděna zděnou stokou atypického vejčitého rozměru 1,4x2,1 m. Z odlehčovací komory je voda odváděna zděnou stokou atypického vejčitého rozměru 1,4x2,1 m. Přepad v odlehčovací komoře je boční o výšce 1,83 m. V této odlehčovací komoře je přelivná hrana v části nahrazena stavítkem z hliníkových segmentů. Voda, která v odlehčovací komoře přepadne, je odváděna zděnou stokou atypického vejčitého rozměru 1,4x2 m do Vltavy. Stoka za odlehčovací komorou pokračuje do shybky BD. Shybka BD má dvě ramena o průměru DN 800.

Ze západu kmenová stoka D odvádí vodu ze sídlišť Petřiny, Vokovice, Veleslavín a městských částí Střešovice a Dejvice. Na kmenové stoce se nachází dvě odlehčovací komory, a to OK 1D a OK 2D. Odlehčovací komora OK 2D se nachází v ulici Podbabská těsně za křižovatkou z ulice Pod Juliskou. Z odlehčovací komory OK 2D vedou dvě potrubí. Jedno o průměru DN 600 a druhé o průměru DN 800. Dle dostupných informací dnes je otevřeno pouze potrubí DN 800, což je opak oproti projektové dokumentaci. Přepad v odlehčovací komoře je boční o přepadové výšce 1,7 m. Voda je z přelivu odváděna zděnou stokou atypického vejčitého rozměru 1,6x2,1 m. Stoka pokračuje severně do rozdělovací komory Podbabská, kde se potom stoka D dělí na starou a novou stoku D. Na západě od rozdělovací komory Podbabská na křižovatce mezi ulicemi Paťanka a Pod Paťankou se nachází odlehčovací komora OK 1D, do které je voda přiváděna potrubím o atypickém profilu 0,6\*1,1 m. Z odlehčovací komory je voda odváděna potrubím o průměru DN 300 do rozdělovací komory Podbabská do nové stoky D. Přepad v této odlehčovací komoře je boční o výšce přelivné hrany 432 mm. Z přepadu odlehčovací komory je voda odváděna potrubím o DN 800. Toto potrubí se setkává s přelivným potrubím z odlehčovací komory 2D ve spojně šachtě v ulici Podbabská nedaleko Vodohospodářského výzkumného ústavu. Odtud jsou pak přelivy z obou odlehčovacích komor vyústěny v ulici Podbabská do Vltavy.

Odtok v nové stoce D je převýšen přibližně o 0,45 m, proto je všechn bezdeštný odtok odváděn v nové stoce D. Stoky pokračují souběžně podél Vltavy v ulici Papírenská, spojení mezi stokami jsou otevřené kvůli vyrovnání hladin při dešťových

průtocích. Nová stoka je napojena do stoky B průrazem do levého ramena shybky přes Vltavu na starou čistírnu odpadních vod. Stará stoka se napojuje do kmenové stoky B v ulici Papírenská.

Z jihu kmenová stoka C odvádí vodu z části Prahy 6 převážně Dejvic. Tato stoka je odváděna na starou čistírnu odpadních vod dvěma shybkami. Stoka C se kříží se stokou B pod kolejemi v ulici Mlýnská.

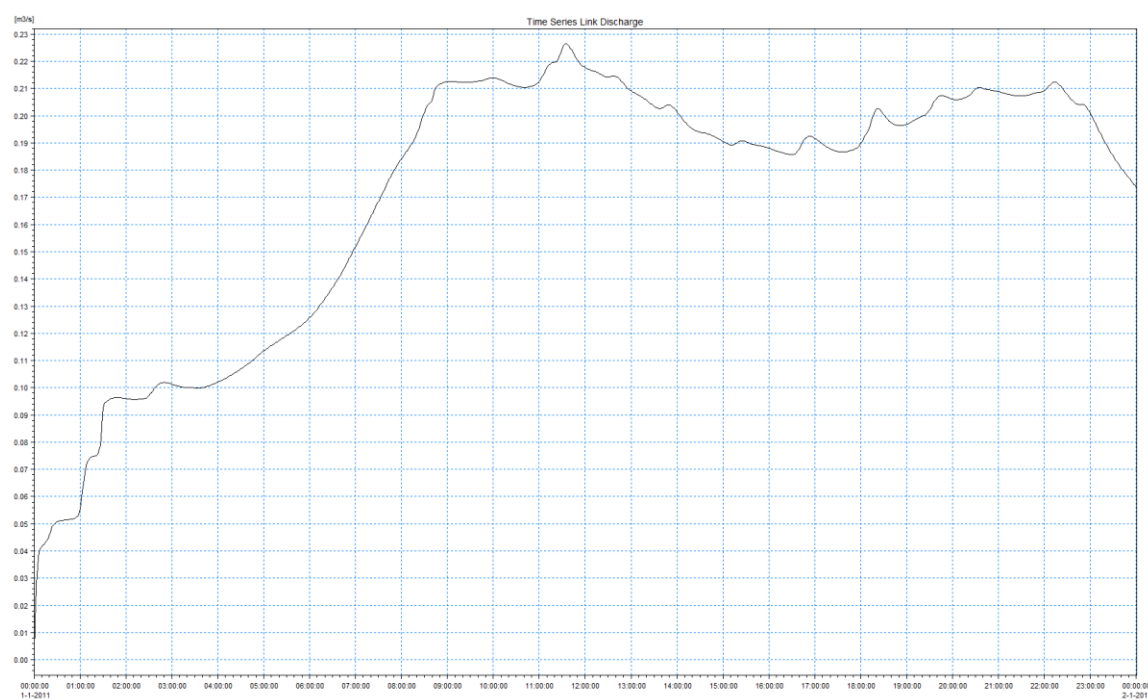
## 3. Stávající stav

### 3.1. Analýza průtoků na stokové síti za stávajícího stavu

V rámci analýzy průtoků byla použita data ze stálých měrných profilů B1 a D1 a dále výsledkové soubory z matematických modelů kmenových stok AB a CD. Tyto matematické modely byly vytvořeny v minulosti společností SWECO – Hydroprojekt.

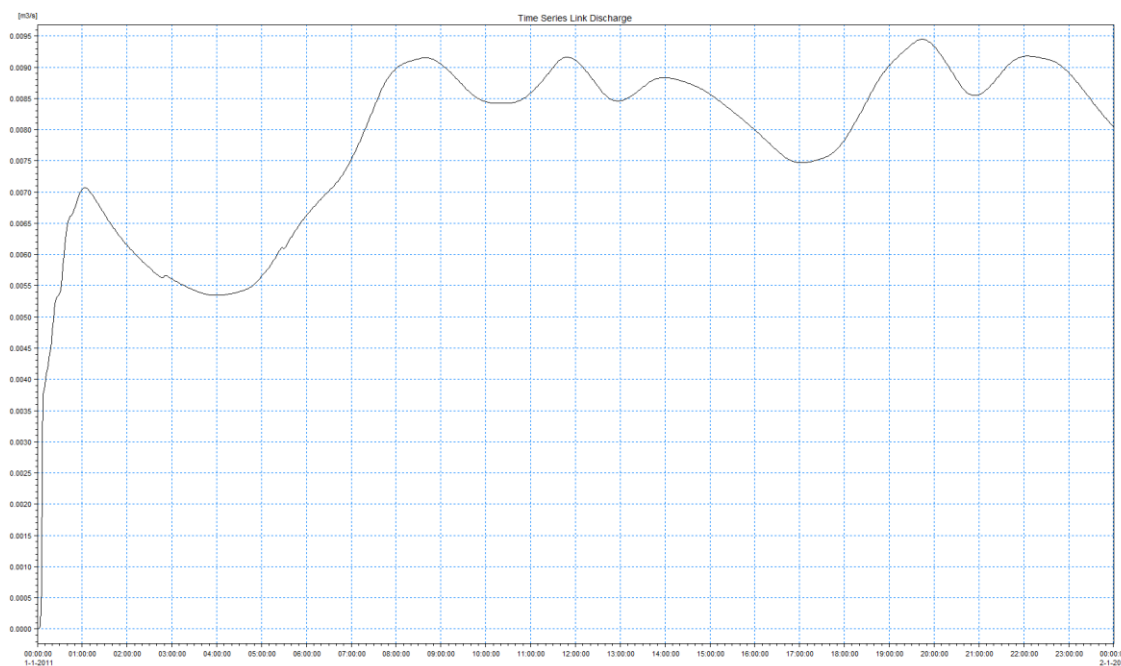
#### 3.1.1. Bezdeštné průtoky na stokové síti

Na obrázcích Obrázek 29 - Obrázek 31 lze vidět výsledné hydrogramy před třemi důležitými odlehčovacími komorami nacházejícími se na stokách B a D za bezdešťových období. Tyto výsledky byly převzaty z již existujících modelů a byly dále použity pro ověření správnosti výpočtu.



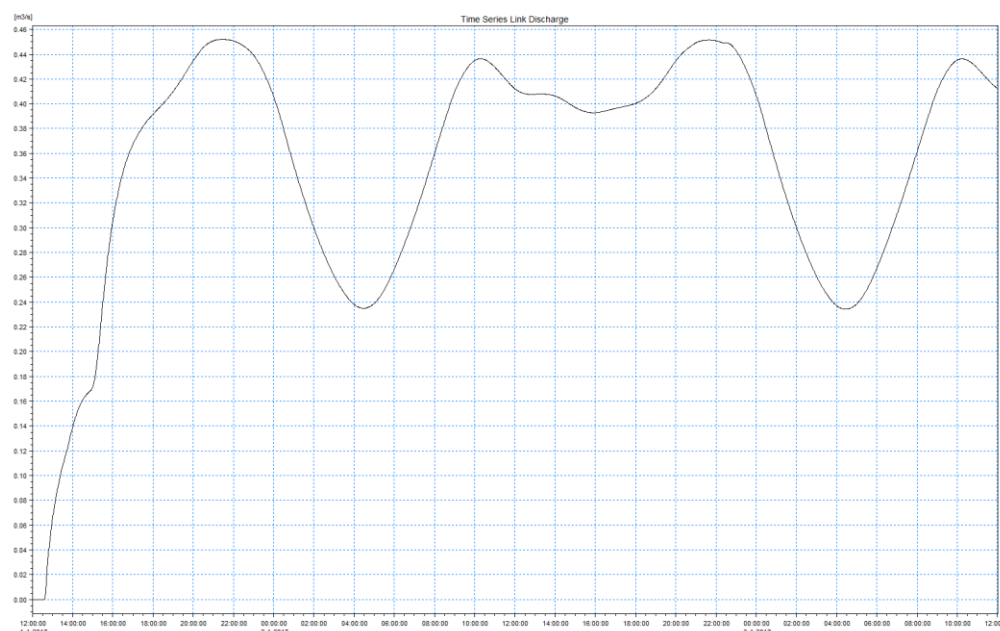
Obrázek 29 Bezdeštný průtok za odlehčovací komorou OK 2D z modelu stok CD [69]

Bezdeštné průtoky před odlehčovací komorou OK 2D (viz *Obrázek 29*) se během běžného dne pohybují mezi 0,1 – 0,225 m<sup>3</sup>/s. Tento běžný den byl určen 1. – 2. ledna 2011.



Obrázek 30 Bezdeštný průtok za odlehčovací komorou OK 1D z modelu stok CD [69]

Odlehčovací komora OK 1D (viz Obrázek 30) je celkem malý objekt v porovnání s ostatními odlehčovacími komorami na stokových sítích. Bezdeštné průtoky před odlehčovací komorou OK 1D oscilují mezi 0,07 – 0,0095 m<sup>3</sup>/s. Tento hydrogram je jako hydrogram výše mezi 1. – 2. lednem 2011.

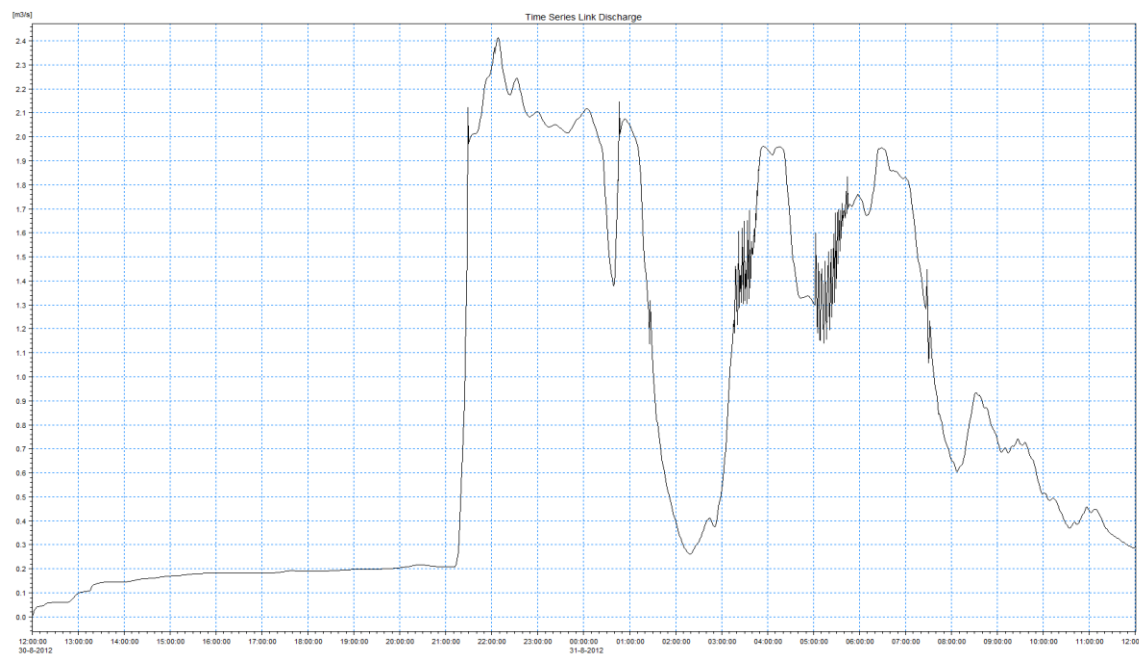


Obrázek 31 Bezdeštný průtok za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnu z modelu stok AB [69]

Bezdeštné průtoky před odlehčovací komorou OK 1B (viz Obrázek 31) se během běžného dne pohybují mezi 0,23 – 0,45 m<sup>3</sup>/s. Tento výpočet byl proveden ve dnech 1. – 3. ledna 2017.

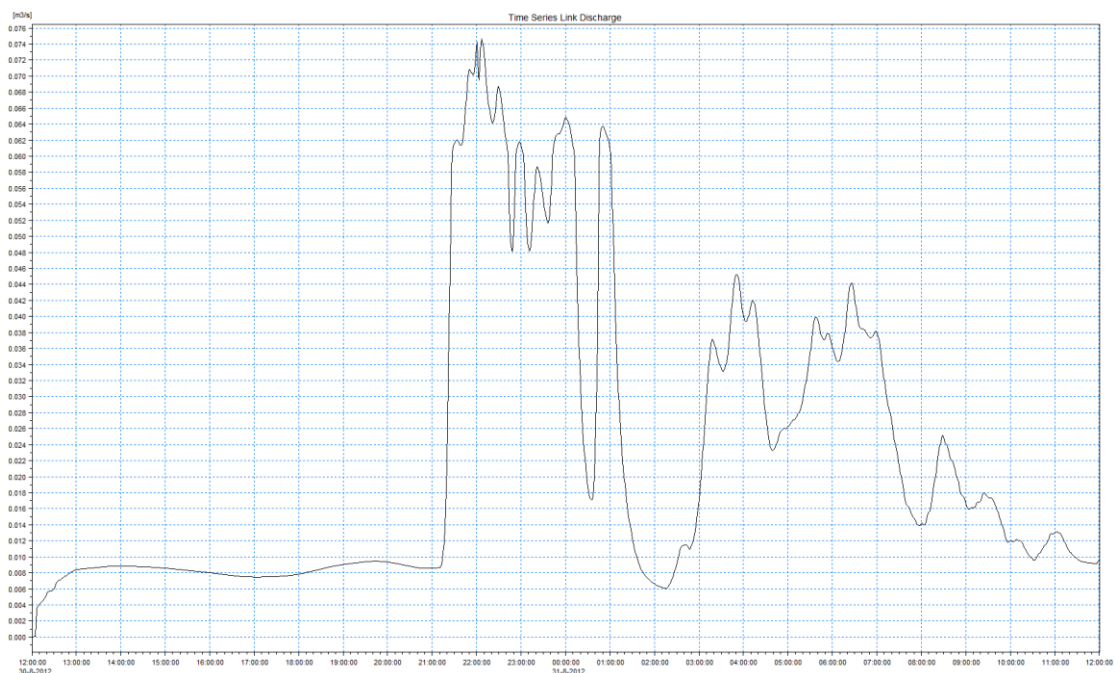
### 3.1.2. Dešťové průtoky na stokové síti

Na obrázcích Obrázek 32 –Obrázek 34 jsou výsledné hydrogramy před třemi důležitými odlehčovacími komorami nacházejícími se na stokách B a D za dešťových období. Tyto výsledky byly převzaty z již existujících modelů vytvořených v Mike Urban.



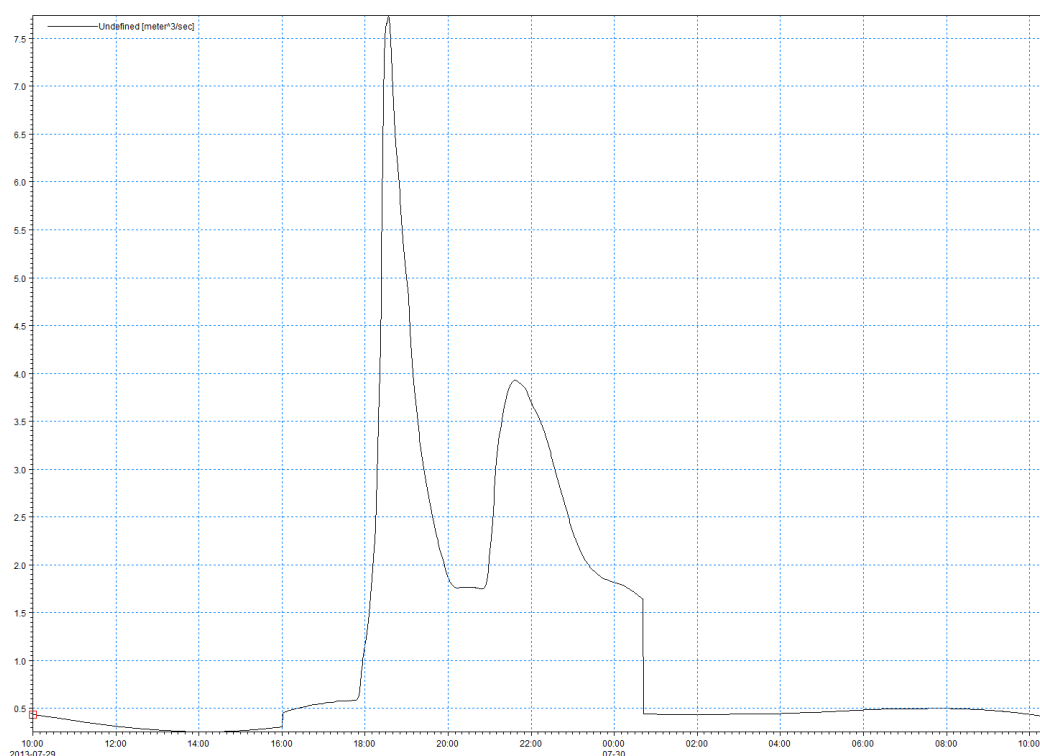
Obrázek 32 Průtok za odlehčovací komorou OK 2D za dešťové události z června 2012 z modelu stok CD [69]

Dešťové průtoky na kmenových stokách CD před odlehčovací komorou OK 2D (viz Obrázek 32) mají v dešťové události z června 2012 maximální průtok 2,4 m<sup>3</sup>/s.



Obrázek 33 Průtok za odlehčovací komorou OK 1D za dešťové události z června 2012 z modelu stok CD [69]

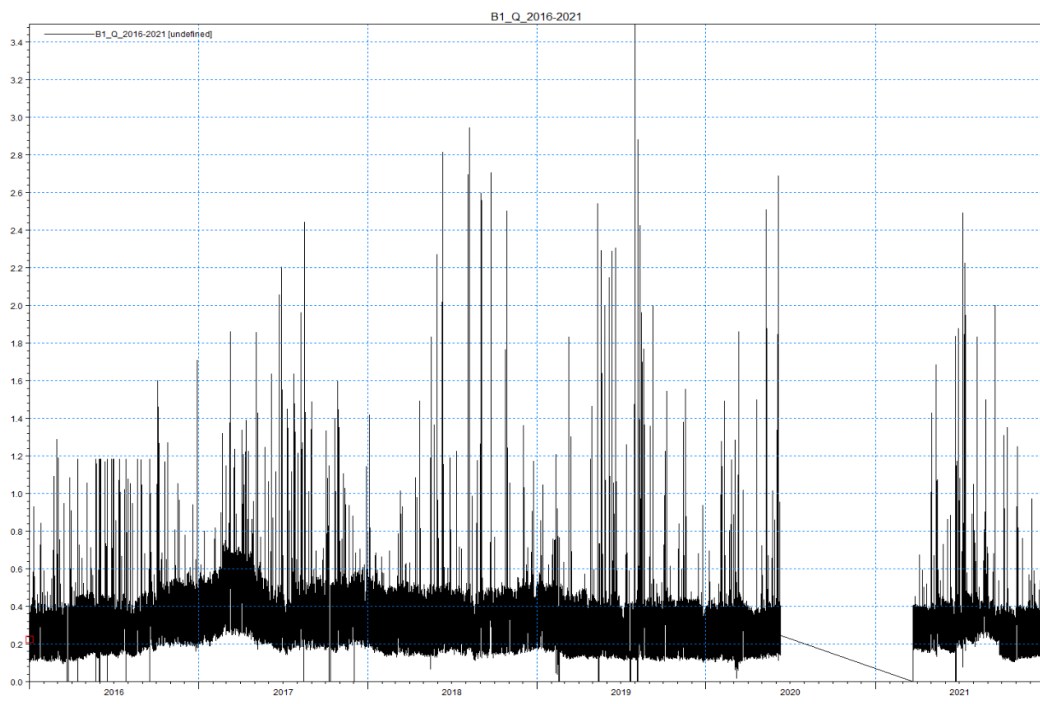
Dešťové průtoky na kmenových stokách CD před odlehčovací komorou OK 2D (viz Obrázek 33) mají v dešťové události z června 2012 maximální průtok 0,074 m<sup>3</sup>/s.



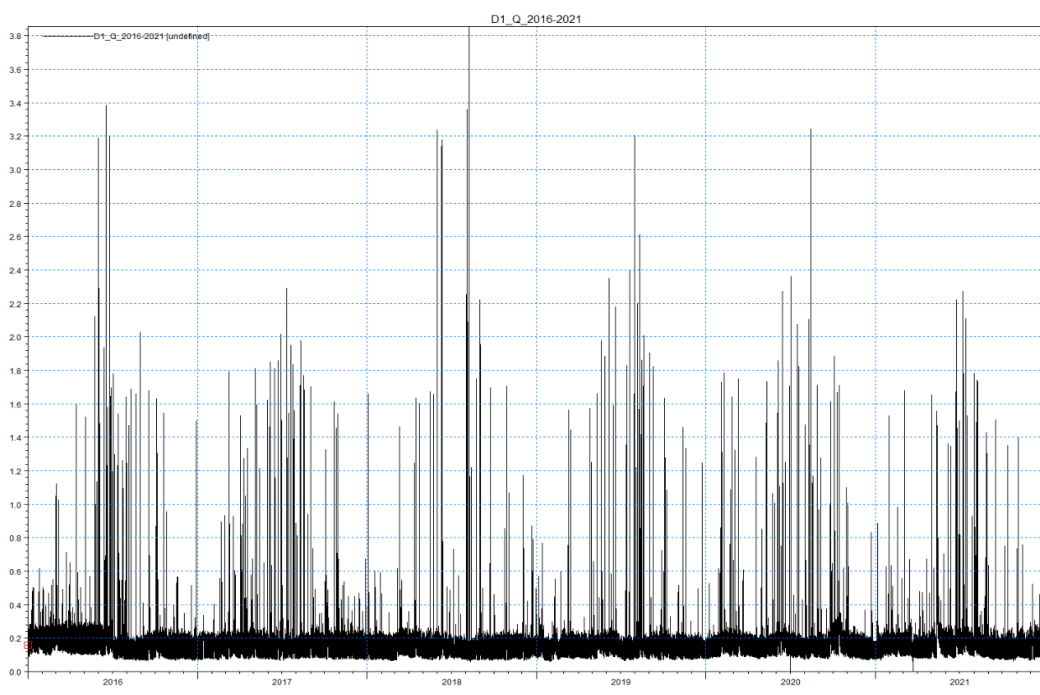
Obrázek 34 Průtok před odlehčovací komorou OK 1B [69]

Dešťové průtoky na kmenové stoce B před odlehčovací komorou OK 1B (viz Obrázek 33) mají v dešťové události z července 2013 maximální průtok 7,5 m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.3. Měření získaná z měrných profilů B1 a D1



Obrázek 35 Měření průtoků na měrném profilu B1 za elektrárnou



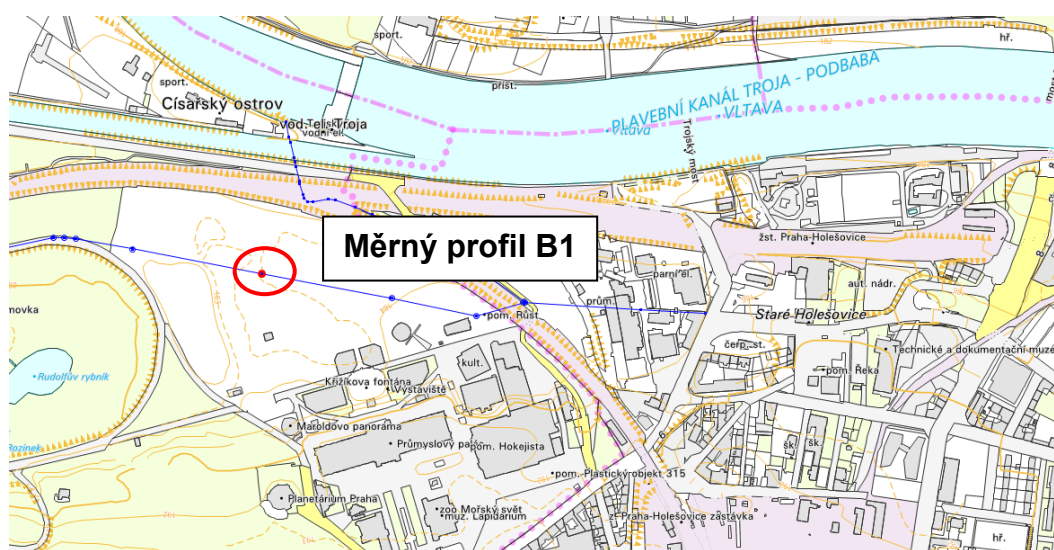
Obrázek 36 Měření na měrném profilu D1

Měření jsou prováděna na měrných profilech B1 (viz Obrázek 35) a D1 (viz Obrázek 36) v letech 2016 - 2021. Měrný profil B1 se nachází na stoce B přibližně 480 m za

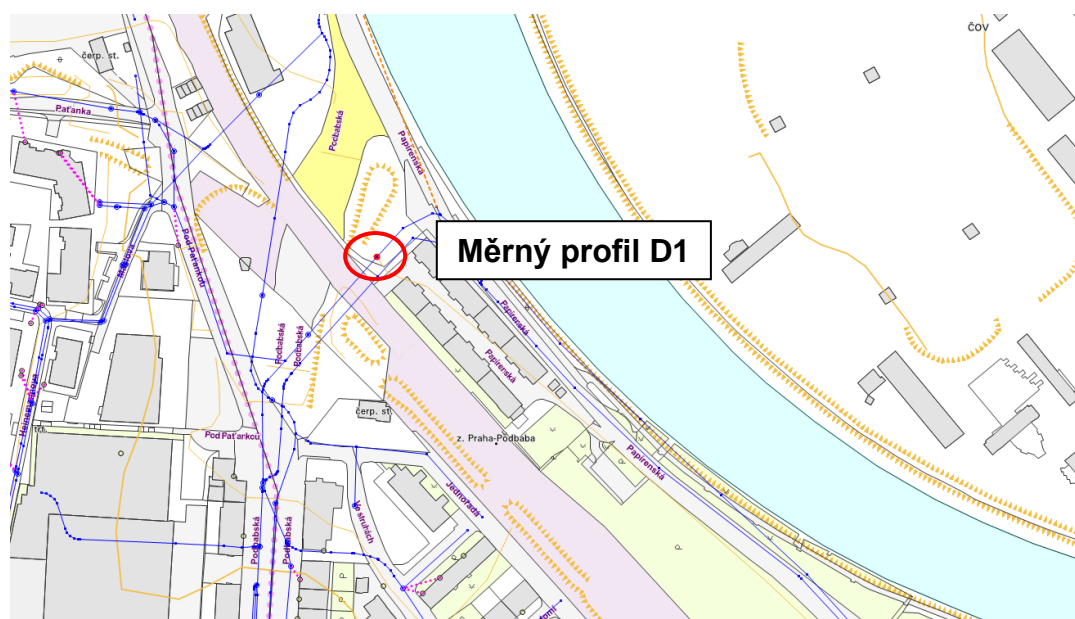
odlehčovací komorou OK 1B. Měrný profil D1 se nachází na stoce D přibližně 260 m za odlehčovací komorou OK 2D v ulici Papírenská.

Na měrném profilu B1 došlo v roce 2020 k výpadku v měření. Bezdeštné průtoky na tomto měrném profilu jsou v dlouhodobém průměru 0,1 – 0,3 m<sup>3</sup>/s. Maximální naměřený průtok v tomto období je 3,44 m<sup>3</sup>/s.

Na měrném profilu D1 jsou pak bezdeštné průtoky v dlouhodobém průměru v hodnotách 0,15 – 0,32 m<sup>3</sup>/s. Maximální dešťový průtok naměřený v tomto období je pak 3,82 m<sup>3</sup>/s.



Obrázek 37 poloha měrného profilu B1

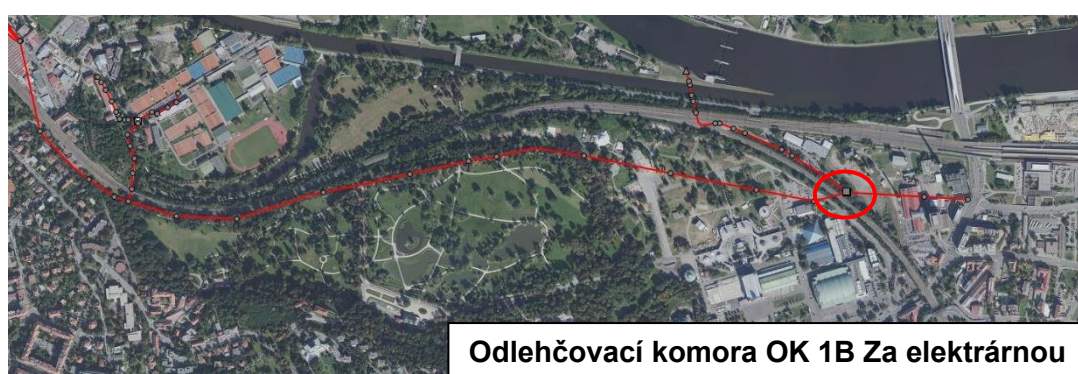


Obrázek 38 Poloha měrného profilu D1



## 3.2. Stavba modelu stávajícího stavu

Tento model vznikl spojením již existujících modelů kmenových stok CD a částí modelu kmenové stoky B (viz Obrázek 39 Ukázka převzaté části stoky B). Část modelu B byla převzata z modelu posouzení provizorní čerpací stanice ČSOV\_BD na Císařském ostrově. Převzatá část stoky B začíná šachtou v ulici Partyzánská (souřadnice  $X=-741341.23$  a  $Y=-1040761.72$ ), pokračuje k odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou a poté pokračuje ulicí Papírenská až k šachtě u muzea Staré čistírny odpadních vod (souřadnice  $X= -743843.8.23$  a  $Y=-1040344$ )



Obrázek 39 Ukázka převzaté části stoky B

### 3.2.1. Podrobná definice geometrie objektů na stokové síti

Pro výpočet modelu byla definována podrobná geometrie tří odlehčovacích komor OK 1B, OK 1D a OK 2D. Podklady pro provedení této definice byly výkresy prováděcí dokumentace každé ze zmíněných odlehčovacích komor a technické zprávy. V této definici je počítána příčná a podélná plocha daného objektu a byla provedena pro každých 5 cm, s výjimkou dna a prvních dvou cm výšky.

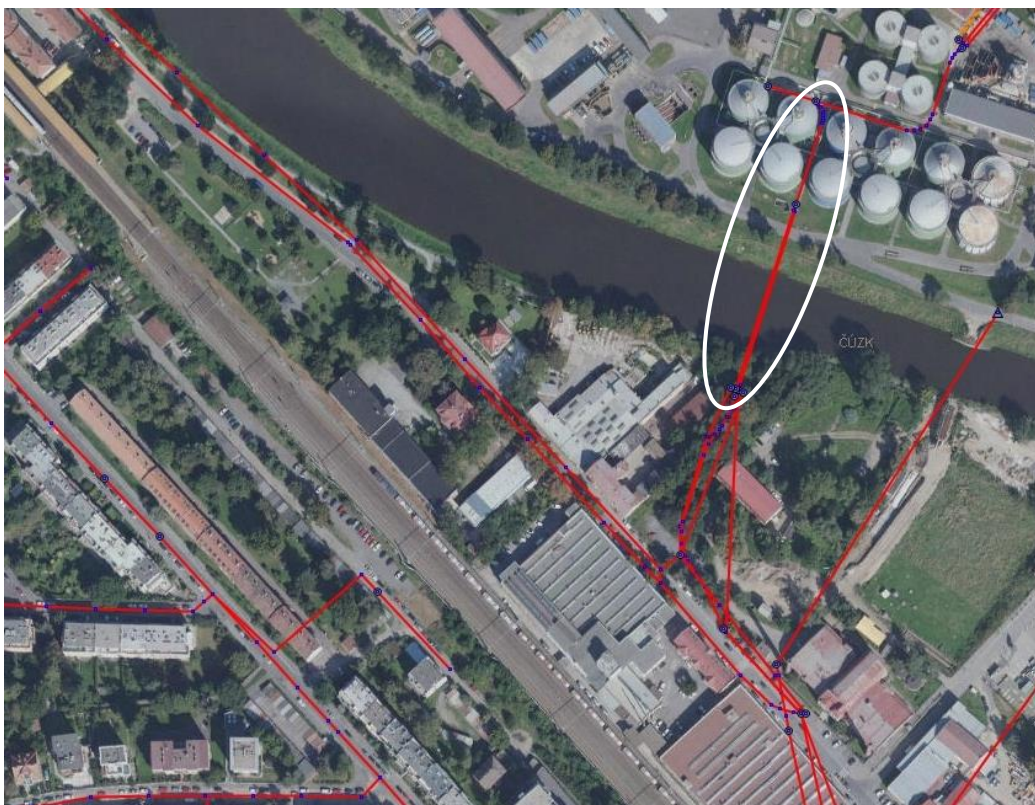
### 3.2.2. Okrajové podmínky modelu

Do matematického modelu bylo převzato několik okrajových podmínek z modelu kmenových stok CD a dále byly vytvořeny okrajové podmínky popisující poměry na kmenové stoce B z výsledkových souborů modelu kmenových stok AB pro bezdešťové a dešťové stavy. Okrajová podmínka popisující dění dešťového stavu na kmenové stoce B byla zvolena jako zatěžovací dešť E10 ze srážkoměru D12.

Maximální průtok při této dešťové události je 5,738 m<sup>3</sup>/s . Okrajová podmínka pro bezdešťový stav je výsledkový soubor z modelu kmenových stok AB.

### 3.2.3. Předpoklady funkčnosti stokové sítě

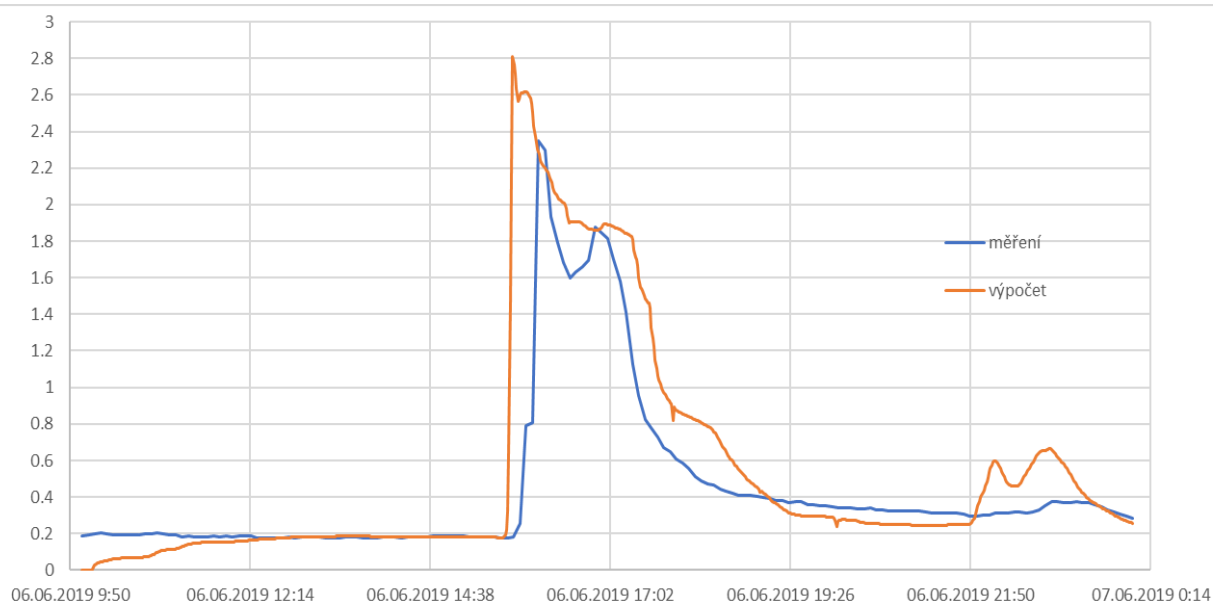
Dle předchozích výpočtů a také díky měření, které byly na stokové síti prováděny, je očekáváno, že stoka B má nedostatečnou kapacitu a bude při deštích natlakovaná ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je shybka BD (viz Obrázek 40), která má nedostatečnou kapacitu 2,7 m<sup>3</sup>/s. Druhým důvodem je odlehčovací komora OK1B Za elektrárnou s nedostatečně dlouhou přelivnou hranou. Nedostatečná kapacita stoky B pak při deštích negativně ovlivňuje i stoku D.



Obrázek 40 Detail problémové shybky BD

## 3.3. Verifikace modelu

Verifikace modelu byla provedena na čtyři srážkové události a poté byly tyto výpočty porovnané s měřeními z měrného profilu D1 a vyhodnoceny (viz Tabulka 4 - Tabulka 7) a (viz Obrázek 41 - Obrázek 44).

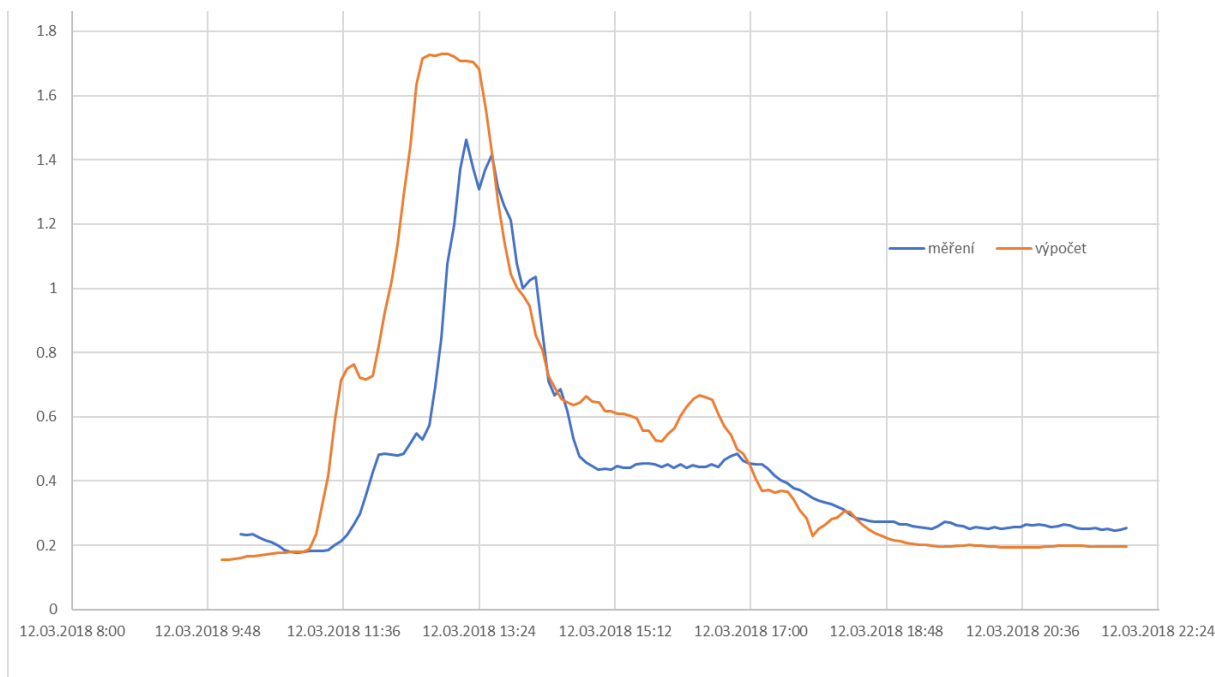


Obrázek 41 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z června 2019

Tabulka 4 Verifikace modelu na dešťovou událost z června 2019

	$Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> ]	čas $Q_{\max}$	objem [m <sup>3</sup> ]
měření	2.349	06.06.2019 16:05	4452.40
model	2.811	06.06.2019 15:44	5439.48
rozdíl [%]	16.44	21 min	18.15

První srážková událost, na kterou byl matematický model verifikován, je z 6. – 7. června 2019. V této verifikaci byly vyhodnoceny odchylky v přijatelných hodnotách, ačkoliv jsou odchylky v této srážkové události větší než v ostatních verifikovaných srážkových událostech, průměrné odchylky verifikace jsou v přijatelných hodnotách (viz níže).

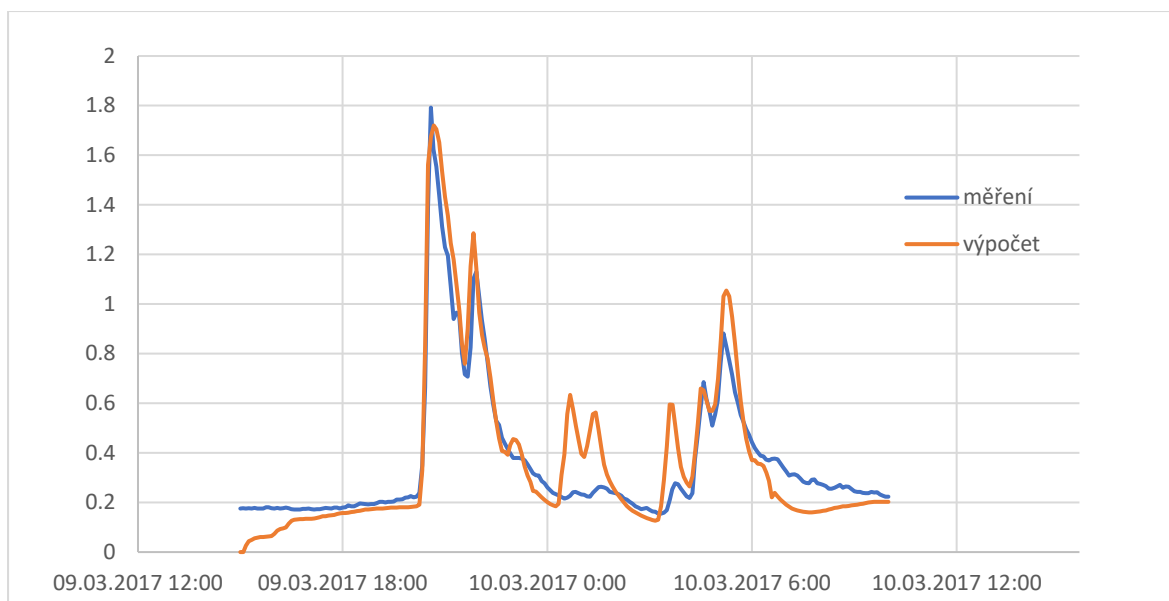


Obrázek 42 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z března 2018

Tabulka 5 Verifikace modelu na dešťovou událost z března 2018

	$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> )	čas $Q_{\max}$	objem [m <sup>3</sup> ]
měření	1.463	12.03.2018 13:00	3871.56
model	1.73	12.03.2018 13:00	4739.52
rozdíl [%]	15.43	0.00	18.31

Druhá srážková událost, na kterou byl matematický model verifikován, je z 12. – 13. března 2018. V této verifikaci je zejména čas kulminace  $Q_{\max}$  velmi přesný. Celkově jsou verifikované hodnoty v této události vyhodnoceny jako dostačující.

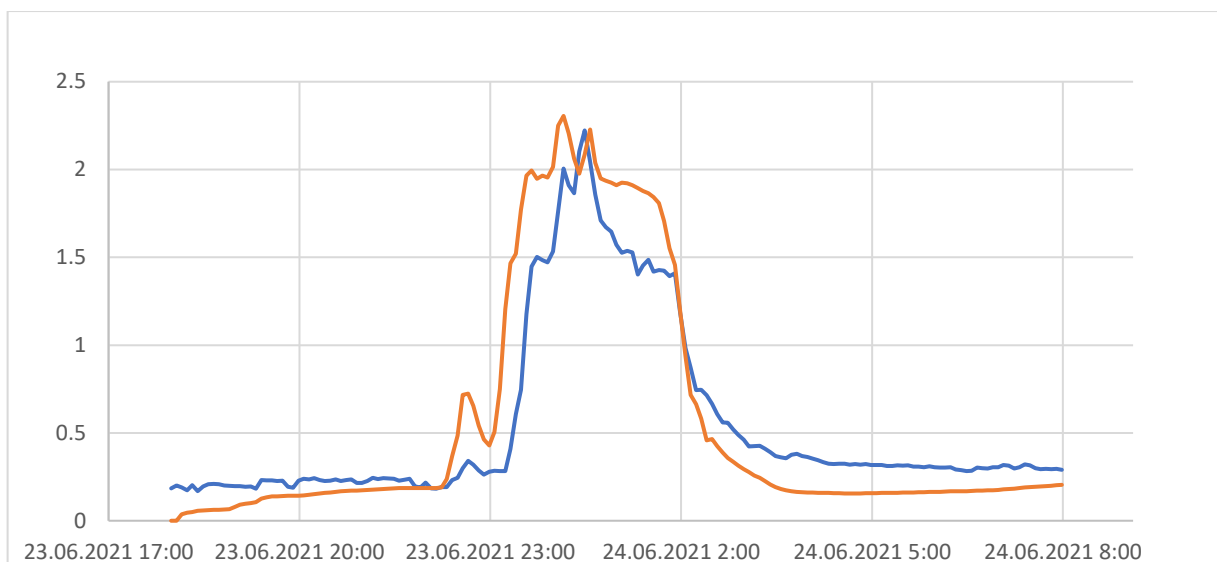


Obrázek 43 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z března 2017

Tabulka 6 Verifikace modelu na dešťovou událost z března 2017

	$Q_{\max}$ [ $\text{m}^3$ ]	objem [ $\text{m}^3$ ]	čas $Q_{\max}$
měření	1.792	5014.14	09.03.2017 20:35
model	1.72	5073.48	09.03.2017 20:40
rozdíl [%]	4.19	1.17	5 min

Třetí srážková událost, na kterou byl matematický model verifikován, je z 9. – 10. března 2017. Verifikované hodnoty srážkové události byly vyhodnoceny jako velmi přívětivé a zlepšují celkový průměr verifikace (viz níže).



Obrázek 44 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z června 2021

Tabulka 7 Verifikace modelu na dešťovou událost z června 2021

	$Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]	čas $Q_{\max}$
měření	2.22245	5508.31	24.06.2021 0:30
model	2.305	5570.22	24.06.2021 0:10
rozdíl [%]	3.58	1.11	20 min

Čtvrtá srážková událost, na kterou byl matematický model verifikován, je z 23. - 24. června 2021. Výsledky této verifikace byly vyhodnoceny jako dostačující. Zajímavé na této srážkové události je to, že ve výpočtu tohoto modelu jsou dvě velmi sobě podobná maxima, která se od sebe nachází přibližně půl hodiny, a to druhé maximum je velmi podobné maximální průtokem  $Q_{\max}$  i času kulminace  $Q_{\max}$  naměřeného v reálné srážkové události (viz Obrázek 44).

Tabulka 8 Průměrné odchylky na verifikovaných dešťových událostech

Průměrné odchylky verifikace		
Maximální průtok $Q_{\max}$	9.91	%
Objem proteklého množství V	9.69	%
čas kulminace	14	min

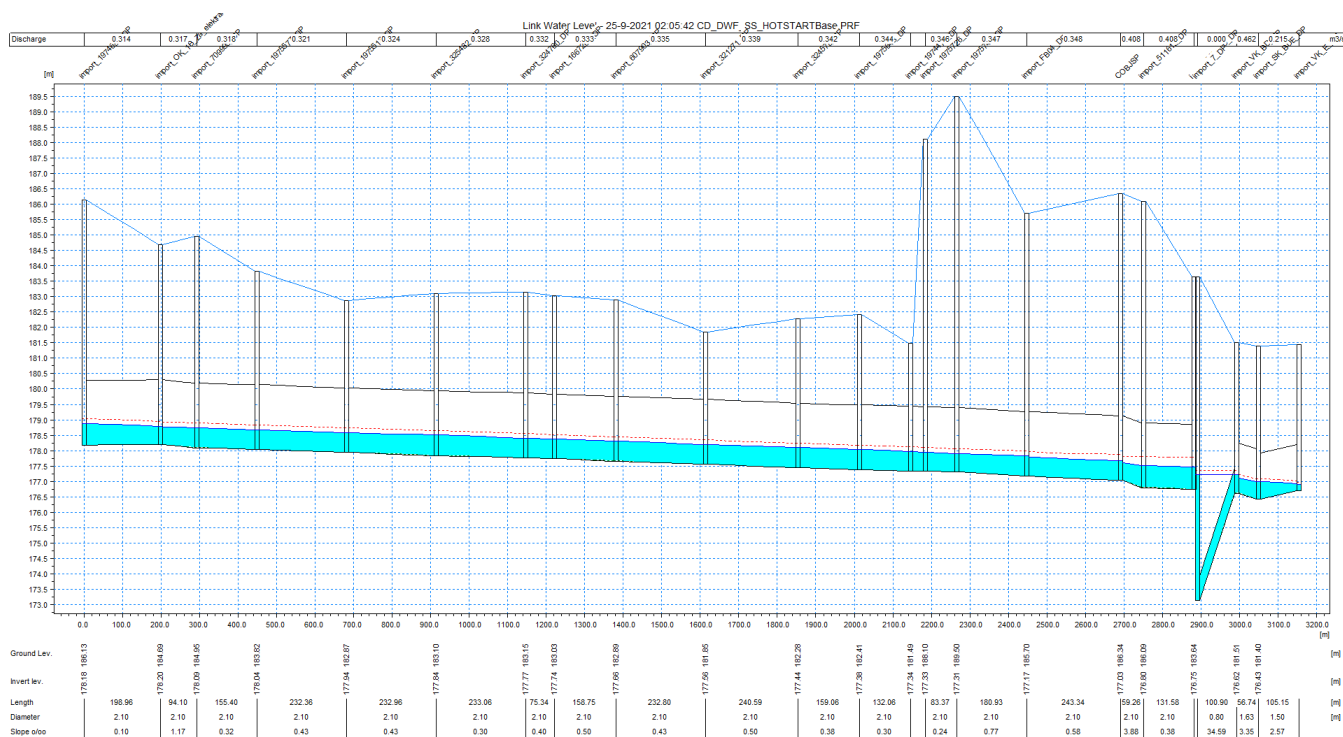
Průměrné odchylky verifikace matematického modelu vycházejí v doporučených odchylkách (viz kapitola 8.2). Po provedení verifikace matematického modelu byl dále proveden výpočet stávajícího provizorního stavu.

### 3.4. Výpočet modelu stávajícího stavu

Výpočet stávajícího (provizorního stavu) byl proveden převážně pro ověření správnosti kalibrace převzatých modelů a ověření předpokladů na funkčnosti stokové sítě (viz kapitola 3.2.3). Pro výpočet byl použitý hydrologický model Time-Area (viz kapitola 8.3.1) a typ modelu Dynamické vlny (viz kapitola 8.3.1). V modelu není uvažován celkový objem kmenové stoky B. Okrajové podmínky na stoce B (viz kapitola 3.2.2) byly vloženy pouze jako výsledné hydrogramy.

#### 3.4.1. Výpočet bezdeštného stavu

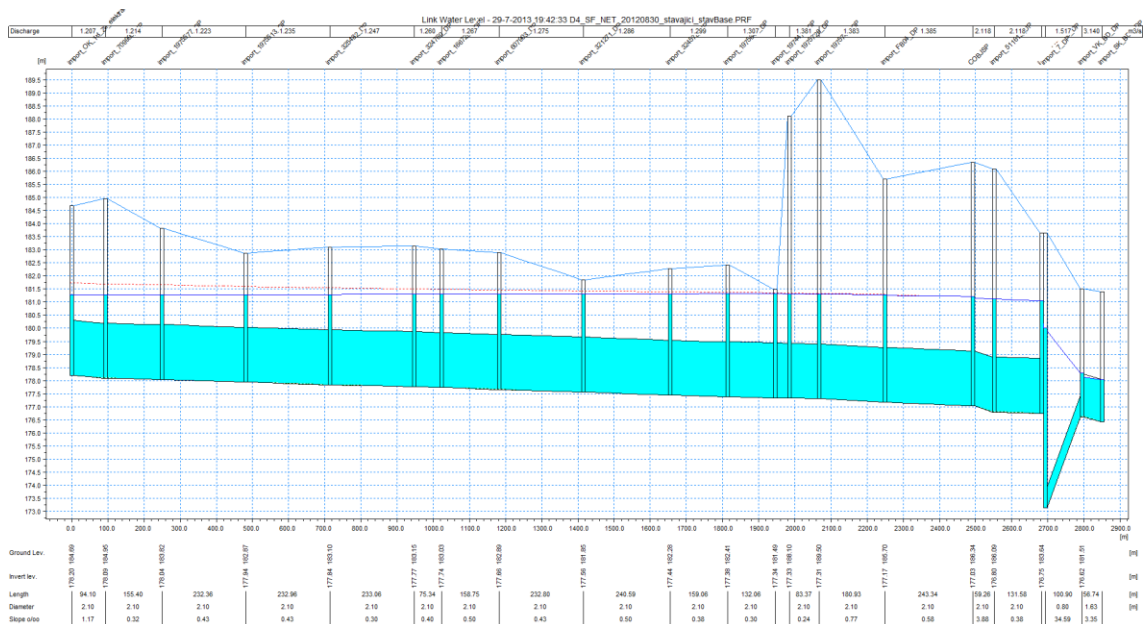
Výpočet bezdeštného stavu byl proveden v období 25. 9. – 27. 9. 2021. Výsledky tohoto modelu byly dále porovnány s měřeními na stokové síti ve stálých měrných profilech B1 a D1.



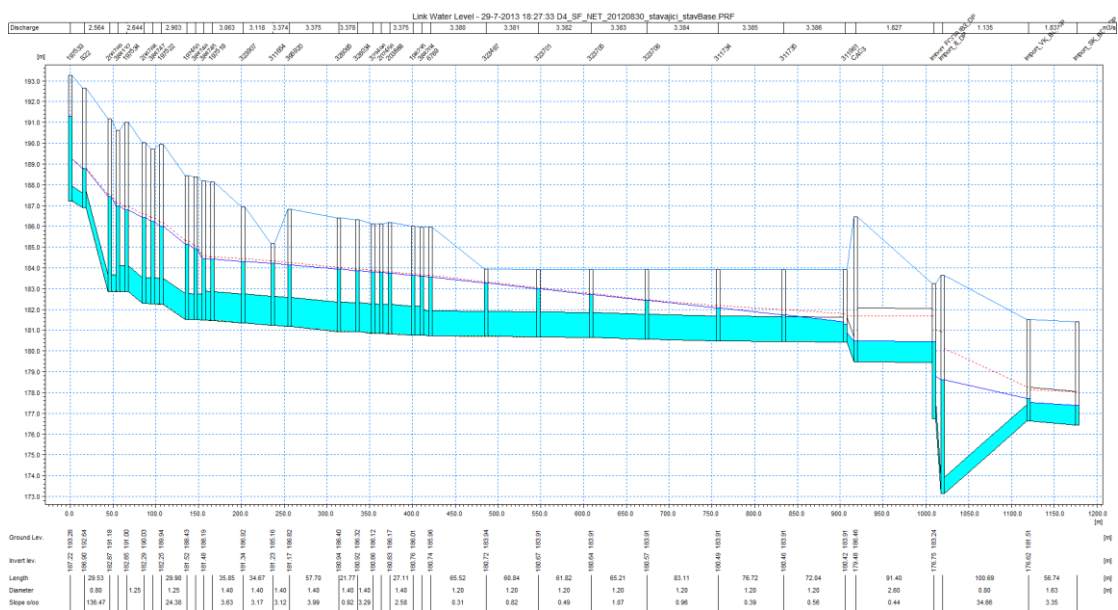
Obrázek 45 Výsledná hladina na stoce B za stávajícího provizorního stavu při bezdeštném průtoku







Obrázek 47 Výsledná hladina na stoce B za stávajícího provizorního stavu při zatěžovací srážce E10



Obrázek 48 Výsledná hladina na stoce D za stávajícího provizorního stavu při zatěžovací srážce E10

### 3.4.4. Vyhodnocení výsledků stávajícího stavu

Z výsledků dešťového stavu je zřejmé, že stoka B je nedostatečně kapacitní a dochází na ní k velmi výraznému vzduť a to až 0,2 m pod terénem (viz Obrázek 47). Stoka D je výrazně ovlivněna vzduťm na stoce B (viz Obrázek 48), největší vzduť a to až 0,6 m pod terén. Tento problém zapříčinila hlavně shybka BD, která má nedostatečnou kapacitu 2,7 m<sup>3</sup>/s a nedostatečně kapacitní délka přelivné hrany v odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou.

## 4. Výhledový stav

Z výsledků stávajícího stavu je patrné (viz kapitola 3.4.4), že tento stav je pro současné potřeby nevyhovující. Tento problém zapříčinila hlavně již zmíněná shybka BD (viz kapitola 3.2.3), která bude ve výhledovém stavu odpojena a současná odlehčovací komora OK 1B za elektrárnou. Na kmenových stokách B a D byly navrženy nové stoky a objekty. Navrhovaný stav by měl vylepšit aktuální situaci nátoků na čistírnu odpadních vod na Císařském ostrově.

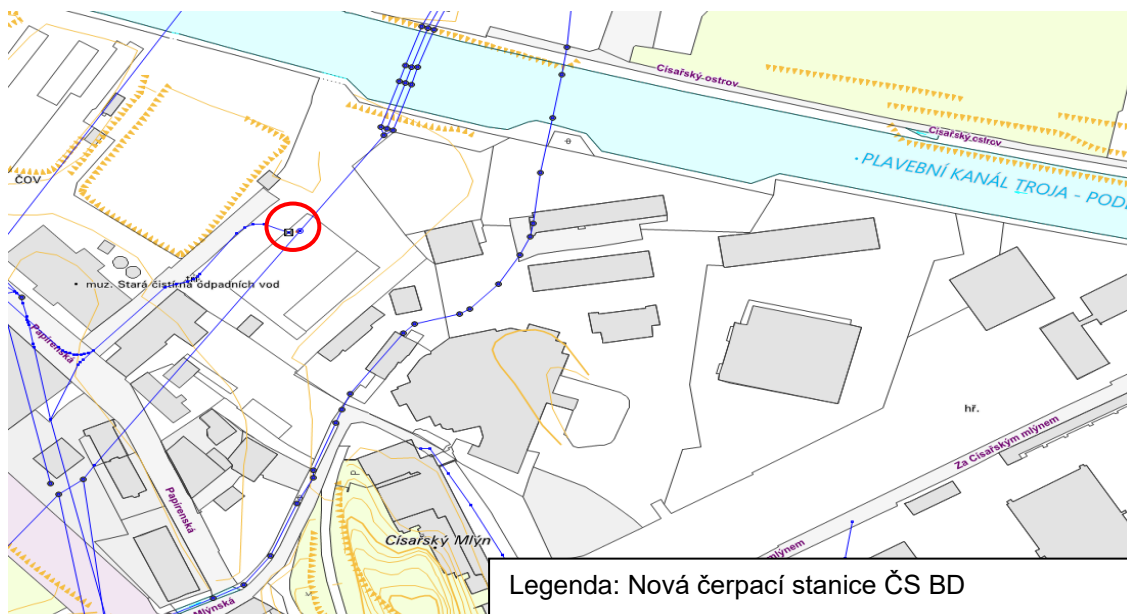
### 4.1. Popis modelu výhledového stavu

Model výhledového stavu byl sestaven z modelu stávajícího stavu a projektových dokumentací navrhovaných objektů nové čerpací stanice BD, nové odlehčovací komory OK 1B za elektrárnou, nových spojovacích a rozdělovacích komor a stok.

#### 4.1.1. Popis nových objektů na stokové síti

- **Nová čerpací stanice BD**

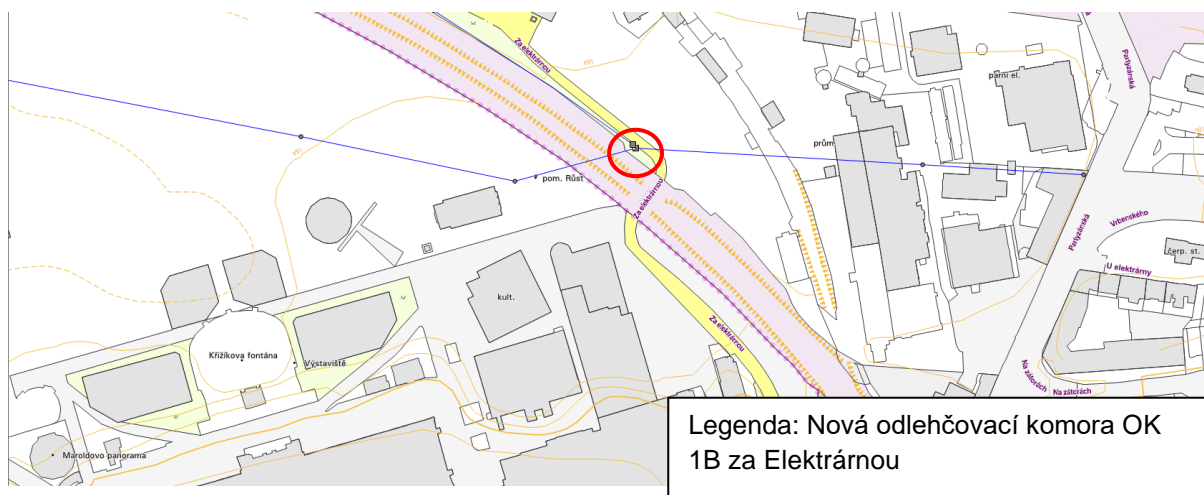
Nová čerpací stanice BD vznikne v blízkosti Plavebního kanálu Troja – Podbaba. Tato čerpací stanice nahradí stávající shybku BD. Čerpací stanice BD bude přečerpávat vodu z kmenových stok BD do kmenové stoky C, konkrétně do spojně komory BDACK a odtud bude voda odváděna shybkou pod Vltavou na čistírnu odpadních vod. Čerpací stanice BD byla navržena se třemi šnekovými čerpadly o zapojení 2+1. Čerpané množství jednoho čerpadla je 1,5 m<sup>3</sup>/s o dopravní výšce 7,3 m.



Obrázek 49 Umístění nové čerpací stanice BD

- **Nová odlehčovací komora OK 1B za elektrárnou**

Nová odlehčovací komora OK 1B za elektrárnou vznikne na stejném místě, kde původně byla navržena stávající odlehčovací komora OK 1B za elektrárnou. V tomto návrhu dojde k prodloužení přelivné hrany z 3,68 m na 10,1 m a k celkovému zvýšení objemu odlehčovací komory. Konstrukce nové odlehčovací komory bude železobetonová. Dále dojde ke zkapacitnění trasy výusti na přelivu z odlehčovací komory, která bude zkapacitněna o novou dvouramennou litinovou shybku o průměru DN 1400 (viz Obrázek 50) a stávající výustní objekt bude zrekonstruován a zkapacitněn.



Obrázek 50 Umístění nové odlehčovací komory B1 Za elektrárnou



Obrázek 51 Zkapacitnění přelivu na OK 1B Za elektrárnou

- **Nové stoky na nátokovém labyrintu na levém břehu Vltavy**

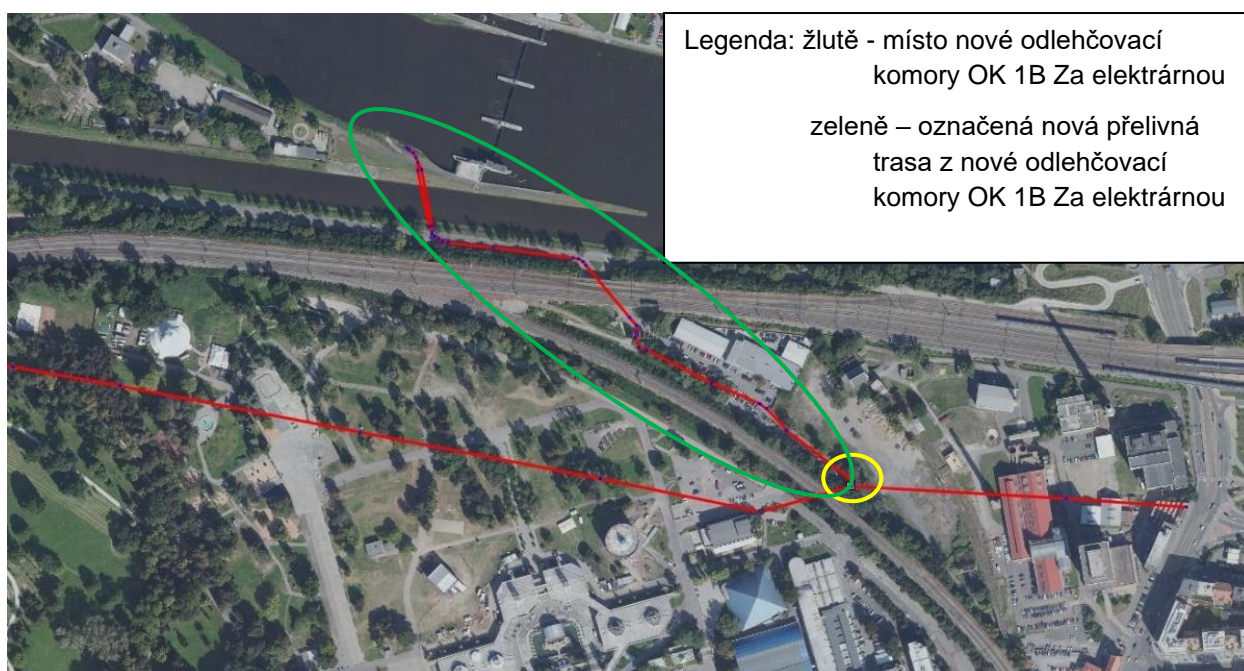
Návrhy výhledového stavu počítají s úplným odpojením problémové nekapacitní shybky BD. Na stokové síti vznikne několik spojovacích a rozdělovacích komor (podrobně viz kapitola 4.5), které slouží ke spojení kmenových stok B a D a propojení labyrintu na levém břehu Vltavy s novou čerpací stanicí ČS BD (viz Obrázek 52). Dále na trase kmenové stoky B v ulici Papírenská vznikne nová shybka o délce 33,2 m z důvodu křížení stok.



Obrázek 52 Nová kompozice kmenových stok B a D Nátokového labyrintu na pravém břehu Vltavy

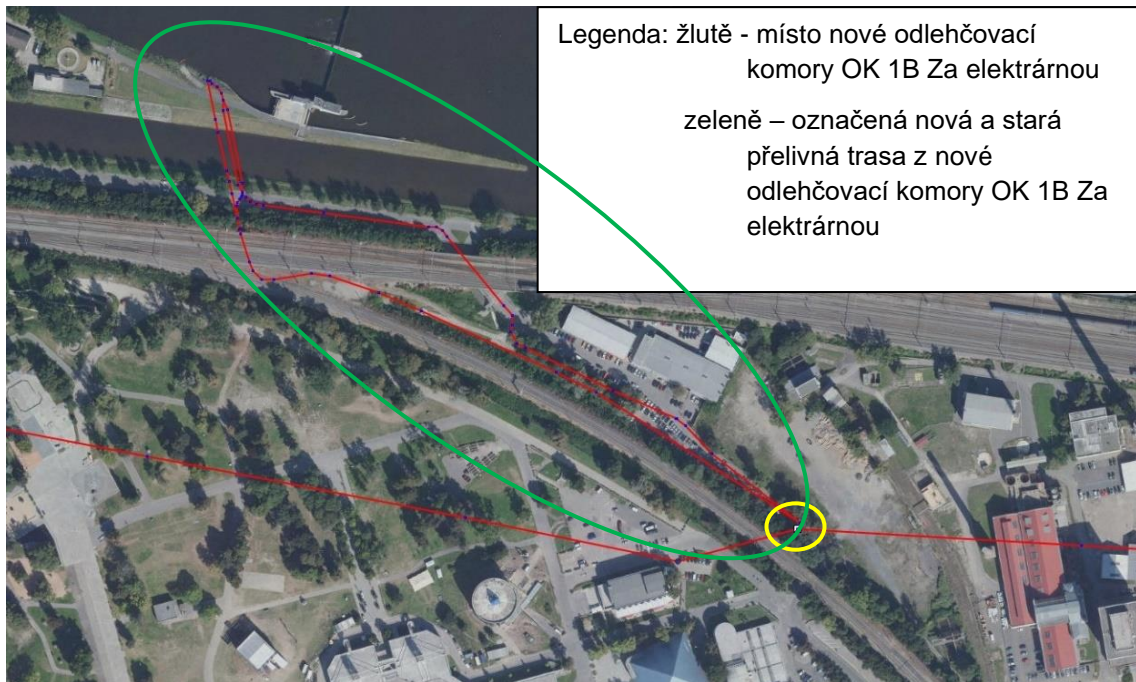
## 4.2. Popis variant výpočtů ve výhledovém stavu

- **Varianta 1 (výhledový stav – stav určený k realizaci)** – Na stokové síti je nová čerpací stanice ČS BD, nový Nátokový labyrint na pravém břehu Vltavy a nová odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou se starou trasou výusti v kombinaci s novou shybkou a novým výustním objektem (viz kapitola 4.1.1).
- **Varianta 2 (dočasný stavební stav )** – Na stokové síti bude postavena nová čerpací stanice ČS BD a nový Nátokový labyrint na pravém břehu řeky Vltavy, ale na kmenové stoce B bude stále stará odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou se starou výustí.
- **Varianta 3** - Na stokové síti je nová čerpací stanice ČS BD, nový Nátokový labyrint na pravém břehu Vltavy a nová odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou pouze původním návrhem nové trasy výusti (viz Obrázek 53).



Obrázek 53 Ukázka přidání nové přelivné trasy na nové odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou (varianta 3)

- **Varianta 4** - Na stokové síti je nová čerpací stanice ČS BD, nový Nátokový labyrint na pravém břehu Vltavy a nová odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou s použitím staré a nové výustí.



Obrázek 54 ukázka současného použití nové a staré přelivné trasy a nové výustí na nové odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou (varianta 4)

### 4.3. Okrajové podmínky na stokové síti ve variantách 1- 4

Do matematického modelu byly převzaty okrajové podmínky z modelu stávajícího stavu a dále byla vytvořena okrajová podmínka popisující poměry na kmenové stoce B z výsledkového souboru modelu kmenových stok AB pro největší zatížení při deštovém stavu, maximální průtok při této deštové události je  $7,706 \text{ m}^3/\text{s}$ . Touto okrajovou podmínkou je výsledný hydrogram vložený do modelu výhledového stavu.

### 4.4. Výpočet modelů variant 1 - 4

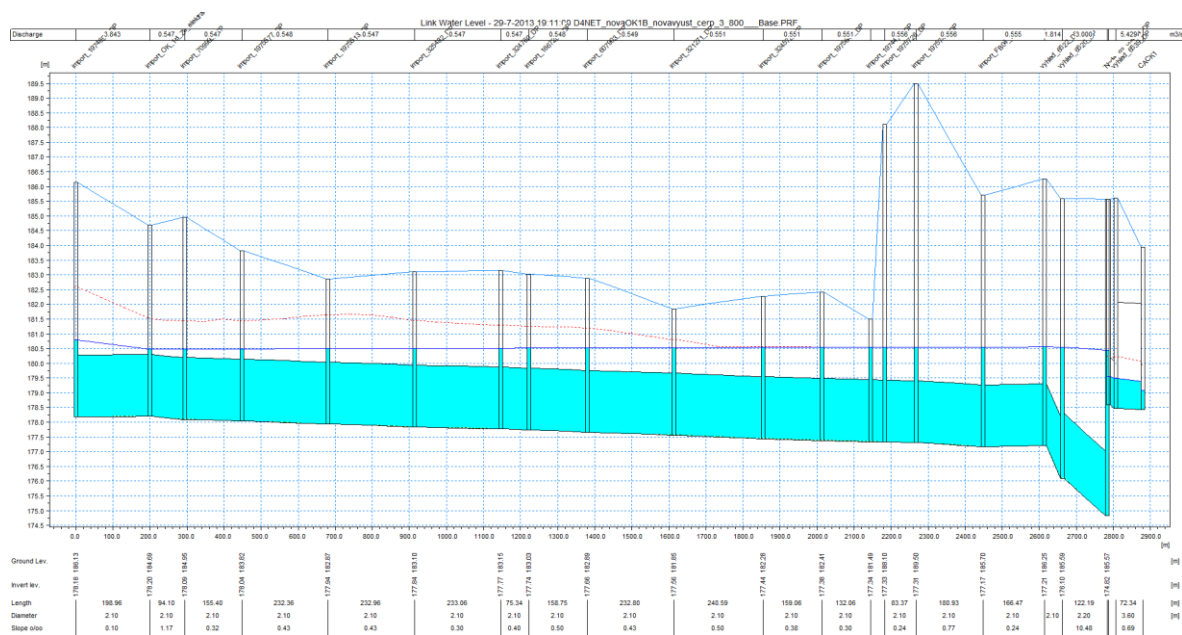
Výpočet výhledového stavu byl proveden pro ověření funkčnosti stokové sítě při stavbě nových staveb na stokové síti (viz kapitola 4.1.1). Pro výpočet byl použitý hydrologický model Time-Area (viz kapitola 8.3.1) a typ modelu Dynamické vlny (viz kapitola 8.3.1). Výpočet výhledového stavu byl proveden v čase 29. – 30. 7. 2013 jako je výpočet stávajícího stavu. Délka výpočtu se ve výhledovém stavu prodloužila o hodinu a půl oproti výpočtu stávajícího stavu na dvě a půl hodiny zejména kvůli zkrácení časového kroku výpočtu z 10 vteřin na 1 vteřinu. Toto zkrácení výpočtu bylo

provedeno zejména kvůli co nejpřesnějšímu popisu chování stokové sítě, ale také schopnosti programu provést výpočet.

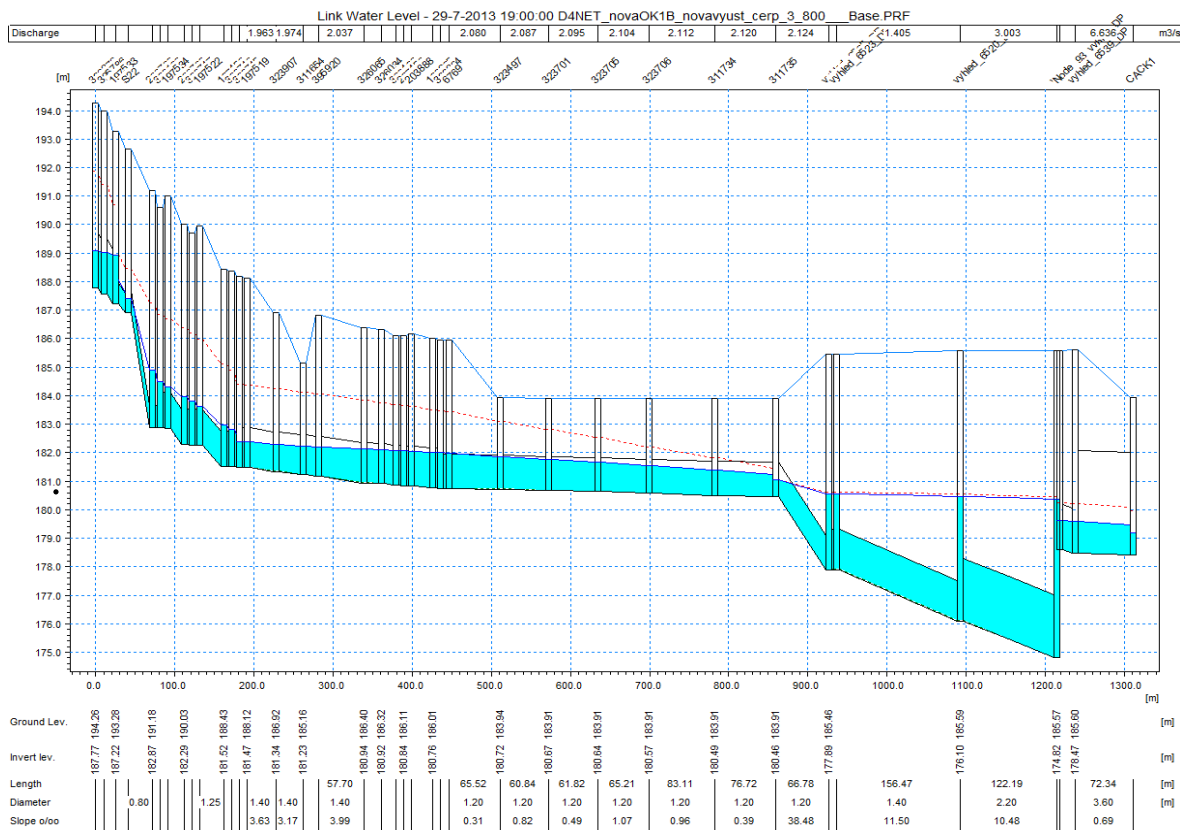
## 4.5. Stavba modelu výhledového stavu – stavu určeného k realizaci (Varianta 1)

Do modelu stávajícího stavu byly zaneseny nové objekty a nové stoky (viz kapitola 4.1). Mezi tyto nové objekty patří: nová spojná a rozdělovací komora BD, nová trasa stok na kmenové stoce D, nová rozdělovací komora na stoce B, nová šybkna na stoce B, nová trasa stok na kmenové stoce B, nová spojná komora SK na stoce B, nová čerpací stanice BD, nová spojná komora BDACK. Dále byly k těmto objektům přiřazeny jejich podrobné geometrické definice. Podklady pro provedení těchto definic byly výkresy prováděcí dokumentace každého ze zmíněných objektů a technické zprávy těchto objektů. Tyto definice byly provedeny pro každých 5 cm, s výjimkou dna a prvních dvou cm výšky byla vypočítána příčná a podélná plocha daného objektu.

### 4.5.1. Výsledky výhledového stavu – stavu určeného k realizaci



Obrázek 55 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B



Obrázek 56 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce D

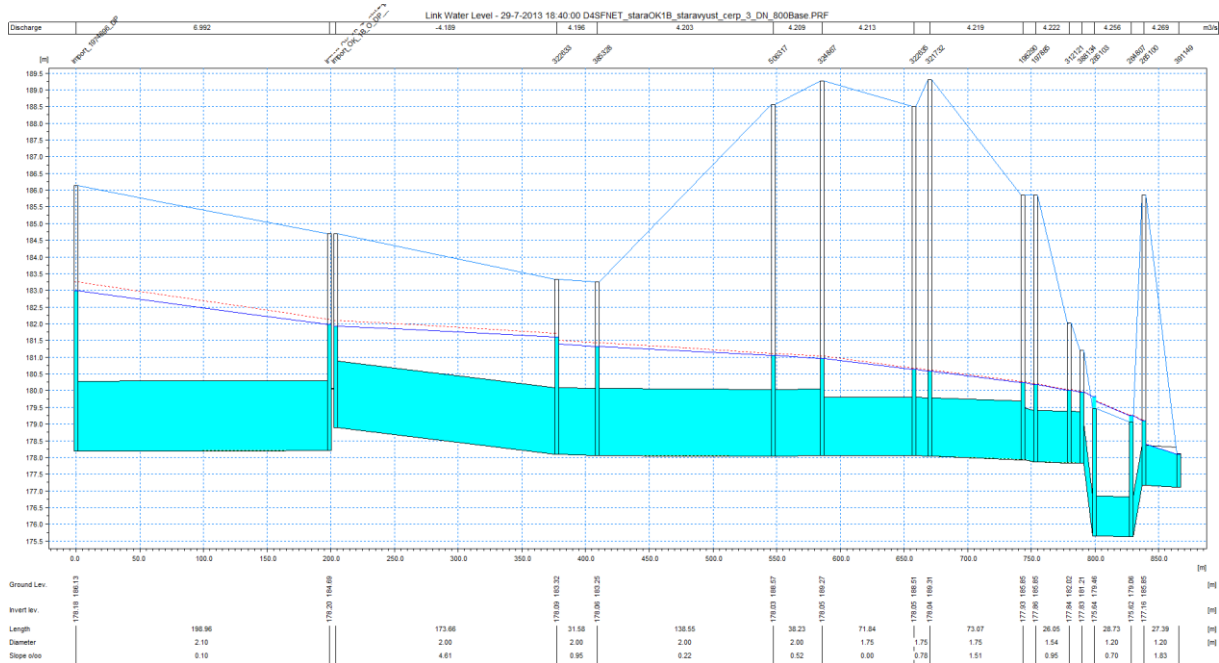
Z výsledků je patrné, že návrhový stav vylepšuje současnou situaci na kmenové stoce B, ale pořád dochází k natlakování dané stoky. Největší vzduť je patrné na šachtě improt\_19744\_DP na kótu 180,5 m n. m. (1 m pod povrchem) Toto je výrazné zlepšení oproti stávajícímu stavu, kde toto vzduť bylo 0,2 m pod úrovní stávajícího terénu. Situace se dále vylepšila i na stoce D, kde k největšímu vzduť dochází v šachtě 323497 na kótu 183,2 (1,2 m pod terén). Toto je vylepšení oproti stávajícímu stavu, kde docházelo ke vzduť až 1 m pod úroveň terénu.

#### 4.6. Popis a stavba modelu provizorního stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a starou odlehčovacím komorou OK 1B (Varianta 2)

Tato varianta byla posuzována převážně z hlediska funkčnosti sítě při stavbě nové odlehčovacím komory OK 1B za Elektrárnou a za provozu nové čerpací stanice BD. Tato varianta je variantou provizorní. Předpokladem tohoto výpočtu bylo vylepšení parametrů na stokové síti, jelikož maximální kapacita odpojené shybky byla 2,7 m<sup>3</sup>/s a kapacita čerpání nové čerpací stanice je 3 m<sup>3</sup>/s.







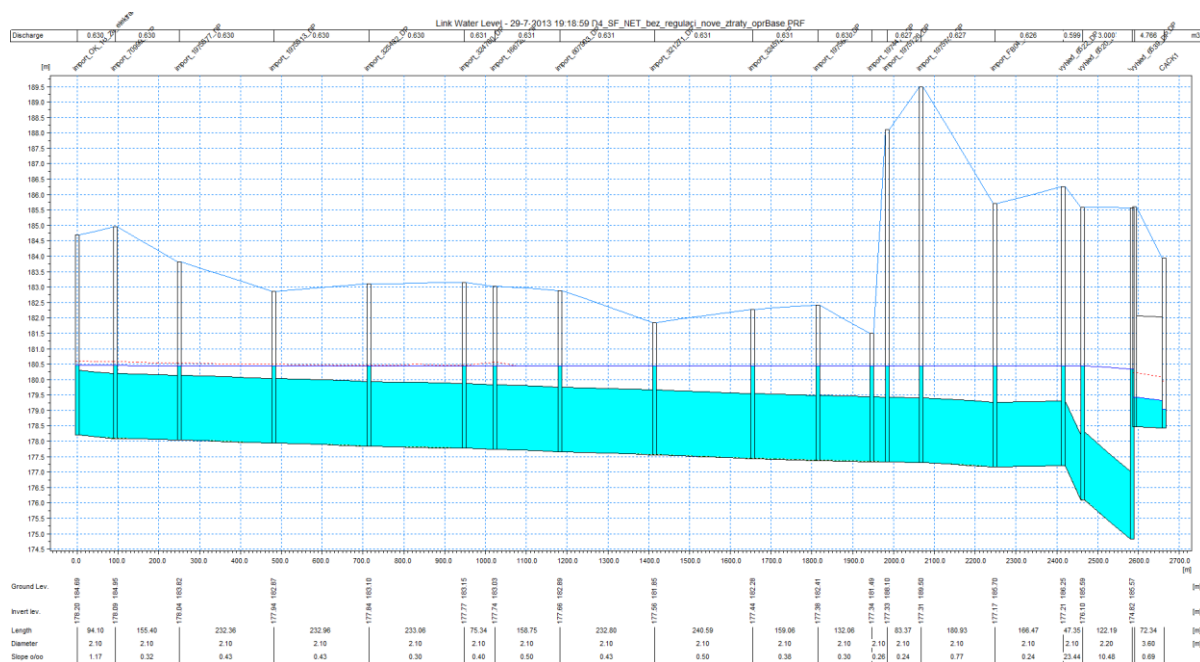
Obrázek 59 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na výusti za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou

Tento provizorní stav ukazuje zlepšení oproti současnému stavu, což potvrzuje předpoklad, kdy jsou hladiny na kmenové stoce B vylepšeny. Toto je nejpatrnější na šachtě import\_19744\_DP (viz obrázek 59), kde se vzduť zmenší o 0,7 m. Na kmenové stoce D dojde k mírnému zlepšení (viz obrázek 60). Toto je nejpatrnější na šachtě 323497 se zmenší o 0,3 m.

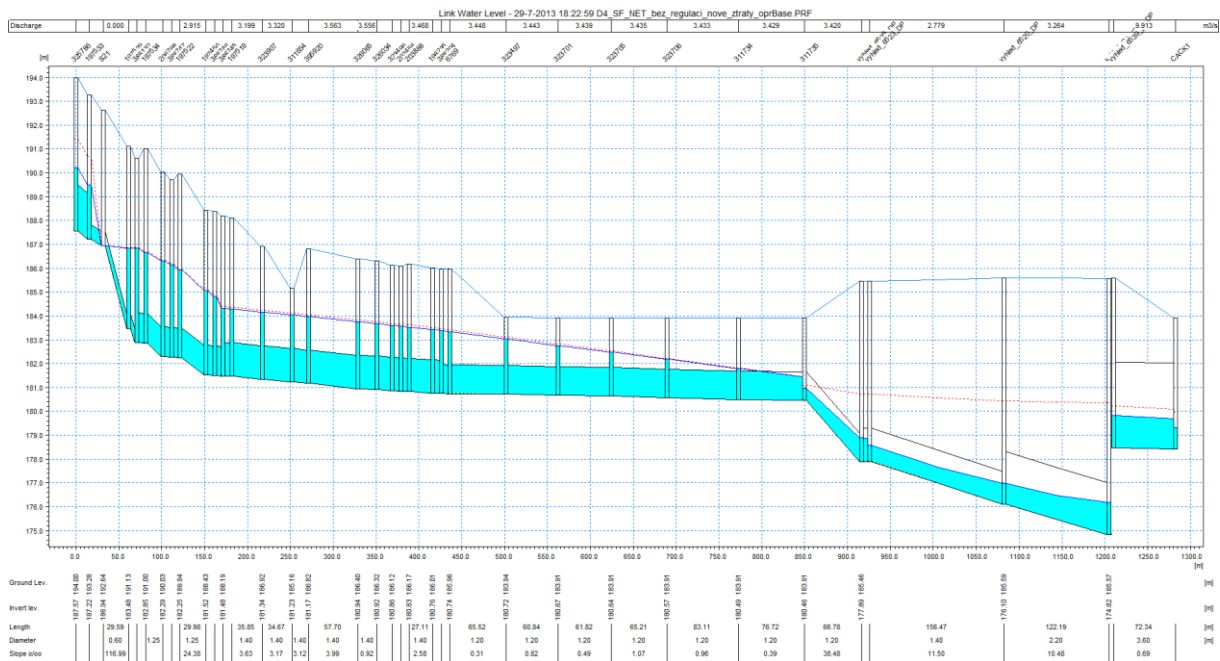
## 4.7. Popis a stavba modelu provizorního novou čerpací stanicí BD a novou odlehčovací komorou OK 1B s kompletně novou výustí (Varianta 3)

Tato varianta byla počítána zejména kvůli přívětivým výsledkům při posuzování přepadu na nové odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou, tato varianta ale nakonec nebude navržena.

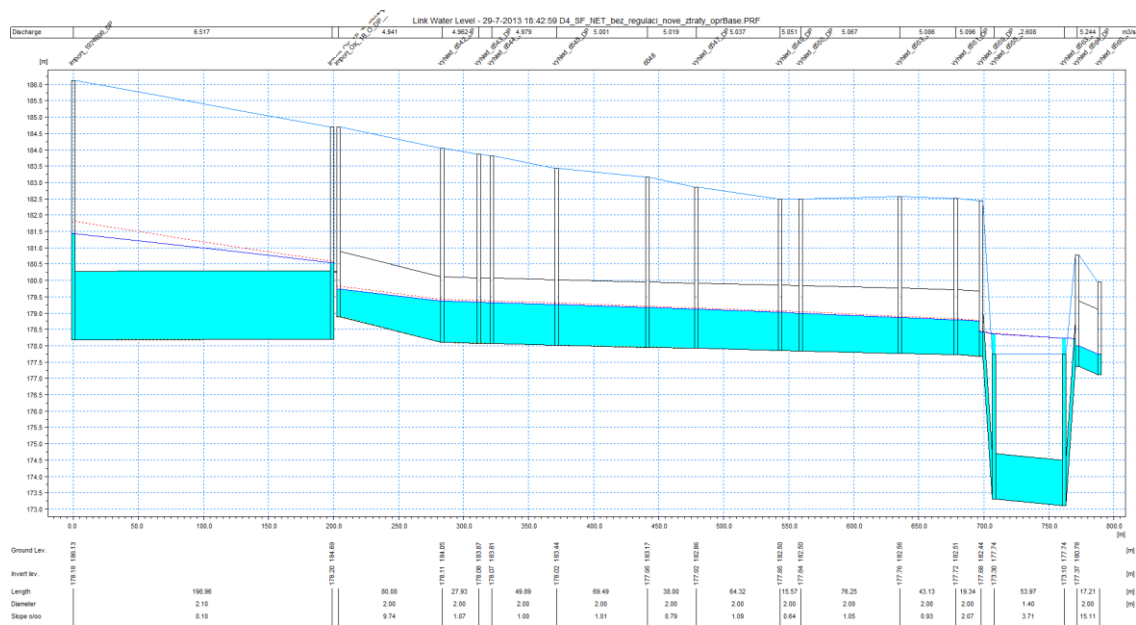
### 4.7.1. Výsledky varianty stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a novou odlehčovací komorou OK 1B s kompletně novou výustí



Obrázek 60 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B



Obrázek 61 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce D



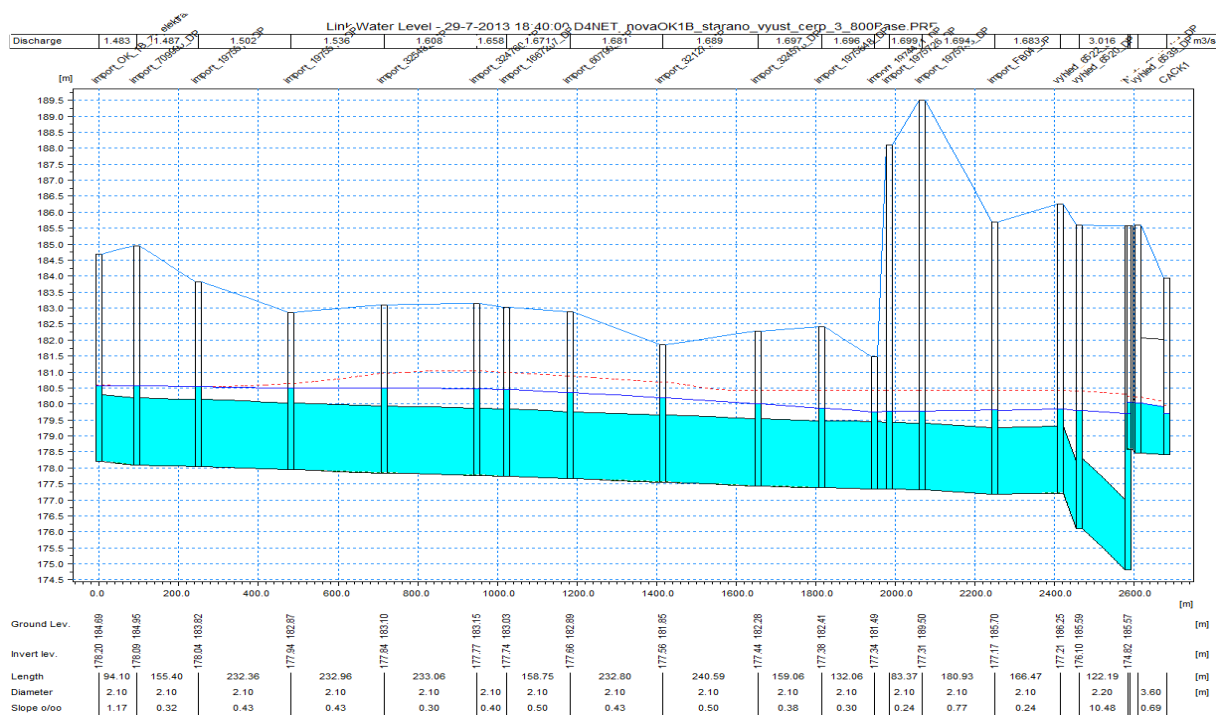
Obrázek 62 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na výusti za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou

Varianta 3 je stav, kdy je zrušena stávající výust' z OK 1B Za elektrárnou a je postavená trasa nové výusti. V této variantě jsou hladiny na kmenové stoce B vylepšeny. Toto je nejpatrnější na šachtě import\_19744\_DP (viz obrázek 62), kde se vzdutí zmenší o 1 m. Na kmenové stoce D dojde v tomto stavu ke zlepšení, kdy na šachtě 323497 se zmenší vzdutí o 0,2 m (viz Obrázek 61).

## 4.8. Popis a stavba modelu s novou čerpací stanicí BD a novou odlehčovací komorou OK 1B s použitím staré a nové výusti (Varianta 4)

V této variantě je počítáno s novou čerpací stanicí BD, novou odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou a kombinací nové a staré přelivné trasy z odlehčovací komory. Tato varianta byla posuzována převážně kvůli ověření ovlivnění kmenové stoky B druhem přelivné trasy a také byl vznesen dotaz provozovatelem sítě, jak by tato varianta ovlivnila zmíněnou kmenovou stoku B. Tato varianta však nebude navržena.

### 4.8.1. Výsledky varianty stavebního stavu s postavenou novou čerpací stanicí BD a starou odlehčovací komorou OK 1B s použitím staré a nové výusti



Obrázek 63 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B



stavu o 1 m (viz obrázek 64). Na kmenové stoce D dojde v tomto stavu ke zlepšení, kdy na šachtě 323497 je vzduť vylepšeno oproti současnému stavu o 0,2 m (viz obrázek 65).

## 4.9. Vyhodnocení variant výpočtů 1 - 4

Tabulka 9 Vyhodnocení variant výpočtů 1-4

Vyhodnocení variant výpočtů 1-4				
Označení variant výpočtu	Vzduť vybrané v kontrolovaných šachtách [m pod terénem]			
	šachta import_19774_DP	šachta import_19751_DP	šachta 311654	šachta výhled_6520_DP
Stávající stav	0.2	8.3	0.6	---
Varianta 1 - výhledový stav, stav určený k realizaci	1	9	1.1	4.6
Varianta 2 - dočasný stavební stav	0.7	8.8	4	4.8
Varianta 3 - přidána nová trasa výusti na odlehčovací komoře OK 1b za Elektrárnou	1.08	8.4	1.1	4.6
Varianta 4 - přidána nová trasa výusti na odlehčovací komoře OK 1b za Elektrárnou v kombinaci se starou trasou	1.3	8.4	1.1	4.6

Výsledky variant výpočtů 1 - 4 jsou zpřehledněny v tabulce 9. Z výsledků je patrné, že hydraulicky nejvýhodnější by byla pro stokovou síť varianta 4, kde bylo počítáno se současným využitím staré a nové přelivné trasy za novou odlehčovací komorou OK 1B Za elektrárnou. Tato varianta však nebude navržena.

Druhou hydraulicky nejvýhodnější variantou byla varianta 3, která počítá s odpojením staré přelivné trasy a staré výusti na nové odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou a stavbou nové přelivné trasy a nové výusti za přelivem z odlehčovací komory OK 1B Za elektrárnou, tato varianta však také nebude navržena.

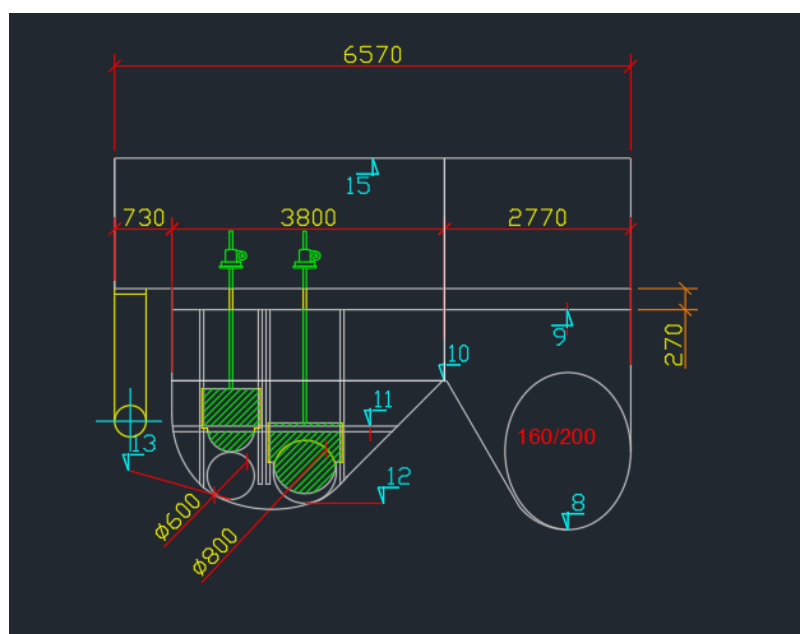
Varianta 2 je dočasný stavební stav a byla posuzována z hlediska funkčnosti sítě v tomto mezistavu (viz kapitola 4.2) a ukazuje vylepšení i v případě, když bude na stokové síti pouze nová čerpací stanice ČS BD.

Varianta 1 neboli výhledový stav – stav určený k realizaci ukazuje vylepšení hydraulických poměrů na stokové síti, ale toto vylepšení bylo charakterizováno jako nedostatečné a na tuto variantu byly dále zpracovány optimalizace (více viz kapitola 4.10).

## 4.10. Definice variant optimalizace výhledového stavu

Výsledky výhledového stavu – stavu určeného k realizaci (Varianty 1) ukazují vylepšení hydraulických poměrů na kmenových stokách B a D oproti stávajícímu stavu, ale toto vylepšení nebylo posouzeno jako dostačující, proto bylo provedeno detailní vyhodnocení výsledkových souborů modelu a detailní rozbor stokové sítě, při kterém byla hledána místa možné optimalizace výhledového stavu. Nakonec byly na stokové síti vytipovány tři možné regulace, které by měly vylepšit poměry na kmenových stokách B a D.

- **Optimalizace 1:** Změna zapojení čerpadel na nové čerpací stanici BD z 2+1, kde jedno šnekové čerpadlo bylo bráno jako záložní na 3+0, kdy v tomto zapojení bude jednodušší přejít na čerpání se všemi třemi čerpadly. Toto bude mít za následek zvýšení maximálního čerpání z 3 m<sup>3</sup>/s na 4,5 m<sup>3</sup>/s.
- **Optimalizace 2:** Přiškrčení výtoku z odlehčovací komory OK 2D z aktuálně používaného výtoku z DN 800 na DN 600. Takto byl původně navržený výtok z odlehčovací komory OK 2D (viz Obrázek 66).
- **Optimalizace 3:** Kombinace obou zmíněných regulací



Obrázek 66 příčný řez na výtoku z odlehčovací komory OK 2D



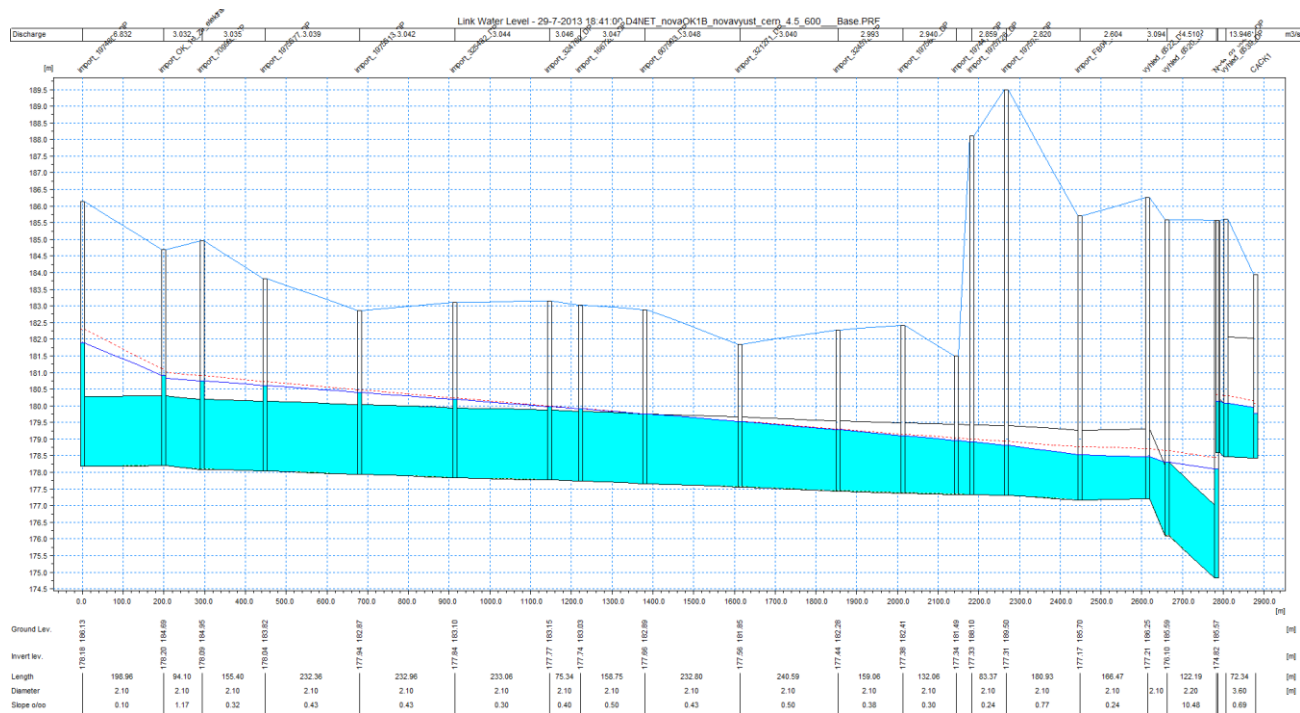


Z výsledků optimalizace 1, kdy čerpání na nové čerpací stanici BD bude navýšeno o 1,5 m<sup>3</sup>/s na 4,5 m<sup>3</sup>/s je patrné snížení vzduť na stoce B, toto snížení vzduť je nejpatrnější na šachtě import\_19744\_DP, kde vzduť klesne o 0,6 m na 1,6 m pod terénem. Stoka D je ovlivňována převážně na svém konci, kde je vzduť snižené vlivem sníženého tlakování na stoce B.

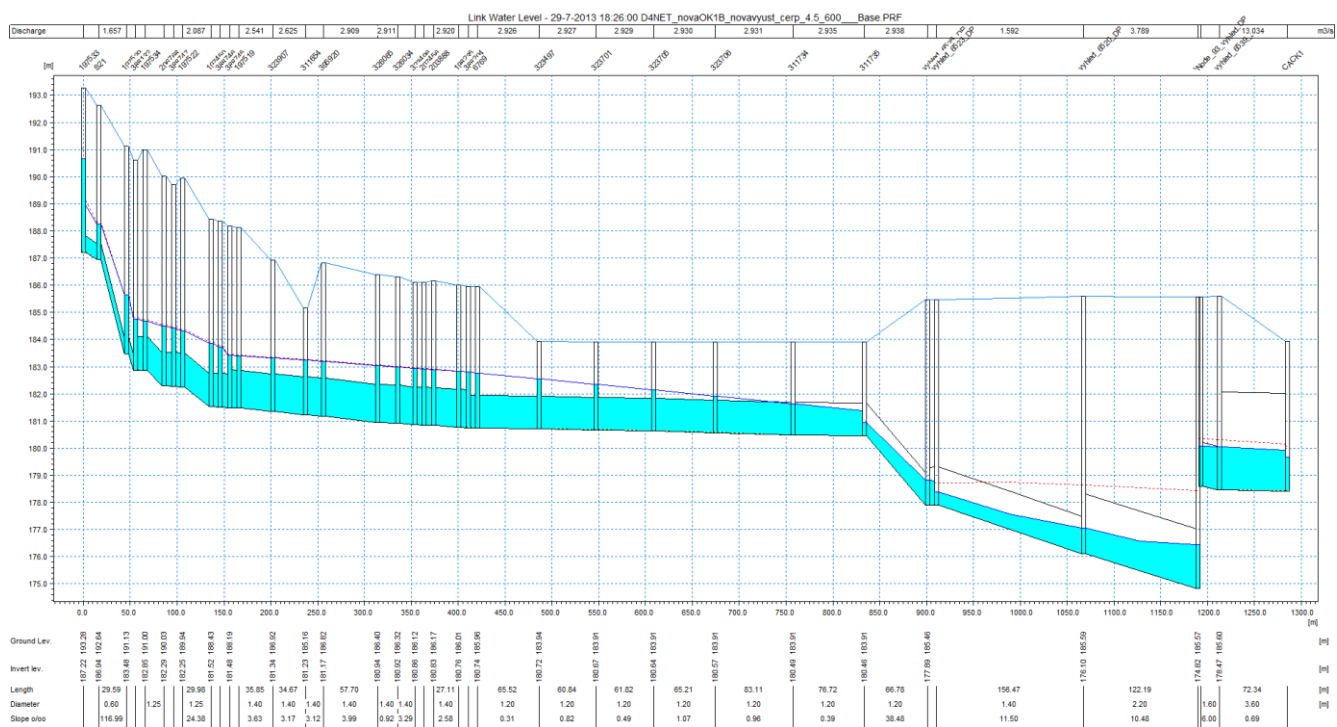


Výsledky této optimalizace jsou na stoce B obdobné jako předchozí optimalizace, k největšímu zlepšení dojde na šachtě import\_19744\_DP, kde vzduť klesne o 0,4 m na 1,4 m pod terénem. Stoka D je ovlivňována na svém konci, kde je vzduť snížena, ale na ve stokách za odlehčovací komorou OK 2D dojde k výraznému zvýšení hladiny.

### 4.11.3. Výsledky optimalizace 3 – kombinace obou předchozích variant



Obrázek 71 výsledky na stoce B při čerpání 4,5 m<sup>3</sup>/s a změna výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600



Obrázek 72 výsledky na stoce D při čerpání 4,5 m<sup>3</sup>/s a změna výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600

Výsledky této optimalizace na stoce B ukazují výrazné zlepšení. Na stoce B již v tomto případě nedochází k tlakování profilu. Stoka D je ovlivňována na svém konci, kde je vzduť snižené, ale ve stokách za odlehčovací komorou OK 2D dojde k výraznému vzduť a to až o 0,5 m na 1,8 m pod terénem.

#### 4.11.4. Vyhodnocení variant optimalizace

Tabulka 10 Vyhodnocení optimalizací výhledového stavu na stokové síti

Vyhodnocení optimalizace 1-3				
Označení variant optimalizace	Vzduť vybrané v kontrolovaných šachtách [m pod terénem]			
	šachta import_19774_DP	šachta import_19751_DP	šachta 396920	šachta výhled_6520_DP
Varianta 1 - výhledový stav, stav určený k realizaci	1	9	1.2	6
Optimalizace číslo 1 - úprava čerpání v čerpací stanici ČS BD na 4,5 m <sup>3</sup> /s	1.6	9.5	1	5.8
Optimalizace číslo 2 - Přiškrcení výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600	1.4	9.2	1.4	5.4
Optimalizace číslo 3 - kombinace předchozích dvou variant	1.7	9.8	1.8	5.9

Z výsledků variant těchto optimalizací by bylo pro stoku B hydraulicky nejvýhodnější využít optimalizaci číslo 3 (viz Tabulka 10), kde bude na OK 2D přiškrcen výtok z DN 800 na DN 600 a přešlo by se k zapojení čerpadel 3+0 na čerpací stanici ČS BD. Tato varianta výrazně pomůže stoce B, ale budou výrazně zhoršeny poměry na kmenové stoce D. Varianty se změnou výtoku z odlehčovací komory OK 2D mají ještě další velkou nevýhodu, a to je zvýšení množství přepadů na odlehčovací komoře OK 2D a ke změně zapojení čerpadel na nové čerpací stanici BD z 2+1, kde jedno šnekové čerpadlo bylo bráno jako záložní na 3+0, kdy v tomto zapojení bude jednodušší přejít na čerpání se všemi třemi čerpadly. Toto bude mít za následek zvýšení maximálního čerpání z 3 m<sup>3</sup>/s na 4,5 m<sup>3</sup>/s. Tato varianta sice výrazně pomůže stoce B, ale budou výrazně zhoršeny poměry na kmenové stoce D za odlehčovací komorou OK 2D a navíc k tomuto bude docházet ke zvýšení množství přepadů na odlehčovací komoře OK 2D, což bude mít za následek větší znečištění řeky Vltavy. Proto nelze tuto variantu optimalizace doporučit.

Výsledky optimalizace varianty 2 (viz Tabulka 10), kdy bude přiškrcen výtok z odlehčovací komory OK 2D z aktuálně používaného výtoku z DN 800 na DN 600, mají za následek zlepšení poměrů na kmenové stoce B (viz kapitola 4.11.2). Tuto

optimalizaci, ale není možné doporučit ze stejných důvodů, jako není možné doporučit optimalizaci číslo 3.

Výsledky optimalizace varianty 1 (viz Tabulka 10), kdy bude provedena změna zapojení čerpadel na nové čerpací stanici BD z 2+1 na 3+0, což bude mít za následek zvýšení maximálního čerpání z 3 m<sup>3</sup>/s na 4,5 m<sup>3</sup>/s (viz kapitola 4.11.1), má za následek vylepšení poměrů na kmenové stoce B a navíc budou mírně zlepšené poměry na části kmenové stoky D mezi odlehčovací komorou OK 2D a spojnou komorou BD. Vylepšení poměrů na kmenové stoce D je převážně důsledkem vylepšení natlakování na kmenové stoce B.

Kvůli již zmíněným důvodům nelze doporučit varianty optimalizace 2 a 3, a proto dojde ke zpracování varianty optimalizace číslo 1. Toto znamená úpravu nové čerpací stanice ČS BD, aby zde bylo možné přejít ke snazšímu zapojení všech tří čerpadel ve stejný čas a zvětšení množství čerpání z 3 m<sup>3</sup>/s o 1,5 m<sup>3</sup>/s na 4,5 m<sup>3</sup>/s.

## 5. Závěry a shrnutí

Tato diplomová práce se svým obsahem zaměřuje na problematiku matematického modelování kanalizačních sítí. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část diplomové práce je zaměřena na obecnou problematiku navrhování, posuzování a matematického modelování kanalizačních sítí. Konkrétně je teoretická část zaměřena na druhy odpadních vod, dělení stokových sítí, objekty na stokových sítích, materiály stokových sítí, hydrauliku stokových sítí, monitoring stokových sítí, srážkoodtokové procesy a popis srážkového odtoku a teoretických základů matematického modelování na stokových sítích.

V praktické části je tato diplomová práce zaměřena na vytvoření matematického modelu, který bude řešit hydraulické podmínky na kmenových stokách B a D ve výhledovém stavu.

Ve výhledovém stavu bude nově navrženo několik nových staveb včetně nové odlehčovací komory OK 1 B za elektrárnou, nové čerpací stanice ČS BD a nového Nátokového labyrintu na levém břehu Vltavy v Praze v blízkosti staré vodní linky u Císařského ostrova. Čerpací stanice je navržena v blízkosti Plavebního kanálu Troja – Podbaba. Tato čerpací stanice byla původně navržena k přečerpávání vody do nové spojovací komory SK BDACK při zapojení čerpadel 2+1 o maximálním čerpání 3 m<sup>3</sup>/s. Další stavbou, která vznikne na stokové síti je nová odlehčovací komora OK 1B v ulici Za elektrárnou. Tato odlehčovací komora vznikne na stejném místě jako je stávající odlehčovací komora OK 1B. U této nové odlehčovací komory bude prodloužena její přelivná hrana na 10,1 m a dále bude zkapacitněna její přelivná trasa o dvouramennou shybka o průměru DN 1400 a dále bude postaven nový výpustní objekt. Na stokové síti B a D dále vznikne několik spojovacích a rozdělovacích komor, sloužící k propojení těchto stok a nově navrhovaných objektů.

Matematický model byl sestaven z již existujícího zkalibrovaného modelu kmenových stok CD a části kmenové stoky B. Část kmenové stoky B, která byla přidána do modelu obsahuje odlehčovací komoru OK 1B Za elektrárnou s nedostatečně kapacitní přelivnou hranou. Dále se na stokové síti nachází stávající shybka BD s nedostatečnou kapacitou.



Před výpočtem stávajícího stavu byla provedena verifikace matematického modelu a dále byl pak počítán matematický model stávajícího stavu stokové sítě. Při výpočtu stávajícího stavu byl potvrzen předpoklad o nekapacitní stávající šybyce BD s kapacitou 2,7 m<sup>3</sup>/s. S tímto potvrzeným předpokladem byla potvrzena správnost modelu a dále byl zpracován model výhledového stavu.

V dalším kroku byly provedeny čtyři varianty výpočtu. První variantou výpočtu byl výhledový stav – stav určený k realizaci, kdy na stokové síti bude postavena nová čerpací stanice ČS BD, nová odlehčovací komora OK 1B v ulici Za Elektrárnou a nové stoky na Nátokovém labyrintu na levém břehu Vltavy. Druhou variantou výpočtu byl dočasný stavební stav, kdy na stokové síti bude postavena nová čerpací stanice ČS BD a nový Nátokový labyrint na pravém břehu řeky Vltavy, ale na kmenové stoce B bude stále stará odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou se starou výústí. Třetí variantou výpočtu je stav, kdy na stokové síti bude postavena nová čerpací stanice ČS BD, nový Nátokový labyrint na pravém břehu Vltavy a nová odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou pouze původní návrh nové trasy výusti. Čtvrtou variantou výpočtu je pak stav, kdy na stokové síti bude postavena nová čerpací stanice ČS BD, nový Nátokový labyrint na pravém břehu Vltavy a nová odlehčovací komora OK 1B Za elektrárnou se současným použitím staré a nové výusti.

Třetí a čtvrtá varianta byly zpracovány jako doplňkové varianty pro ověření účinků jednotlivých návrhů výustí na kmenové stoky B a D. Varianta 2 je pak stavební mezistav. První varianta je stav určený k realizaci a jeho stavba pomůže hydraulickým poměrům na kmenových stokách B a D, ale toto vylepšení bylo posouzeno jako nedostačující. Z tohoto důvodu byl potom proveden detailní rozbor stokové sítě a následná optimalizace výhledového stavu.

Po rozboru stokové byly nalezeny tři způsoby jak stokovou síť optimalizovat. Tyto způsoby jsou: Zvýšení množství čerpání na nové čerpací stanici ČS BD ze 3 m<sup>3</sup>/s na 4,5 m<sup>3</sup>/s. Druhou variantou optimalizace je změna výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600. Nakonec třetí variantou optimalizace je kombinace obou dříve zmíněných optimalizací. Po výpočtu těchto optimalizací byly zavrhnuty optimalizace 2 a 3 z důvodu zhoršení hydraulických poměrů na kmenové stoce D za odlehčovací komorou OK 2D a potenciálního zvýšení množství přepadů na již zmíněné odlehčovací komoře OK 2D. Z těchto důvodů byla zvolena optimalizace číslo

1. kdy bude nová čerpací stanice ČS BD upravena tak, aby bylo možné čerpání 4,5 m<sup>3</sup>/s místo 3 m<sup>3</sup>/s.

## Citovaná literatura

- [1] CSC. HLAVÍNEK,, DOC. ING. PETR; CSC. MIČÍN, DOC. ING. JAN; PH.D PRAX,, ING. PETR. *Stokování a čištění odpadních vod*.  
Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno.
- [2] CSC. NYPL, Doc. a Ing. CSC. SYNÁČKOVÁ. *Zdravotně inženýrské stavby 30*.  
Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998.
- [3] PVS. PVS . In: *PVS Pražská vodohospodářská společnost a.s.* [online]. [cit. 2022].  
Dostupné z: [https://www.pvs.cz/files/pvs/MS%20-%20kanalizacni%20cast%20A.text\\_7\\_aktual\\_2021.pdf](https://www.pvs.cz/files/pvs/MS%20-%20kanalizacni%20cast%20A.text_7_aktual_2021.pdf)
- [4] FAKULTA STAVEBNÍ KATEDRA 154 . People fsv cvut. In: *Odlehčovaci komory kanalizace*  
[online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/www/hanekpav/K154/PDF/YSPG/Odlehcovaci%20komory%20kanalizace.pdf>
- [5] ČERMÁK A HRACHOVEC, A.S. Stavební investorské noviny. *Tvstav* [online].  
Zlín: Čermák a hrachovec, a.s. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/1751-rekonstrukce-odlehcovaci-komory-ok-1c-v-madarske-ulici-v-praze-6-bubenci>
- [6] Topnadrze. *TOP nádrže* [online]. [cit. 2022].  
Dostupné z: <https://www.topnadrze.cz/article/11-nadrz-na-destovou-vodu-10000-l>
- [7] Hgf10.vsb. In: *Hgf10.vsb* [online]. [cit. 2022].  
Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ2/6\\_gravitacni\\_stokove\\_site.html](http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ2/6_gravitacni_stokove_site.html)
- [8] MALINA VRŠE. Jeraby-malina. *Jeraby-malina*. Dostupné také  
z: <https://www.jeraby-malina.cz/odvoz-odpadnich-vod-vyvoz-septiku-jimek-zump>
- [9] Kzei fsv cvut. In: *Kzei fsv cvut* [online]. 2017 [cit. 2022]. Dostupné z:  
[http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/HHZI\\_06.pdf](http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/HHZI_06.pdf)
- [10] Multimediaexpo. In: *Multimediaexpo* [online]. 2018 [cit. 2022]. Dostupné z:  
[http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Stokov%C3%A1\\_s%C3%AD%C5%A5](http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Stokov%C3%A1_s%C3%AD%C5%A5)
- [11] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Věštník ministerstva životního prostředí.  
In: *Věštník ministerstva životního prostředí* [online]. 2012 [cit. 2022].  
Dostupné z: [https://www.ceho.cz/files/pdf/elektricka\\_elektronicka\\_zarizeni/vestnik\\_3\\_2012.pdf](https://www.ceho.cz/files/pdf/elektricka_elektronicka_zarizeni/vestnik_3_2012.pdf)

- [12] Zakonyprolidi. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2022].  
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>
- [13] DRABINOVÁ, Silvie a David KUNSSBERGER. Poradme.se. *Poradme.se* [online]. 2015 [cit. 2022]. Dostupné z: [http://poradme.se/index.php?title=Druhy\\_odpadn%C3%ADch\\_vod](http://poradme.se/index.php?title=Druhy_odpadn%C3%ADch_vod)
- [14] MAZANCOVÁ, Mgr. Eva. Sagit. In: *Sagit* [online]. 2005 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.sagit.cz/info/pravni-uprava-zneskodnovani-odpadnich-vod-podle-vodniho-zakona>
- [15] AQUAPROCON. Stoková síť. In: *Stoková síť* [online]. [cit. 2022].  
Dostupné z: [http://www.aquaprocon.cz/Data/files/Stokova\\_sit.pdf](http://www.aquaprocon.cz/Data/files/Stokova_sit.pdf)
- [16] TECAM PCV. Tecam pcv. *Tecam pcv* [online]. [cit. 2022].  
Dostupné z: [https://eshop.tecampcv.cz/kanalizace\\_c105132209472046/kanalizace-z-kameniny\\_c105132209472050/roury\\_c150006027782309](https://eshop.tecampcv.cz/kanalizace_c105132209472046/kanalizace-z-kameniny_c105132209472050/roury_c150006027782309)
- [17] REXCOM.S.R.O. Manuál těsnící a spojovací kroužky. In: *Manuál těsnící a spojovací kroužky*. Dostupné také z: <http://www.oblibene.com/userdata/shopimg/rexcom/file/BROZURY/Manu%C3%A1l%20t%C4%9Bsn%C3%ADc%C3%AD%20a%20spojovac%C3%AD%20krou%C5%BEky.pdf>
- [18] VRÁNA, Jakub. Časopis stavebnictví. *Materiály zdravotně technických instalací* [online]. 2008 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-materialy-zdravotne-technickyh-instalaci.html>
- [19] Vodovod info. *Výstavba zděných stok v české a slovenské republice* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/kanalizace-a-cov/389-vystavba-zdenych-stok-v-ceske-a-slovenske-republice#.Y4dWX3bMJPY>
- [20] VACUUM GLOBAL. Vg-podtlak. *Vg-podtlak* [online]. 2022 [cit. 2022].  
Dostupné z: <http://www.vg-podtlak.cz/podtlakove-systemy/podtlakove-systemy-roevac/roevac-venkovni-podtlakove-systemy>
- [21] DAIBAU.CZ. Časopis Daibau. In: *Kanalizační trubky: plastové , žebrované nebo betonové kanalizační trubky* [online]. [cit. 2022].
- [22] VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA - HORNICKO GEOLOGICKÁ FAKULTA. Hgf10. *Základy hydrauliky stok* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/PVH/zaklady\\_hydrauliky\\_stok.html](http://hgf10.vsb.cz/546/PVH/zaklady_hydrauliky_stok.html)
- [23] MAREK, Ing. Old silnice - železnice. *Ocelové flexibilní trouby tlamového profilu jsou*

*výhodnější alternativou* [online]. 2008 [cit. 2022]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/ocelove-flexibilni-trouby-tlamoveho-profilu-jsou-vyhodnejsi-alternativou/>

- [24] ČVUT FAKULTA STAVEBNÍ - KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ. Kzei.fsv.cvut. *Výpočet zatěžovacích parametrů* [online]. 2016-2017 [cit. 2022]. Dostupné z: [http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/2016-2017/pvh2/vypocet\\_zat\\_par.pdf](http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/2016-2017/pvh2/vypocet_zat_par.pdf)
- [25] Pražské vodovody a kanalizace. *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2021 [cit. 20]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/>
- [26] ING.VLADIMÍR KREJČÍ, DrSc. *Odvodnění urbanizovaných povodí*. Vydání 1. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 2000.
- [27] ING ZDENĚK REINBERK, Ph.D. Tzbinfo. *Výpočet počtu ekvivalentních obyvatel* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/151-vypocet-poctu-ekvivalentnich-obyvatel>
- [28] KRAUS, Mgr. Zakra. *Jaká je spotřeba vody v domácnosti a jak ji snížit* [online]. 2022 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/jaka-je-spotreba-vody-v-domacnosti-a-jak-ji-snit/>
- [29] ČSN 75 6101 - *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví Praha, 2012.
- [30] ING. JAKUB VRÁNA, Ph.D. Tzbinfo. *Tzbinfo* [online]. 2011 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/7558-dimenzovani-vsakovacich-zarizeni-dle-nove-normy-csn-75-9010>
- [31] ČSN 75 9010 - *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012.
- [32] REAGUR. *Navrhování stok jednotné a oddílné soustavy - Bartošková metoda* [online]. 2013 [cit. 2022].
- [33] AVK VOD-KA A.S. *Vodní hospodářství* [online]. 2013 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2013/vh07-2013.pdf>
- [34] PRYL, Ing. Karel, Ing. Milan SUCHÁNEK a Ing. Michal DOLEJŠ. *Monitoring pro GO HMP* [online]. SOVAK, 2000 [cit. 2022].
- [35] SUCHÁNEK, Michal, Karel PRYL a Ivana KABELKOVÁ. *Základní přístupy k monitoringu*.

Praha: VII. ročník konference „Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV“ - Hydrosphere 2006, Břeclav, 2006, s. 6.

- [36] DOC. ING. ALEŠ HAVLÍK, CSc. Hydraulika fsv cvut. In: *Hydraulika fsv cvut* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke\\_stazeni/Hydrologie.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Hydrologie.pdf)
- [37] METEOSERVIS V.O.S. Meteoservis. In: *Váhový srážkoměr MRW500* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: [https://www.meteoservis.cz/fotky/fotos/\\_c\\_134MRW500\\_2015\\_2.pdf](https://www.meteoservis.cz/fotky/fotos/_c_134MRW500_2015_2.pdf)
- [38] TECO ADVANCED AUTOMATION. Tecomat. In: *Tecomat* [online]. 2020 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://wiki.tecomat.cz/clanek/1162-mereni-mnozstvi-srazek-srazkomer-s-preklapcim-clunkem>
- [39] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. CHMI. In: *CHMI* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info\\_czrad/index.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/index.html)
- [40] PILÁT, Martin. PARS aqua, s.r.o. In: *PARS aqua, s.r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://pars-aqua.cz/odborny-clanek-o-mereni-prutoku.html>
- [41] FIELDER ELEKTRONIKA PRO EKOLOGII. Feielder company. In: *Feielder company* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/cs/produkty/prutokomery-pro-otevrene-kanaly/merne-prelivy>
- [42] FONTANA R, S.R.O. Fontanar. In: *Fontanar* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: [https://fontanar.cz/doc\\_download/mp-cz-2010233636.pdf](https://fontanar.cz/doc_download/mp-cz-2010233636.pdf)
- [43] AQUA MONITORING. *Úpravy měřících rozsahů měrných žlabů* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <http://www.aquamonitoring.cz/produkty/products/show/?categoryId=49&itemId=33>
- [44] DOC. INF. KAREL KADLEC, CSc. *Ultrazvukové průtokoměry – princip, vlastnosti a použití* [online]. Praha: ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha, 2013 [cit. 2022]. Dostupné z: [https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/10538.pdf](https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10538.pdf)
- [45] DOC. ING. KAREL KADLEC, CSc. *Indukční průtokoměr – princip, vlastnosti a použití* [online]. Praha: ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha, 2012 [cit. 2022]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/9933.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9933.pdf)
- [46] ZIKMUNDOVÁ, Jana. *Systémy pro průzkum a hodnocení technického stavu stokových sítí* [online]. Mladá Boleslav: TechPark [cit. 2022]. Dostupné z: <http://www.ecotechnika.sk/ecotechnika-12011/systemy-pro-pruzkum-a-hodnoceni-technickeho-stavu-stokovych-siti.html>
- [47] TOMOZ S.R.O. *Vysokotlaké agregáty pro čištění kanalizací* [online]. [cit. 2022].

Dostupné z: <https://www.tomoz.cz/cs/vysokotlake-agregaty-peto/vysokotlake-cistice/agregaty-pro-cistení-kanalizaci>

- [48] ING. DAVID STRÁNSKÝ, Ph.D. *Přírodně blízké hospodaření se srážkovými vodami na stavebním pozemku a jeho důsledky pro územní plánování* [online]. Praha: Fakulta architektury ČVUT v Praze, 2013 [cit. 2022]. Dostupné z: [http://cvut.mapovyportal.cz/OPPA\\_Stransky.pdf](http://cvut.mapovyportal.cz/OPPA_Stransky.pdf)
- [49] UCAR/COMET, Andrea. *Odtokový proces*. The COMET®. Denver: University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), 2010. Dostupné také z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff\\_cz/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_1.1.0.1.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/navmenu.php_tab_1_page_1.1.0.1.htm)
- [50] SOLID PLAST. *Infiltrace vody. Infiltrační systém, akumulace a prosakování dešťové, srážkové a drenážní vody* [online]. Mořina [cit. 2022]. Dostupné z: <https://solid-plast.cz/infiltrace-vody/>
- [51] NAŠE VODA. *Co je to evapotranspirace a co jí ovlivňuje?* [online]. 2018 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/je-evapotranspirace-ji-ovlivnuje/>
- [52] BEN CLARKE, Friederike. *Extrémy počasí a klimatická změna. Jak o nich mluvit a psát* [online]. 2022 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/vliv-klimatu-na-extremy-prirucka>
- [53] PROF. ING. MILOŠ STARÝ, CSc. HYDROLOGIE MODUL 02 . In: *HYDROLOGIE MODUL 02* [online]. 2005 [cit. 2022]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BS02-Hydrologie/M02-Hydrologie%20-%20pokracovani.pdf>
- [54] PROF. ING. MILOŠ STARÝ, CSc. Uvňk fce vutbr. In: *Uvňk fce vutbr* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <http://uvnk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/Vyuka/BR05/HydrologieHH.pdf>
- [55] MAREK BRANDER, Jiří. Numerické modelování v hydrologii. In: *Numerické modelování v hydrologii* [online]. 2011 [cit. 2022]. Dostupné z: [https://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/numericke\\_modelovani\\_tisk.pdf](https://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/numericke_modelovani_tisk.pdf)
- [56] ING. DAVID STRÁNSKÝ. PH.D., Doc. Forum ochrany přírody. In: *Forum ochrany přírody* [online]. 2009 [cit. 2022]. Dostupné z: <http://www.forumochranyprirody.cz/sites/default/files/35.pdf>
- [57] DHI. ESRI. In: *ESRI* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.esri.com/partners/dhi-institute-of-wat-a2T70000000TNOhEAO/mike-urban-a2d70000000VY8zAAG>

- [58] ARCGIS. ARCDATA PRAHA. In: *ARCDATA PRAHA* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis>
- [59] MIKE URBAN - © DHI. Collection System Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems User guide. In: *Collection System Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems User guide* [online]. 2019 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/Cities/CollectionSystem.pdf>
- [60] MIKE URBAN - © DHI. Pipe Flow Reference manual. In: *Pipe Flow Reference manual* [online]. 2019 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/Cities/MOUSEPipeFlowReference.pdf>
- [61] WAVIN. Kapacita uličních vpustí, kapacita stokové sítě. In: *Kapacita uličních vpustí, kapacita stokové sítě* [online]. 2019 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://blog.wavin.com/cs-cz/kapacita-stokove-site>
- [62] SVATOŠOVÁ, Ing. Základy kanalizace pro veřejnou potřebu. In: *Základy kanalizace pro veřejnou potřebu* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-1/8.html>
- [63] TECHNOMA. Trubní systémy z tvárné litiny. In: *Trubní systémy z tvárné litiny* [online]. [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.technoma.cz/kanalizace/GGG>
- [64] ČSN EN 16933-2 *Odvodňovací a stokové systémy vně budov - Navrhování - Část 2: Hydraulický návrh*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2018.
- [65] ČMES. Elektronický meteorologický slovník. In: *Elektronický meteorologický slovník* [online]. 2014 [cit. 2022]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/3541>
- [66] ESCHOLARY COMMUNITY ENCYCLOPEDIA. Runoff Model (Reservoir). In: *Runoff Model (Reservoir)* [online]. 2022 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://encyclopedia.pub/entry/29358>
- [67] Vyhláška č. 428/2001 Sb.- Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), [online]. 2001 [cit. 2022-12-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [68] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Praha: Nakladatelství technické literatury Alfa, 1983.
- [69] SWECO-HYDROPROJEKT, Ing. Vít Kučera. Zpráva posouzení provizorního řešení čerpací stanice ČSOV BD provizorní [cit.12 2022], Praha 2022



## Seznam obrázků

Obrázek 1 emisní standardy [12] .....	3
Obrázek 2 Příklad radiálního stokového systému [2] .....	4
Obrázek 3 Příklad větveného stokového systému [2]. .....	5
Obrázek 4 Příklad úchytného stokového systému [2].....	5
Obrázek 5 Příklad pásmového stokového systému [2].....	6
Obrázek 6 jednotná stoková soustava [1]. .....	7
Obrázek 7 Oddílná stoková soustava [1].....	8
Obrázek 8 Modifikovaná stoková soustava [1]. .....	9
Obrázek 9 schéma podtlakové kanalizace [20] .....	10
Obrázek 10 Příklad spadiště na stokové síti [2] .....	12
<i>Obrázek 11 Příklad skluzu na stokové síti [7].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 12 Příklad odlehčovací komory [5].....</i>	<i>13</i>
Obrázek 13 Odlehčovací komory s přímým přepadem [2] .....	14
Obrázek 14 Odlehčovací komory s bočním přepadem [2].....	14
Obrázek 15 Odlehčovací komory se škrťací tratí [2].....	14
Obrázek 16 Příklad dešťové nádrže [6].....	15
Obrázek 17 Příklad shybky [7] .....	16
Obrázek 18 Příklady vejčitých profilů [22] .....	20
Obrázek 19 Příklad tlamového profilu [23] .....	21
Obrázek 20 Směrná čísla roční potřeby z vyhlášky č.428/2001 sb příloha 12 [67] ..	23
Obrázek 21 Postup při návrhu splaškové kanalizace [2] .....	24
Obrázek 22 Příklad trojúhelníkového přelivu [40].....	29
Obrázek 23 Příklad měrného žlabu [43] .....	29
Obrázek 24 Robot sloužící k monitorování stokových sítí [63] .....	31
Obrázek 25 Příklady ztrátách při srážkovém odtoku [49] .....	32
Obrázek 26 Saint Venantovy rovnice [54] .....	37
Obrázek 27 Postup při matematickém modelování [56] .....	38
Obrázek 28 Spojený model kmenových stok CD a části kmenové stoky B.....	48
Obrázek 29 Bezdeštný průtok za odlehčovací komorou OK 2D z modelu stok CD [69] .....	51
Obrázek 30 Bezdeštný průtok za odlehčovací komorou OK 1D z modelu stok CD [69] .....	52
Obrázek 31 Bezdeštný průtok za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou z modelu stok AB [69] .....	52
Obrázek 32 Průtok za odlehčovací komorou OK 2D za dešťové události z června 2012 z modelu stok CD [69] .....	53
Obrázek 33 Průtok za odlehčovací komorou OK 1D za dešťové události z června 2012 z modelu stok CD [69] .....	54
Obrázek 34 Průtok před odlehčovací komorou OK 1B [69].....	54
Obrázek 35 Měření průtoků na měrném profilu B1 za elektrárnou.....	55

Obrázek 36 Měření na měrném profilu D1 .....	55
Obrázek 37 poloha měrného profilu B1 .....	56
Obrázek 38 Poloha měrného profilu D1 .....	56
Obrázek 39 Ukázka převzaté části stoky B .....	57
Obrázek 40 Detail problémové shybky BD.....	58
Obrázek 41 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z června 2019 .....	59
Obrázek 42 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z března 2018 .....	60
Obrázek 43 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z března 2017 .....	61
Obrázek 44 Graf verifikace modelu na dešťovou událost z června 2021 .....	62
Obrázek 45 Výsledná hladina na stoce B za stávajícího provizorního stavu při bezdešťovém průtoku.....	63
Obrázek 46 Výsledná hladina na stoce D za stávajícího provizorního stavu při bezdešťovém průtoku.....	64
Obrázek 47 Výsledná hladina na stoce B za stávajícího provizorního stavu při zatěžovací srážce E10 .....	65
Obrázek 48 Výsledná hladina na stoce D za stávajícího provizorního stavu při zatěžovací srážce E10 .....	65
Obrázek 49 Umístění nové čerpací stanice BD.....	67
Obrázek 50 Umístění nové odlehčovací komory B1 Za elektrárnou .....	67
Obrázek 51 zkapacitnění přelivu na OK 1B Za elektrárnou.....	68
Obrázek 52 Nová kompozice kmenových stok B a D Nátokového labyrintu na pravém břehu Vltavy .....	68
Obrázek 53 Ukázka přidané nové přelivné trasy na nové odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou (varianta 3).....	69
Obrázek 54 ukázka současného použití nové a staré přelivné trasy a nové výusti na nové odlehčovací komoře OK 1B Za elektrárnou (varianta 4).....	70
Obrázek 55 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B.....	71
Obrázek 56 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce D.....	72
Obrázek 57 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B.....	73
Obrázek 58 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce D.....	73
Obrázek 59 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na výusti za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou .....	74
Obrázek 60 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B.....	75
Obrázek 61 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce D.....	76
Obrázek 62 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na výusti za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou .....	76
Obrázek 63 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce B.....	77

Obrázek 64 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na kmenové stoce D.....	78
Obrázek 65 Výsledná hladina při zatěžovací dešťové události E10 na výusti za odlehčovací komorou OK 1B za elektrárnou .....	78
Obrázek 66 příčný řez na výtoku z odlehčovací komory OK 2D .....	80
Obrázek 67 Výsledky na stoce B při zatěžovacím dešti E10 čerpání 4,5 m <sup>3</sup> /s na čerpací stanici ČS BD a ponechání výtoku z odlehčovací komory OK 2D na DN 800 .....	81
Obrázek 68 Výsledky na stoce D při zatěžovacím dešti E10 čerpání 4,5 m <sup>3</sup> /s na čerpací stanici ČS BD a ponechání výtoku z odlehčovací komory OK 2D na DN 800 .....	81
<i>Obrázek 69 výsledky na stoce B při zatěžovacím dešti E10 čerpání 3 m<sup>3</sup>/s a změně výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600.....</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 70 výsledky na stoce D při zatěžovacím dešti E10 čerpání 3 m<sup>3</sup>/s a změně výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600.....</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 71 výsledky na stoce B při čerpání 4,5 m<sup>3</sup>/s a změna výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600.....</i>	<i>85</i>
<i>Obrázek 72 výsledky na stoce D při čerpání 4,5 m<sup>3</sup>/s a změna výtoku z odlehčovací komory OK 2D z DN 800 na DN 600.....</i>	<i>85</i>

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Příklady kruhových profilů [1].....	20
Tabulka 2 součinitele hodinové nerovnoměrnosti [2] .....	23
Tabulka 3 Příklady součinitele odtoku [30].....	25
Tabulka 4 Verifikace modelu na dešťovou událost z června 2019 .....	59
Tabulka 5 Verifikace modelu na dešťovou událost z března 2018 .....	60
Tabulka 6 Verifikace modelu na dešťovou událost z března 2017 .....	61
Tabulka 7 Verifikace modelu na dešťovou událost z června 2021 .....	62
Tabulka 8 Průměrné odchylky na verifikovaných dešťových událostech.....	62
Tabulka 9 Vyhodnocení variant výpočtů 1-4 .....	79
Tabulka 10 Vyhodnocení optimalizací výhledového stavu na stokové síti .....	86