

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ

ANALÝZA ODTOKU VE VYBRANÉM
URBANIZOVANÉM POVODÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Diplomant: Bc. Vít Kučera
Vedoucí diplomové práce: Ing. Doc. Petr Máca, Ph.D.

2016



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Vít Kučera
Studijní program:	Krajinné inženýrství
Obor:	Environmentální modelování
Vedoucí práce:	doc. Ing. Petr Máca, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Analýza odtoku ve vybraném urbanizovaném povodí
Název anglicky:	Analysis of runoff in selected urban watershed
Cíle práce:	Cílem práce je porovnat odtok ze dvou schematizací stejného povodí a vyhodnotit vývoj hydraulické drsnosti potrubí na hlavní stoce území.
Metodika:	Při tvorbě diplomové práce se zaměřte na: - typy proudění v potrubí v závislosti na drsnosti potrubí - vývoj hydraulické drsnosti potrubí - schematizace urbanizovaného území
Doporučený rozsah práce:	standarní
Klíčová slova:	odtok, urbanizované povodí, Manningův drsnostní součinitel, schematizace modelu
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none">1. Abbott, M.B. A modelling system for the design and operation of storm sewer networks, 19802. Beven, K. Rainfall-Runoff Modelling: The Primer. Wiley, 2012.3. Havlík, V., Ingeduld, p., Vaněček, S., Zeman, E. Matematické modelování neustáleného proudění, 19924. Krejčí, V. a kol, Odvodění urbanizovaných území - koncepční přístup, 20025. Marsalek, J. Head losses at manholes with 90° bend, 1987
Předběžný termín obhajoby:	2016/17 ZS - FŽP

Elektronicky schváleno: 14. 12. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Doc. Petra Máci, Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, 12.12.2016

.....

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval Ing. Doc. Petru Mácovi, Ph.D za odborné vedení diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Doc. Vladimíru Havlíkovi za odborné konzultace, Ing. Stanislavovi Hanákovi a své rodině za podporu.

Dále bych rád poděkoval společnosti DHI a.s. za poskytnutí programu Mike Urban a společnosti PVS a.s. za poskytnutí vstupních dat.

Abstrakt:

Práce se zabývá schematizací území s kanalizační sítí ve srážkovo-odtokovém modelu urbanizovaného povodí a modelováním změn v Manningova drsnostního součinitele potrubí na hlavní stoce, která odvádí většinu odpadních vod. Porovnání bylo provedeno na dvou schematizacích povodí Bohnického sběrače, kmenové stoky „F“ v Hl. m. Praze. Pro simulace byl využit program Mike URBAN společnosti DHI a.s.

Hlavní sledovanou veličinou byl hydrogram odtoku na zvoleném uzávěrném profilu povodí a jeho vývoj v závislosti na schematizaci a změně Manningova drsnostního součinitele.

Klíčové slova: odtok, urbanizované povodí, Manningův drsnostní součinitel, schematizace modelu

Abstract:

The work deals with schematization area with sewage networks in the Rainfalls-runoff model urbanized watershed modeling and changes in the Manning roughness coefficient of the pipe to the main sewer, which drains most of the wastewater. The comparison was made on two schematization basin Bohnice collector the main sewer "F" in the city. Prague. For the simulation program was used Mike URBAN DHI Inc.

The main variable was observed outflow hydrograph on the selected sealing profile watershed and its development depending on schematization and change the Manning roughness coefficient.

Keywords: Runoff, urban catchment, Manning's roughness coefficient, model schematization

Obsah:

Seznam použitých veličin.....	14
1 ÚVOD.....	17
2 REŠERŠE	18
2.1 Základní teoretické vztahy	18
2.1.1 Proudění v úseku	18
2.1.1.1 Aproximace řídicích rovnic	19
2.1.1.2 Tlakové proudění v úseku	21
2.1.2 Proudění v uzlu	23
2.1.2.1 Proudění o volné hladině v uzlu.....	23
2.1.2.2 Tlakové proudění v uzlu	24
2.2 Schematizace kanalizační sítě a povodí.....	25
2.3 Pražský kanalizační generel	28
2.4 Nejistoty v parametrech stokových sítí	30
2.5 Základní statistické ukazatele.....	30
2.5.1 Aritmetický průměr	31
2.5.2 Medián.....	31
2.5.3 Maximum.....	31
2.5.4 Minimum	31
2.5.5 Směrodatná odchylka.....	31
2.5.6 Kvantil	32
3 METODIKA.....	33
3.1 Hydraulické ztráty v potrubí	33
3.2 Konstrukce matematického modelu	34
3.2.1 Mike URBAN.....	34
3.2.1.1 Základní prvky povrchového odtoku	34
3.2.1.2 Základní prvky hydrodynamického odtoku	34
3.2.1.2.1 Uzel.....	34
3.2.1.2.2 Úsek.....	37
3.2.1.2.3 Funkce	37
3.2.2 Použité modely	38
3.2.2.1 Detailní model povodí Bohnického sběrače.....	38
3.2.2.1.1 Kalibrace a verifikace modelu	39
3.2.2.1.2 Kalibrace splaškového průtoku.....	39
3.2.2.1.3 Kalibrace dešťového průtoku.....	40
3.2.2.2 Schématický model povodí Bohnického sběrače.....	41
3.2.2.2.1 Kalibrace a verifikace modelu	41

3.2.2.2.2	Kalibrace splaškového průtoku.....	42
3.2.2.2.3	Kalibrace dešťového průtoku.....	43
3.2.3	Zatěžovací stavy pro kanalizační systém.....	44
3.2.4	Nejistoty drsnosti v potrubí.....	45
3.3	Statistické vyhodnocení	46
4	DISKUZE	47
4.1	Hydraulické změny proudění v potrubí.....	47
4.2	Porovnání hydrogramů odtoku	47
4.3	Statistické vyhodnocení průtoků.....	48
4.3.1	Aritmetický průměr	48
4.3.2	Medián.....	48
4.3.3	Minimum	49
4.3.4	Maximum.....	50
4.3.5	Směrodatná odchylka.....	50
4.3.6	Kvantil	50
4.4	Schematizace.....	51
5	ZÁVĚR	52
6	CITOVANÁ LITERATURA.....	54
7	PŘÍLOHY	56
7.1	Výsledky simulací.....	56
7.1.1	Hydraulické změny v potrubí	56
7.1.1.1	Profil DN 300 – beton.....	56
7.1.1.2	Profil DN 300 – sklolaminát	56
7.1.1.3	Profil DN 300 – kamenina	57
7.1.1.4	Vejčitý profil 600/1050 - beton.....	57
7.1.1.5	Vejčitý profil 600/1050 – sklolaminát	58
7.1.1.6	Vejčitý profil 600/1050 – kamenina	58
7.1.1.7	Profil DN 1000 – beton.....	59
7.1.1.8	Profil DN 1000 – sklolaminát	59
7.1.1.9	Profil DN 1000 – kamenina	60
7.1.2	Porovnání hydrogramů dvou schematizací modelu	61
7.1.2.1	Simulace 1.....	61
7.1.2.2	Simulace 2.....	62
7.1.2.3	Simulace 3.....	63
7.1.2.4	Simulace 4.....	64
7.1.2.5	Simulace 5.....	65
7.1.2.6	Simulace 6.....	66

7.2	Statistické vyhodnocení	67
7.2.1.1	Porovnání aritmetických průměrů průtoku	67
7.2.1.1.1	Simulace 1	67
7.2.1.1.2	Simulace 2	67
7.2.1.1.3	Simulace 3	68
7.2.1.1.4	Simulace 4	68
7.2.1.1.5	Simulace 5	69
7.2.1.1.6	Simulace 6	69
7.2.1.2	Porovnání mediánu průtoku	70
7.2.1.2.1	Simulace 1	70
7.2.1.2.2	Simulace 2	70
7.2.1.2.3	Simulace 3	71
7.2.1.2.4	Simulace 4	71
7.2.1.2.5	Simulace 5	72
7.2.1.2.6	Simulace 6	72
7.2.1.3	Porovnání minima průtoku.....	73
7.2.1.3.1	Simulace 1	73
7.2.1.3.2	Simulace 2	73
7.2.1.3.3	Simulace 3	74
7.2.1.3.4	Simulace 4	74
7.2.1.3.5	Simulace 5	75
7.2.1.3.6	Simulace 6	75
7.2.1.4	Porovnání maxima průtoku.....	76
7.2.1.4.1	Simulace 1	76
7.2.1.4.2	Simulace 2	76
7.2.1.4.3	Simulace 3	77
7.2.1.4.4	Simulace 4	77
7.2.1.4.5	Simulace 5	78
7.2.1.4.6	Simulace 6	78
7.2.1.5	Porovnání hodnot směrodatné odchylky	79
7.2.1.5.1	Simulace 1	79
7.2.1.5.2	Simulace 2	79
7.2.1.5.3	Simulace 3	80
7.2.1.5.4	Simulace 4	80
7.2.1.5.5	Simulace 5	81
7.2.1.5.6	Simulace 6	81
7.2.1.6	Porovnání kvantilů průtoku.....	82
7.2.1.6.1	Simulace 1	82
7.2.1.6.2	Simulace 2	82
7.2.1.6.3	Simulace 3	83
7.2.1.6.4	Simulace 4	83
7.2.1.6.5	Simulace 5	84
7.2.1.6.6	Simulace 6	84
7.3	Hlavní prvky kanalizačního systému.....	85
7.3.1	Kanalizační potrubí.....	85
7.3.1.1	Materiály potrubí	87
7.3.1.1.1	Zděné potrubí.....	87
7.3.1.1.2	Železobetonové potrubí	87

7.3.1.1.3	Plastové potrubí	88
7.3.1.1.4	Kovové potrubí	89
7.3.1.1.5	Sklolaminátové potrubí	90
7.3.1.1.6	Čedičové potrubí	90
7.3.1.2	Tvary potrubí	91
7.3.1.2.1	Kruhový profil	91
7.3.1.2.2	Vejčítý profil	92
7.3.1.2.3	Tlamový profil	92
7.3.1.2.4	Obdélníkový profil	93
7.3.1.2.5	Hruškovitý profil	94
7.3.1.2.6	Atypický profil	94
7.3.2	Kanalizační šachty	95
7.3.3	Kanalizační objekty	96
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	97
9	SEZNAM TABULEK	102

Seznam použitých veličin:

A	(m ²)	průřezová plocha
a	(m.s ⁻¹)	rychlost rázové vlny
C	(m ^{0.5} .s ⁻¹)	rychlostní součinitel
c	(m.s ⁻¹)	postupivost vlny při netlakovém proudění
D	(m)	průměr potrubí
Fr	(-)	Froudovo číslo
g	(m.s ⁻²)	tíhové zrychlení
H	(m)	poloha tlakové čáry nad srovnávací rovinou při tlakovém proudění
h	(m)	vodní stav, poloha hladiny při netlakovém proudění
i	(-)	sklon
K	(-)	ztrátový součinitel
l, L	(m)	délka potrubí, úseku
n	(s m ^{-1/3})	drsnostní součinitel podle Manninga
O	(m)	omočený obvod
Q	(m ³ .s ⁻¹)	objemový průtok
R	(m)	hydraulický poloměr
Re	(-)	Reynoldsovo číslo
T	(s)	doba výskytu vlny
t	(s)	čas
x	(m)	délka měřená v ose potrubí, souřadnicová osa
Z	(m)	ztráta třením
β	(-)	součinitel hybnosti
λ	(-)	součinitel tření

ρ	(kg.m ⁻³)	měrná hmotnost
Δ	(m)	hydraulická drsnost

1 Úvod

Matematické modelování kanalizačních sítí je jedním z nástrojů moderního managementu správy a rozvoje měst a obcí. Umožňuje přehled nad současnými stokovými sítěmi a možnými důsledky navržených rozšíření a opatření. Tento koncept modelování, který spojuje velké množství dat z území, umožnil rozkvět GIS technologií a možnosti efektivního průzkumu stokové sítě.

Správný chod matematického modelu kanalizační sítě zajišťuje citlivá kalibrace a verifikace naměřených se simulovanými veličinami. Tento proces ovlivňují parametry jak hydrologického, tak i hydraulického rázu. I přes stále se zlepšujícími prostředky průzkumu povrchu území, je nejistota v získaných datech mnohem větší než u dat získaných z průzkumu kanalizační sítě. Takový průzkum vypovídá dobře o stavu potrubí, šachet a objektů. Dodaná data jsou pak snadno zpracovatelný vstup pro matematické modely. Model se tak neustále přibližuje skutečnosti a více odpovídá skutečným hydraulickým podmínkám ve stokovém systému.

Dalším faktorem matematického modelování je schematizace. Schematizace je základním kamenem modelování, která pomáhá převést realitu do umělého modelového prostředí. Určuje se účel modelu, pro který bylo modelování vytvořeno a míra schematizace, která bude použita. Právě míra schematizace je důležitým faktorem jak přesná data z území a kanalizační sítě budou použita. Stejně tak míra schematizace ovlivňuje celkovou náročnost výpočtu a zacházení s výsledky.

Tato práce si dává za úkol porovnat dvě úrovně schematizace stejného povodí a vyhodnotit nejistoty v modelování vývoje hydraulické drsnosti potrubí na hlavní stoce území.

2 Rešerše

2.1 Základní teoretické vztahy

V matematických modelech je založen popis proudění ve stokové síti na těchto základních rovnicích:

- rovnice kontinuity (zákon zachování hmotnosti proudící kapaliny)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (A \cdot V) = \int_{\sigma} q \, d\sigma \quad (2.1)$$

- pohybové rovnice
- Bernoulliho rovnice (zákon zachování mechanické energie proudu)

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = \text{konstanta} \quad (2.2)$$

- věta o hybnosti

Předpokladem požití těchto rovnic jsou:

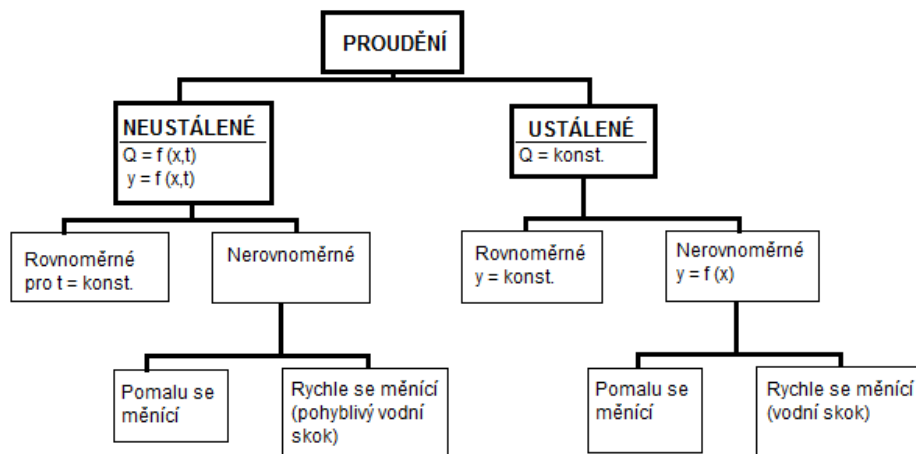
- prvky sítě geometricky a hydraulicky definované
- prvky sítě vzájemně logicky propojené (topologie sítě)

V simulačních modelech se používají dva základní prvky. Jsou to úseky a uzly. Oba tyto prvky používají jiné hydraulické rovnice a přístupy. Úseky se řeší pomocí jednodimenzionálních rovnic, zatím co uzly se řeší jako okrajové podmínky.

(Krejčí, 2002)

2.1.1 Proudění v úseku

Proudění kapaliny v uzavřených profilech může probíhat ve více formách a dá se rozdělit podle různých hledisek, která dále specifikují nejvhodnější způsoby přístupu k jejich výpočtu.

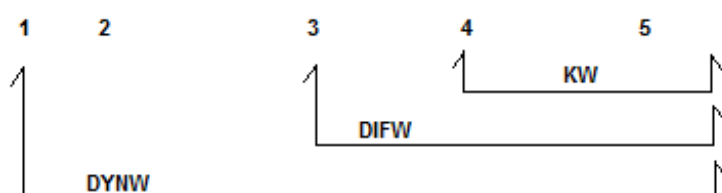


Obrázek 1 – Základní rozdělení proudění v potrubí (Krejčí, 2002)

2.1.1.1 Aproximace řídicích rovnic

Neustálené proudění se v matematickém modelování obvykle vyjadřuje pomocí Saint-Venantových rovnic a jejich aproximací.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + g * A \frac{\partial h}{\partial x} + g * A * i_E = g * A * i_0$$



(2.1)

Legenda:

1. a 2. člen rovnice vyjadřují síly setrvačnosti, neboli lokálního a konvektivního zrychlení
3. člen vyjadřuje tlakové síly
4. člen vyjadřuje síly tření
5. člen vyjadřuje vliv gravitační síly

Aproximace dynamickou vlnou DYNW

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot A \cdot i_E = g \cdot A \cdot i_0 \quad (2.2)$$

Pohybová rovnice obsahuje všechny členy popisu dynamické vlny. Výhodou jsou nejpřesnější výsledky. Nevýhodou je složitost a délka výpočtu. (Krejčí, 2002)

Aproximace difúzní vlnou DIFW

$$g \cdot A \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot A \cdot i_E = g \cdot A \cdot i_0 \quad (2.3)$$

V pohybové rovnici se vypouští členy vyjadřující setrvačné síly za předpokladu pomalu se měnícího průtoku jak v čase, tak po délce potrubí. To znamená, že nedochází k prudkým změnám hloubek a hydraulického poloměru.

Výhodou DIFW je skoro stejná přesnost jako u DYNW, ale výpočet je snadnější a rychlejší. Dalším kladem je uvažování tlakové síly, která umožňuje brát v úvahu zpětné vzduť z dolní hladiny.

Specifickým případem DIFW je uvažování o rovnici (2.3) jako o simulaci ustáleného nerovnoměrného proudění za předpokladu, že se časová změna hloubky nebo průřezové plochy zanedbává. (Krejčí, 2002)

Aproximace kinematickou vlnou KW

$$g \cdot A \cdot i_E = g \cdot A \cdot i_0 \quad (2.4)$$

V pohybové rovnici se vypouští členy setrvačných a tlakových sil za předpokladu rovnoměrného proudění $i_0 = i_E$, čili se předpokládá rovnováha mezi gravitační a třecí silou, zatímco síly tlakové a setrvačné se zanedbávají.

Výhodou KW je snadnost výpočtu. Nevýhodou jsou velké simplifikace. Dále se neuvažuje vliv zpětného vzduť. (Krejčí, 2002)

Vliv tření

Vliv tření v úseku, neboli sklon čáry energie i_E , je možno řešit jedním z následujících přístupů:

- Manningova rovnice

$$i_E = \left(\frac{Qn}{A R^{2/3}} \right)^2 \quad (2.5)$$

- Darcy-Weisbachova rovnice

$$i_E = \lambda \frac{v^2}{4 R 2g} = \lambda \frac{Q^2}{8 g R A^2} \quad (2.6)$$

- součinitel tření λ podle Colebrook-Whitea
- $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,714 R} \right]$ kde $R = \frac{v^4 R}{v}$

$$(2.7)$$

Vlivem tření se dále zabýval Pavlovský, který založil svoji teorii na Chezyho rovnici (Krejčí, 2002)

V tabulce č. 1 jsou doporučené hodnoty drsností pro vybrané druhy potrubí. Minimální hodnoty jsou pro nová potrubí a maximální pro starší potrubí.

Tabulka 1 - Hodnoty Manningova drsnostního součinitele a hodnoty hydraulické drsnosti (Krejčí, 2002)

Materiál	Manningův drsnostní součinitel n [$s \cdot m^{-1/3}$]		Hydraulická Drsnost Δ [mm]	
	minimální hodnota	maximální hodnota	minimální hodnota	maximální hodnota
Hladký cementový povrch	0,010	0,013	0,03	0,1
Kamenina	0,010	0,017	0,40	3,0
Betonové potrubí	0,011	0,013	0,060	3,0
Cihly s cementovou maltou	0,012	0,017	1,500	15,0
Litinové potrubí	0,013	0,017	0,150	4,0
Ocelové potrubí svařované	0,012	0,015	0,100	4,0
PVC	0,010	0,011	0,060	3,0
Sklolaminátové potrubí	0,007	0,011	0,003	0,015

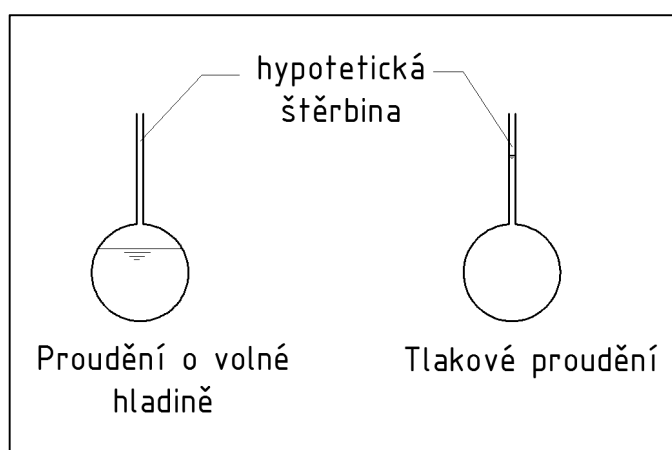
2.1.1.2 Tlakové proudění v úseku

Nedílnou součástí průtoku ve stokovém systému je tlakové proudění. Děje se tak v případě plného naplnění potrubí, kdy dojde k přetlaku. Tento efekt má za následek drastické zvýšení ztrát třením a může způsobit rázovou vlnu proti proudu, případně vodní skok. (Song a kol., 1983)

Jedním z prvních, kdo se touto problematikou úspěšně zabýval, byl Priessman (1961), který založil svoji teorii na hypotetické štěrbině na horním záklenku potrubí, která zjednodušuje celý problém na proudění o volné hladině. Tím pádem může být řešena pomocí SV rovnice (2.1). Tuto

teorii dále rozvedli Cunge-Wegner (1964) ve svém modelu PCW (*Obrázek 2*). Předpokladem této teorie je kontakt vodní hladiny se vzduchem v celé délce potrubí. (Song a kol., 1983)

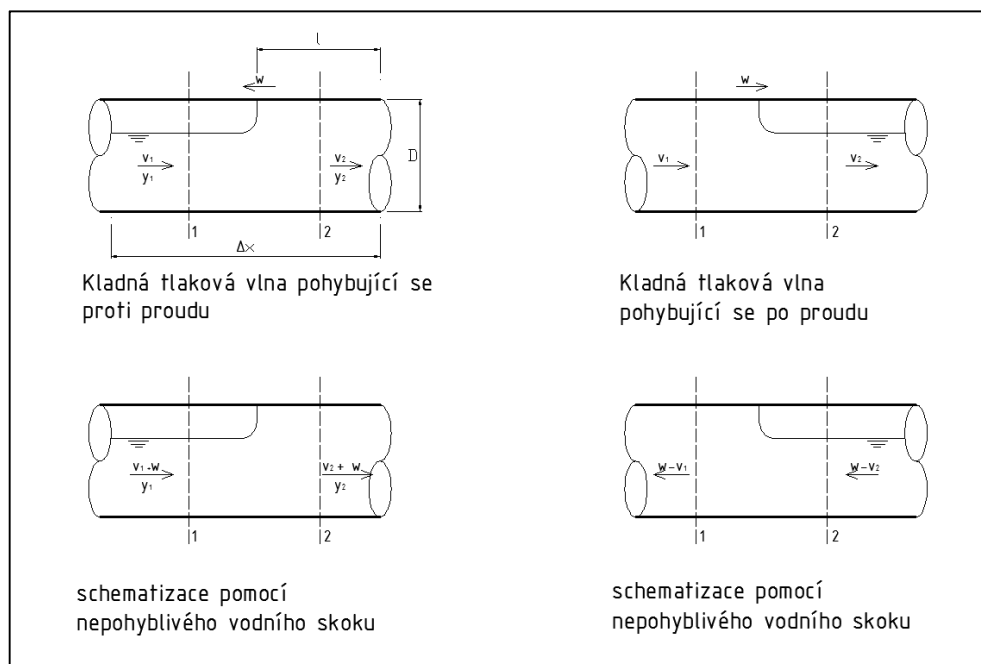
Tento způsob zjednodušení je často používán v simulačních modelech, například v Mike Urban.



Obrázek 2 – Hypotetická štěrbina Priessman-Cunge-Wegnerova modelu PCW (Cunge a kol., 1964)

Zjednodušení metody PCW neumožňuje simulovat takové fenomény, jako jsou tvorba vzduchových kapes, tvorba podtlaku z důvodu zpětného vzduťí nebo šokové vlny. (Song a kol., 1983)

Výpočet Song-Cardle-Leung (PLC) používá metodu charakteristik jak pro proudění o volné hladině, tak i pro tlakové proudění (*Obrázek 3*). (Song a kol., 1983)



Obrázek 3 – Metoda SCL (Song a kol., 1983)

2.1.2 Proudění v uzlu

2.1.2.1 Proudění o volné hladině v uzlu

Při proudění o volné hladině skrze uzel dochází ke ztrátě energie z důvodu lokálních nerovností a případné změně geometrie průtočného profilu.

Marsalek v roce 1985 provedl studii zabývající se těmito ztrátami a jejich závislosti na určitých parametrech kanalizační šachty. Zkoumané parametry:

- Půdorysný tvar šachty
- Relativní šířka šachty
- Tvar kynety šachty (viz. *Obrázek 5 – Geometrie uzlu a tvar kynety dna. (Marsalek, 1987)*)

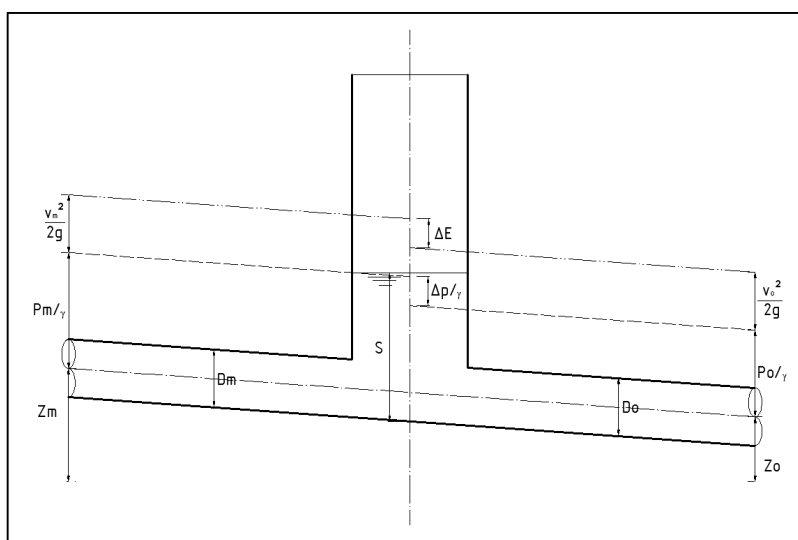
Tabulka 2 – Koeficient ztráty K v pěti druzích kynety dna kanalizační šachty při proudění o volné hladině s 90° odbočením (Marsalek, 1985).

Tvar kynety	Koeficient ztráty K
Bez úpravy kynety	1,08
Kyneta do $\frac{1}{2}$ profilu	0,58
Kyneta do záklenku profilu	0,28
Kyneta nad záklenek profilu	0,07
Kyneta do záklenku profilu s rozšířeným nátokem a odtokem	0,34

Z výsledku studie (*Tabulka 1*) je zřejmé, že hlavním parametrem, který ovlivňuje ztráty je tvar kynety šachty. Ztráty třením při proudění o volné hladině jsou vždy menší než při tlakovém proudění popsaném v následující kapitole (porovnání tabulek *Tabulka 2* a *Tabulka 3*). (Marsalek, 1985)

2.1.2.2 Tlakové proudění v uzlu

Při tlakovém proudění v kanalizaci dochází k zvýšení čáry energie nad náklenuk potrubí a k tlakovému proudění (*Obrázek 2*). Toto proudění krátkodobě přechází v uzlu do proudění o volné hladině. To způsobuje značné místní ztráty a může za určitých okolností zavinit změnu proudění nebo vodní skok. (Marsalek, 1988).



Obrázek 4 – Uzel kanalizace při tlakovém proudění s vyznačenými čarami energie a místními ztrátami. (Marsalek, 1987)

Hlavní problémy proudění skrze uzel byly diskutovány Chow (1959), který došel k závěru, že není možné tyto problémy řešit analytickou cestou a je nutné je řešit pomocí fyzikálních modelů.

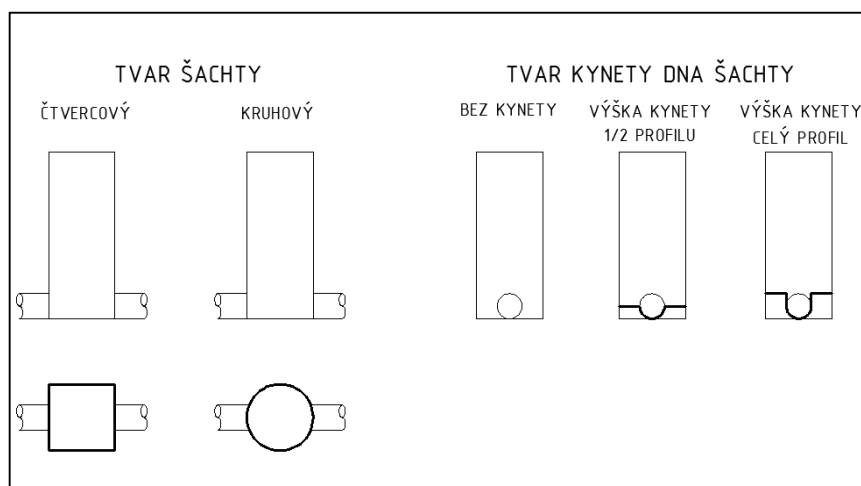
Tato problematika byla zkoumána ve studiích Archer a kol. (1978) a Sangster a kol. (1958), které se zaměřují na dva typy geometrií uzlu. Z těchto prací vychází ztráta místní jako konstanta pro široké spektrum rychlostí závisící pouze na tvaru uzlu (Marsalek, 1985).

Na tyto studie dále navázali svojí prací Marsalek a Greck (1985 a 1987). V těchto studiích zkoumají vlivy tvaru uzlu, tvaru dna, změny směru o 90° a poměru šířky potrubí k šířce šachty (*Obrázek 3*). Z těchto prací vyplývá,

že tvar uzlu a poměr šířky potrubí k šířce uzlu má minimální vliv na velikost ztrát oproti tvaru dna, který má naopak vliv zásadní. Zajímavostí studie z roku 1987 je zjištění, že v případě kynety do půlky profilu, za určitých okolností může dojít k vodnímu skoku, který se dále propaguje po proudu v potrubí (Marsalek, 1987).

Tabulka 3 – Koeficient ztráty K v pěti druzích kynety dna kanalizační šachty při tlakovém proudění s 90° odbočením (Marsalek, 1987).

Tvar kynety	Koeficient ztráty K
Bez úpravy kynety	1,75
Kyneta do ½ profilu	1,65
Kyneta do záklenku profilu	1,10
Kyneta nad záklenek profilu	1,05
Kyneta do záklenku profilu s rozšířeným nátokem a odtokem	0,65



Obrázek 5 – Geometrie uzlu a tvar kynety dna. (Marsalek, 1987)

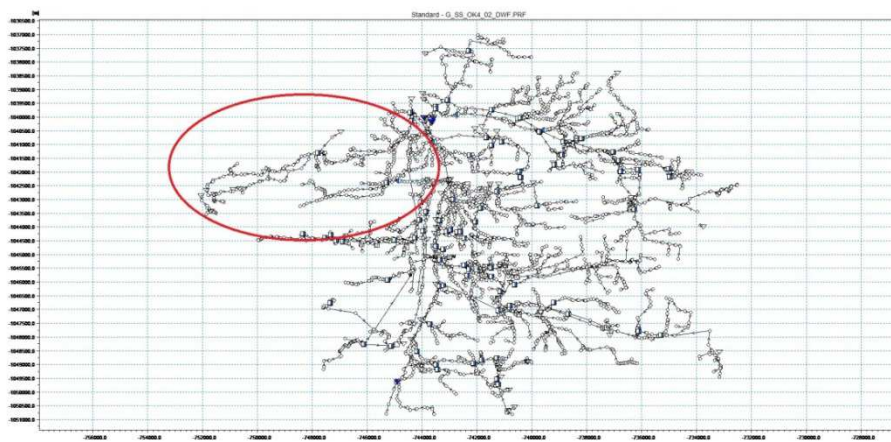
2.2 Schematizace kanalizační sítě a povodí

Schematizace kanalizační sítě a připojeného území je modelovým zjednodušením reality. Míra schematizace je také volbou přiměřeného znázornění pro zadaný úkol. Účel modelu tedy určuje do jakého detailu má schematizace dojít a jaké informace použít. (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)

Při jakékoliv schematizaci dochází ke ztrátě přesnosti vstupních dat, a tím pádem i přesnosti modelu vůči realitě. Je proto důležité zvolit správnou míru schematizace, u které nebude vadit tato menší přesnost vstupních informací. (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)

Příklady schematizace:

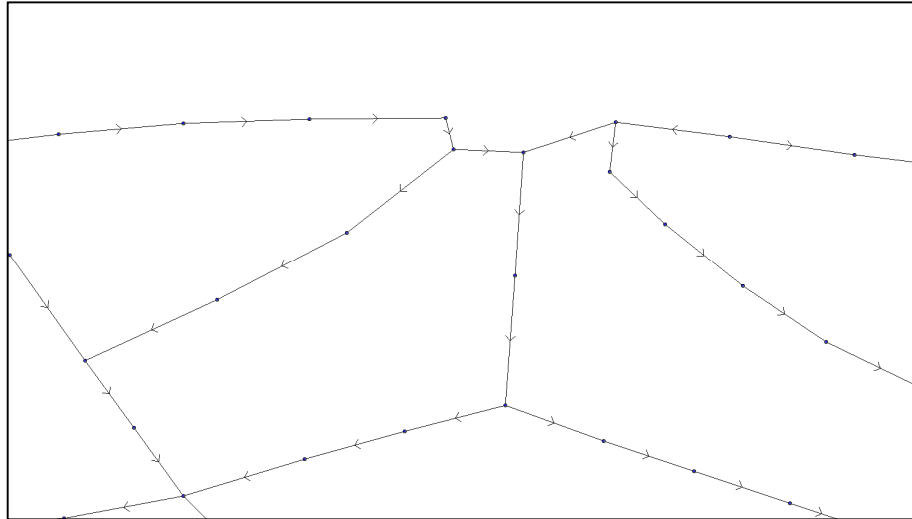
1. Koncepční model



Obrázek 6 – Maximální schematizace kanalizační sítě (Hydroprojekt CZ a.s., 1999).

- Vstupní data zohledňují jen hlavní důležité uzly, objekty kanalizační sítě a povodí reprezentuje územní celky města přináležící dané stoce s celkovým součtem ekvivaletních obyvatel.
- Tento schematizovaný model je vhodný pro bilanční vyhodnocení celkového území (Hydroprojekt CZ a.s., 1999) nebo jako okrajová podmínka pro detailní model řešeného území.

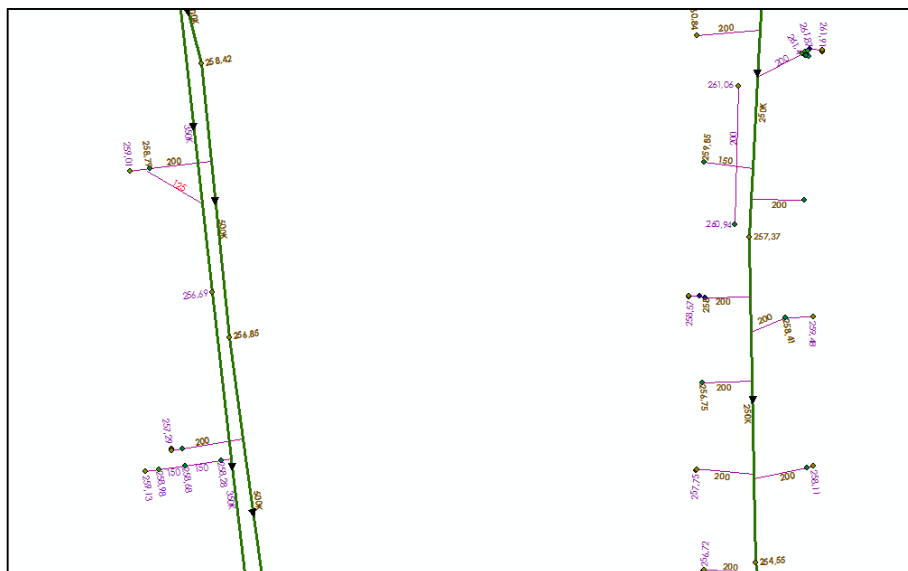
2. Detailní model



Obrázek 7 – Střední schematizace kanalizační sítě (Mike URBAN, 2016)

- Vstupní data tvoří všechny zaměřené kanalizační šachty, objekty, stoky a povodí reprezentuje spádové oblasti jednotlivých bloků ulic. Data reprezentující ekvivalentní obyvatele jsou zde tvořena měřeními odběry s unikátní souřadnicí. (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013)
- Tento schematizovaný model je vhodný pro detailní vyhodnocení řešeného povodí. Řeší se lokální stavy kanalizačního systému, opatření a výhledový stav. (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013)

3. Detailní model s využitím pro 2D modelování



Obrázek 8 – Minimální schematizace kanalizační sítě podle dostupných údajů. (GIS PVK, 2016)

- Vstupní data tvoří všechny zaměřené kanalizační šachty, dešťové vpustě, přípojky, objekty a povodí reprezentující spádové oblasti jednotlivých dešťových vpustí a jiných vtoků do kanalizace. Data reprezentující ekvivalentní obyvatele jsou zde tvořena měřenými odběry s unikátní souřadnicí. (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013)
- Tento schematizovaný model je vhodný pro detailní řešení povodí s napojením na 2D model. Je brán důraz na propojení 1D modelu s 2D modelem skrze zvolené objekty na stokové síti.

2.3 Pražský kanalizační generel

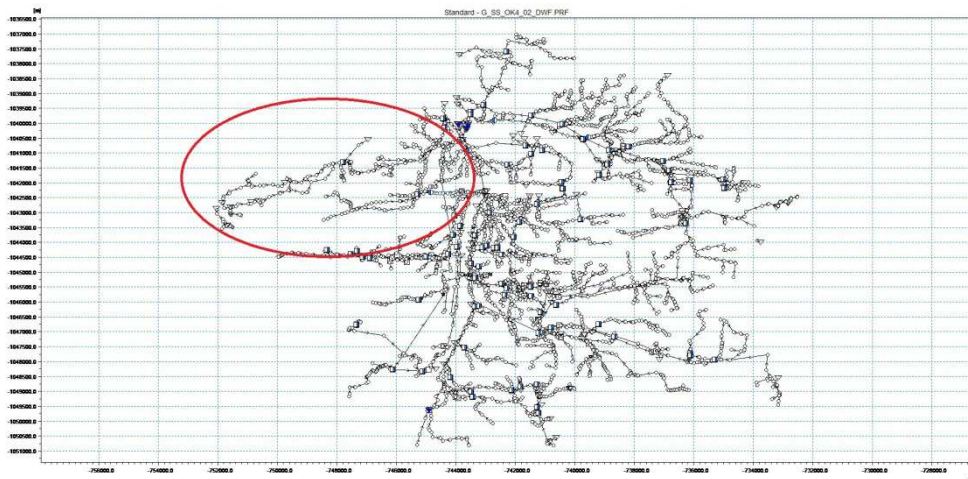
Generel odvodnění je primárním prostředkem pro správu celého území a řešení výhledového stavu území. Slouží jako hlavní podklad pro dlouhodobý rozvoj infrastruktury města a řeší souběh navržených opatření a rozšíření. Cílem generelu je správné zachycení současného stavu kanalizační infrastruktury a výběr variantního řešení pro vytyčené cíle rozvoje města. (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)

První fází pražského generelu byla koncepční část, která započala v roce 1999. Měla celkem 4 etapy (C až F). (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)

Etapa „C“ měla za úkol „*globální řešení povodí včetně ČOV*“, které je vidět na (Obrázek 9). Tato část zahrnovala celkovou bilanci území s dopadem na ústřední čistírnu odpadních vod na Císařském ostrově v Praze a recipient (řeka). (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)

Etapa „D“ měla za úkol „*řešení páteřního sběrače K*“. Tato část měla odhalit hlavní problémy sběrače, stanovit odvodňované území, funkci sběrače a vyhodnotit vliv na recipient. (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)

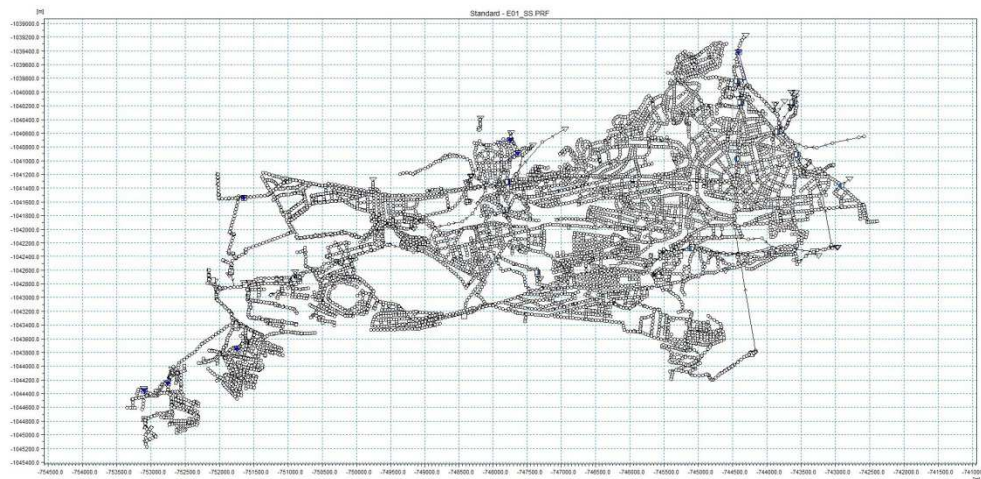
Etapy „E“ a „F“ měly za úkol „*řešení kmenových sběračů*“. Tato část měla posoudit sběrače takzvaného „*dolního*“ a „*horního*“ horizontu. Hlavní důraz byl zaměřen na funkci jednotlivých sběračů a jejich vliv na menší recipienty na jejich výpustech. (Hydroprojekt CZ a.s., 1999)



Obrázek 9 – Matematický model koncepčního generelu kanalizační sítě hl. m. Prahy v prostředí Mike View (Hydroprojekt CZ a.s., 1999).

Výsledkem této koncepční části nebyly jen celkové bilanční výstupy pro globální povodí a zjištění funkce jednotlivých sběračů, ale také důležité poznatky pro pokračování generelu.

Pokračováním koncepční části pražského generelu byl Detailní generel odvodnění hl. m. Prahy. V jednotlivých částech tohoto projektu byly zpracovány jednotlivé sběrače a jejich povodí v podrobnosti všech zaměřených šachet a objektů. Na obrázku (*Obrázek 10*) je vidět schematizovanou stokovou síť kmenových stok „C“ a „D“. (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013)



Obrázek 10 – Matematický model detailního generelu kanalizační sítě kmenových stok „C“ a „D“ hl.m. Prahy (SWECO Hydroprojekt a.s., 2012).

2.4 Nejistoty v parametrech stokových sítí

Nejistoty v matematickém modelování jsou jedním ze základních bodů, se kterými musíme pracovat, pokud chceme správně interpretovat výsledky modelování. Nejistoty v parametrech stokových sítí jsou oproti ostatním nejistotám v povodí nižší, jsou mnohem lépe postihnutelné a jejich matematický popis v simulačním modelu je jednodušší.

Pomocí průzkumných prostředků k zjišťování stavu kanalizační sítě (Obrázek 11 – Vizuální průzkum stoky pomocí robota s kamerami (PVK, 2016), šachet a objektů lze snadno zachytit aktuální stav sítě a vhodně jej popsat v matematickém modelu.



Obrázek 11 – Vizuální průzkum stoky pomocí robota s kamerami (PVK, 2016)

2.5 Základní statistické ukazatele

Statistické ukazatele jsou hlavním nástrojem k posuzování velkých objemů dat, tak aby byly lehce reprezentovatelné a snadno čitelné.

2.5.1 Aritmetický průměr

Statistický ukazatel uvádějící odhad střední hodnoty. Převádí funkce na rovno-plochy obdélník s jednotkovou stranou.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.7.)$$

(Puš V., 2011)

2.5.2 Medián

Statistický ukazatel uvádějící hodnotu v 50% dosaženou a v 50% nedosaženou.

$$\tilde{x} = x_{k+1} \quad \text{pro } n = 2 * k + 1 \quad (2.8)$$

$$\tilde{x} = \frac{x_{k+1} + x_k}{2} \quad \text{pro } n = 2 * k \quad (2.9)$$

(Puš V., 2011)

2.5.3 Maximum

Statistický ukazatel uvádějící maximální hodnotu na daném intervalu časové řady. (Puš V., 2011)

2.5.4 Minimum

Statistický ukazatel uvádějící minimální hodnotu na daném intervalu časové řady. (Puš V., 2011)

2.5.5 Směrodatná odchylka

Statistický ukazatel uvádějící hodnotu odchylky od aritmetického průměru. Signalizuje jak je velká vzájemná odlišnost.

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{nebo} \quad s_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.10)$$

(Puš V., 2011)

2.5.6 Kvantil

Statistický ukazatel uvádějící rozdělení seřazeného souboru hodnot na několik zhruba stejně velkých částí. Je to míra polohy rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny.

Kvantil může rozdělovat soubor hodnot podle zvolené pravděpodobnosti a tak postihovat jiné části dat a lépe je popisovat.

$$P(x \leq Q_p) = p, \text{ tedy } F(Q_p) = p \quad (2.11)$$

(Puš V., 2011)

3 Metodika

Postup práce je složen ze dvou částí. První část je výpočet průběhu průtoku v potrubí pomocí výpočtů v programu Excel. Druhá část je výpočet průběhu průtoku v prostředí Mike URBAN a jeho vyhodnocení pomocí statistických ukazatelů

3.1 Hydraulické ztráty v potrubí

Hydraulické ztráty v potrubí byly posouzeny na třech různých profilech a jejich obvyklých materiálech se změnami v hodnotách jejich drsností v doporučeném rozmezí podle tabulky (*Tabulka 1*).

Výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel.

Posuzované profily a materiály:

- kruh DN 300 – beton (při sklonu 3,4 ‰)
- kruh DN 300 – sklolaminát (při sklonu 3,4 ‰)
- kruh DN 300 – kamenina (při sklonu 3,4 ‰)
- vejčitý profil 600/1050 – beton (při sklonu 12 ‰)
- vejčitý profil 600/1050 – sklolaminát (při sklonu 12 ‰)
- vejčitý profil 600/1050 – kamenina (při sklonu 12 ‰)
- kruh DN 1000 – beton (při sklonu 12 ‰)
- kruh DN 1000 – sklolaminát (při sklonu 12 ‰)
- kruh DN 1000 – kamenina (při sklonu 12 ‰)

Pro výpočet průtoku byl zvolen vzorec 2.1

Pro výpočet byly zkoumány změny v:

- maximálním průtokem
- maximální rychlosti
- maximální hladině
- kapacitním průtokem
- kapacitní rychlosti
- druhu proudění (rovnoměrné / říční)

3.2 Konstrukce matematického modelu

3.2.1 Mike URBAN

Mike Urban je software se širokou škálou možných nástrojů k vytváření simulačních modelů. Je spojením simulačního programu MOUSE (Model for Urban Sewers) a grafického programu ArcGIS. Byl vyvinut firmou DHI (Danish Hydraulic Institute).

Simulační model v Mike URBAN spojuje dvě části, část povrchového odtoku z povodí a část hydrodynamického odtoku potrubím. První část vyhodnotí efektivní odtok z povodí v podobě hydrogramu a předá ho přiřazenému prvku na kanalizační síti. Druhá část přebírá tento hydrogram a dále ho transformuje podle řídicích rovnic v kanalizační síti.

3.2.1.1 Základní prvky povrchového odtoku

Povodí („Catchment“) je základním prvkem povrchového odtoku. Spojuje dohromady údaje o velikosti povodí, grafické znázornění, počtu obyvatel a použitý hydrologický model.

Mike URBAN umožňuje použít pět základních hydrologických modelů.

- Surface runoff model „A“ – Time-area method
- Surface runoff model „B“ – Kinematic Wave
- Surface runoff model „C“ – Linear reservoir
- Unit hydrogram surface runoff model
- Precipitation Data

Každý z těchto modulů využívá jiný balíček vstupních dat a pomáhá definovat, k jakému účelu bude model sestaven.

3.2.1.2 Základní prvky hydrodynamického odtoku

Model MOUSE schematizuje prvky hydrodynamického odtoku na tři části.

- Uzel (nodes and structures)
- Úsek (Pipes and canals)
- Funkce (weirs, orifices, pumps atd.)

3.2.1.2.1 Uzel

Body spojující konce úseků a křížení se nazývají uzly. Každý úsek je definován právě dvěma uzly. Uzel může být připojen na jakékoliv množství úseků.

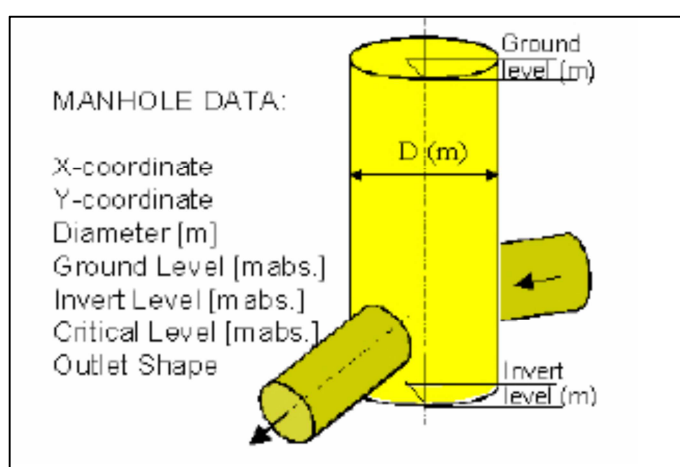
Uzel je definován svou polohou - souřadnicemi „X“ a „Y“ a unikátním jménem.

Kruhová šachta

Kruhová šachta je vertikální válec, definovaný těmito parametry:

- H_{bott} - výška dna [m]
- H_{top} - výška terénu [m]
- D_m - průměr [m]
- K - tvar odtoku, typy 1-9

Definice tvaru odtoku je spojena s výpočtem ztráty místní v uzlu.



Obrázek 12 – MOUSE šachta (MOUSE Pipe flow reference, 2011)

Objekt (nádrž)

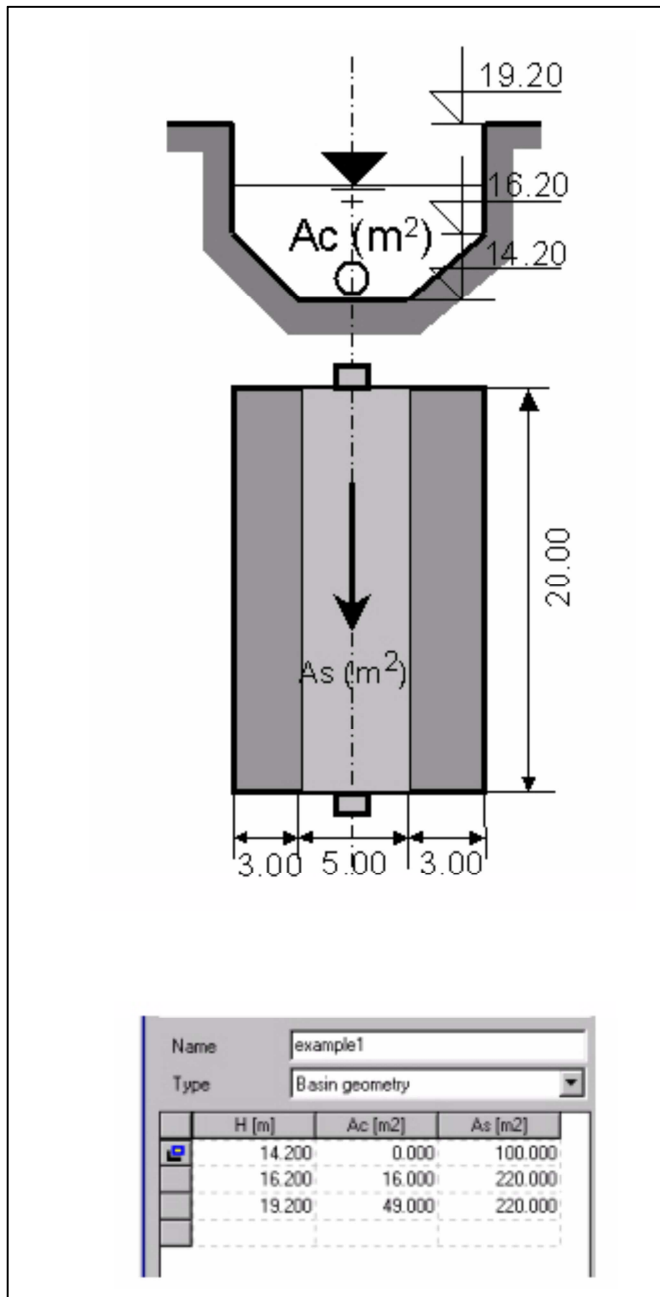
Tento druh uzlu je asociován s různorodě tvarovanými objekty nezanedbatelného objemu, jako jsou:

- Ne-kruhové šachty
- Nádrže
- Rezervoáry
- Přírodní rybníky

Geometrie objektu je definována tabulkou údajů (min. dvou), udávajících hodnoty spojené se zvyšující výškou. Obsahuje:

- H - výška [m]

- A_c - plocha příčného řezu (používaná pro výpočet rychlosti proudění v objektu, za předpokladu rovnoměrného rozložení rychlosti), [m²]
- A_s - plocha vodní hladiny (používaná pro výpočet objemu), [m²]
- K - tvar odtoku, typy 1 - 9



Obrázek 13 – Definice nádrže (MOUSE Pipe flow reference, 2011)

3.2.1.2.2 Úsek

Úsek v MOUSE je definovaný jako jedno-dimenzionální vodovodní potrubí, které spojuje dva uzly. Pomocí definice úseku (vodní hladiny a průtoku) jej můžeme popsat jako funkci prostoru a času.

Úsek se definuje pomocí konstantního příčného řezu, sklonu a ztráty třením po celé své délce.

MOUSE podporuje dva druhy úseků:

- Uzavřené profil
- Otevřený profil

Hlavním rozdílem těchto dvou kategorií je, že v případě tlakového proudění v uzavřeném profilu, se toto řeší pomocí Preissmannovy trubice (*Obrázek 2*).

Úsek je specifikován připojenými uzly, materiálem potrubí, délkou a příčným řezem.

3.2.1.2.3 Funkce

Funkce jsou používány pro výpočet proudění mezi dvěma uzly nebo ve speciálních úsecích podle použití a hydraulických podmínek v řešených bodech systému.

Mezi uzly může být více funkcí najednou. V úseku může být jedna nebo více funkcí mezi dvěma uzly.

Druhy funkcí:

- Přepad (používané pro oddělovací komory)
- Otvor
- Čerpadlo
- Regulace průtoku
- Zpětná klapka

3.2.2 Použité modely

3.2.2.1 Detailní model povodí Bohnického sběrače

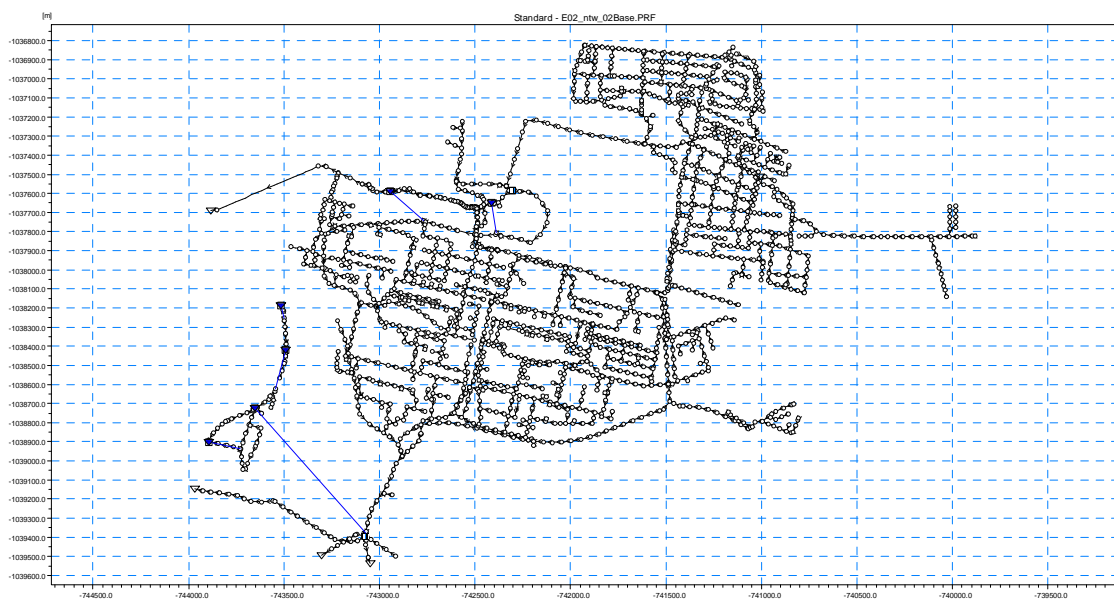
Detailní model povodí Bohnického sběrače patří do 4. etapy Generelu odvodnění hl. m. Prahy – kmenové stoky „E“ a „F“. Jedná se o první generaci matematického modelu Pražské stokové sítě v podrobnosti uličních stok. (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013)

Území se nachází na severu Hl. m. Prahy. Jeho střední, východní a jižní část je sídlištního typu, zatímco severní a severozápadní část je oblast s rodinnými domy a zahradami.

Model nevyužívá lokální ztráty v kanalizačních šachtách jako celku, ale používá je jen pro zjištění lokace z průzkumu kanalizační sítě.

Model kanalizační sítě má:

- 1976 uzlů
- 2047 úseků o celkové délce 66,5 km
- 624 povodí o celkové ploše 456,5 ha
- 1637 allocation vtoků (reprezentují splaškový odtok od spotřebitelů)



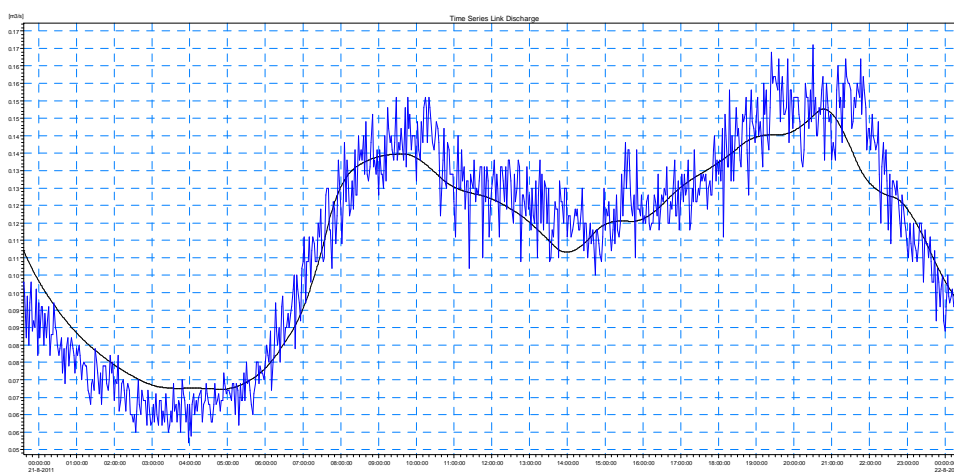
Obrázek 14 – Zobrazení kanalizační sítě detailního modelu Bohnického sběrače v programu MIKE View. (GOHMP EF, 2011)

3.2.2.1.1 Kalibrace a verifikace modelu

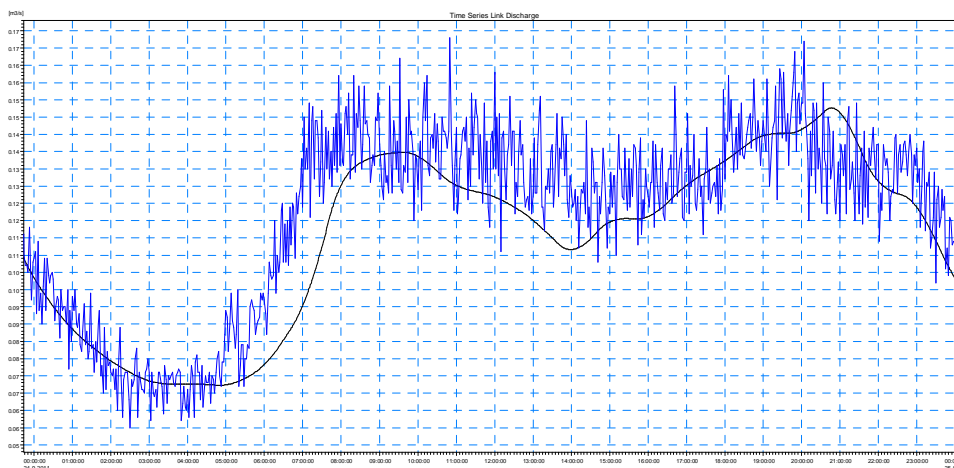
Kalibrace a verifikace modelu byla provedena v Generelu odvodnění hl. města Prahy – kmenové stoky „E“ a „F“ – etapa 4. – Bohnický sběrač.

3.2.2.1.2 Kalibrace splaškového průtoku

Jméno měrného bodu	Datum kalibrace	Datum verifikace
MP před oddělovací komorou OK 2FE	25.08.2011	19.08.2011



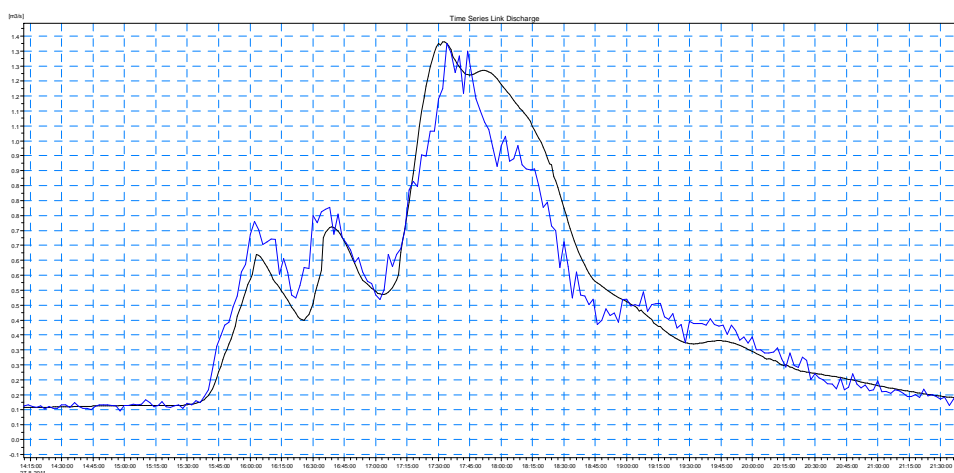
Obrázek 15 – Kalibrační graf splaškového průtoku v uzavěrném profilu Bohnického sběrače dne 21.08.2011 (GOHMP EF, 2011)



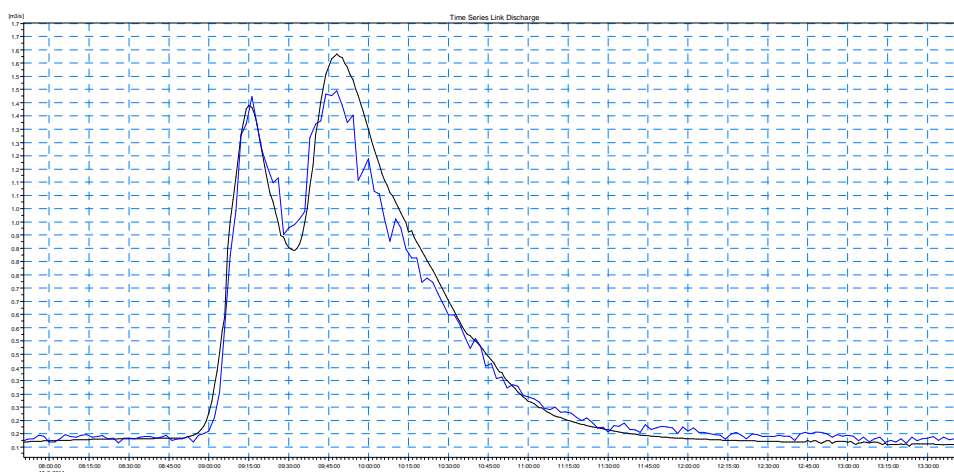
Obrázek 16 – Verifikační graf splaškového průtoku v uzavěrném profilu Bohnického sběrače dne 24.09.2011 (GOHMP EF, 2011)

3.2.2.1.3 Kalibrace dešťového průtoku

Jméno měrného bodu	Datum kalibrace	Datum verifikace
MP před oddělovací komorou OK 2FE	27.08.2011	19.08.2011



Obrázek 17 – Kalibrační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 27.08.2011 (GOHMP EF, 2011)

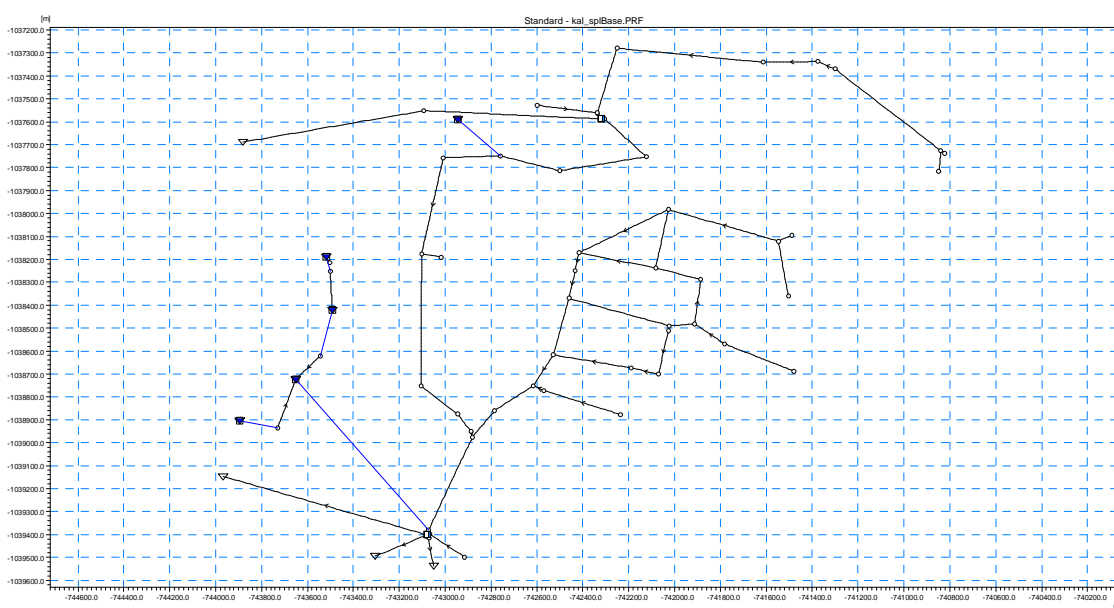


Obrázek 18 – Verifikační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 19.08.2011 (GOHMP EF, 2011)

3.2.2.2 Schématický model povodí Bohnického sběrače

Model kanalizační sítě má:

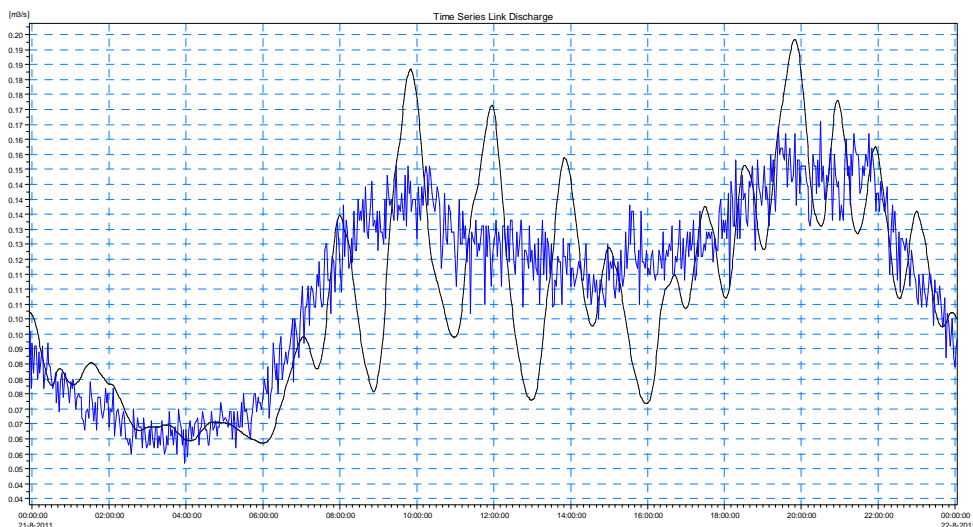
- 67 uzlů
- 61 úseků o celkové délce 66,5 km
- 41 povodí o celkové ploše 456,5 ha
- 1637 allocation vtoků (reprezentují splaškový odtok od spotřebitelů)



Obrázek 19 – Zobrazení kanalizační sítě schematizovaného modelu Bohnického sběrače (MIKE View, 2016).

3.2.2.2.1 Kalibrace a verifikace modelu

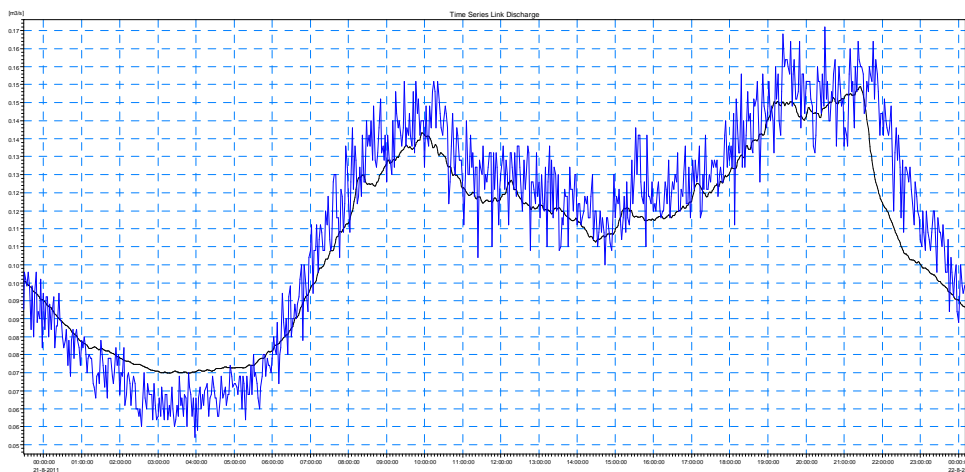
Z důvodu spojení povodí do větších celků a taktéž spojení potrubí bylo nutné provést novou kalibraci a verifikaci modelu, bez které by nebylo možné oba modely posuzovat. Na obrázku *Obrázek 20* je možné vidět nekalibrovaný splaškový průtok porovnaný s naměřeným.



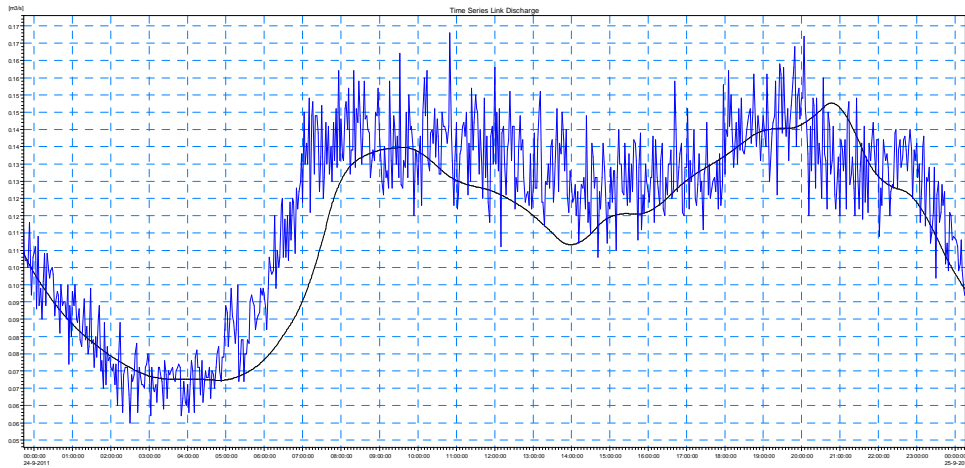
Obrázek 20 – Hydrogram splaškového odtoku na uzavěrném profilu Bohnického sběrače schematizované kanalizační sítě BEZ kalibrace (MIKE View, 2016).

3.2.2.2 Kalibrace splaškového průtoku

Jméno měrného bodu	Datum kalibrace	Datum verifikace
MP před oddělovací komorou OK 2FE	21.08.2011	19.08.2011



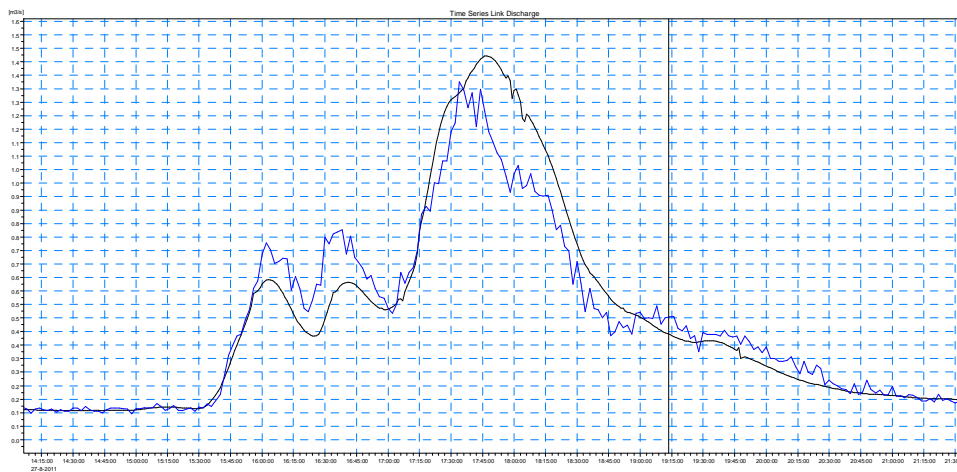
Obrázek 21 – Kalibrační graf splaškového průtoku v uzavěrném profilu Bohnického sběrače dne 21.08.2011 (Mike View, 2016)



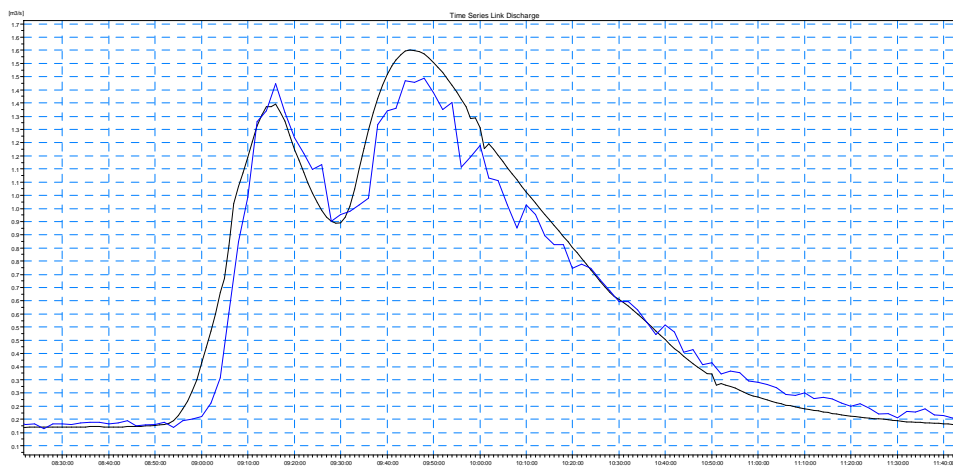
Obrázek 22 – Verifikační graf splaškového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 24.09.2011 (Mike View, 2016)

3.2.2.2.3 Kalibrace dešťového průtoku

Jméno měrného bodu	Datum kalibrace	Datum verifikace
MP před oddělovací komorou OK 2FE	27.08.2011	19.08.2011



Obrázek 23 – Kalibrační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 27.08.2011 (Mike View, 2016)



Obrázek 24 – Verifikační graf dešťového průtoku v uzavěrném profilu Bohnického sběrače dne 19.08.2011 (Mike View, 2016)

3.2.3 Zatěžovací stavy pro kanalizační systém

Pro posouzení kanalizačního systému bylo zvoleno šest zatěžovacích stavů pro pokrytí různorodosti průtoků a tvaru odtokového hydrogramu. Pět z nich je zatížení pomocí splaškového průtoku s reálnou dešťovou srážkou na povodí. Jedna dešťová srážka byla použita jako kalibrační a druhá jako verifikační dešť'. Tři zbývající reprezentují srážkové události, na které je kanalizační síť Pražského generelu posuzována.

Šestý zatěžovací stav je zatížení splaškovým průtokem a reprezentuje minimální průtoky v kanalizační síti.

Tabulka 4 – Přehled zatěžovacích stavů pro kanalizační síť s časovým umístěním

Název	datum		poznámka
	od	do	
Sim_01	9.6.2004 14:00	9.6.2004 23:00	srážka s 2-letým efektem na stokové síti
Sim_02	25.5.2000 7:30	25.5.2000 22:00	srážka s 5-letým efektem na stokové síti
Sim_03	9.8.2007 7:30	9.8.2007 22:00	srážka s 10-letým efektem na stokové síti
Sim_04	20.8.2011 18:00	22.8.2011 6:00	kalibrace - stav jen se splaškovým průtokem
Sim_05	27.8.2011 9:30	27.8.2011 22:00	kalibrace - stav se splaškovým a dešťovým průtokem
Sim_06	18.8.2011 23:00	19.8.2011 15:00	verifikace - stav se splaškovým a dešťovým průtokem

3.2.4 Nejistoty drsnosti v potrubí

Pro oba matematické modely byla sestavena tabulka Manningova drsností součinitele pro hlavní stoku. Ta reprezentuje možný vývoj hydraulické drsnosti od nového až po havarijní stav stoky.

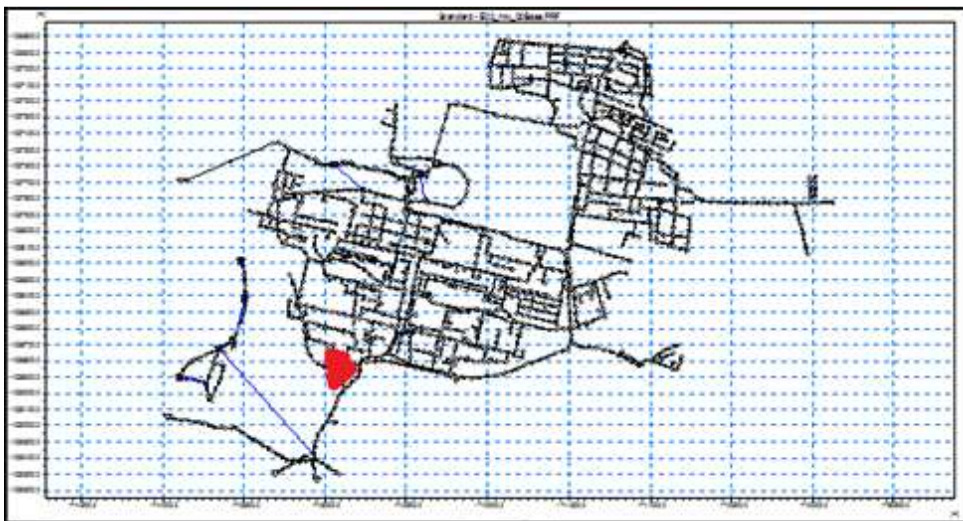
Hodnoty hydraulické drsnosti v tabulce (*Tabulka 5*) jdou hluboce pod doporučenými hodnotami z tabulky (*Tabulka 1*).

Tabulka 5 – Hodnoty Manningova hydraulického součinitele pro hlavní stoku – vývoj drsnosti potrubí od nového až po havarijní stav.

pořadí	Manningův hydraulický součinitel	pořadí	Manningův hydraulický součinitel	pořadí	Manningův hydraulický součinitel
1	0.0120	14	0.0240	27	0.0370
2	0.0125	15	0.0250	28	0.0380
3	0.0130	16	0.0260	29	0.0390
4	0.0140	17	0.0270	30	0.0400
5	0.0150	18	0.0280	31	0.0410
6	0.0160	19	0.0290	32	0.0420
7	0.0170	20	0.0300	33	0.0430
8	0.0180	21	0.0310	34	0.0440
9	0.0190	22	0.0320	35	0.0450
10	0.0200	23	0.0330	36	0.0460
11	0.0210	24	0.0340	37	0.0470
12	0.0220	25	0.0350	38	0.0480
13	0.0230	26	0.0360	39	0.0490

3.3 Statistické vyhodnocení

Hlavní sledovanou veličinou je průtok v m^3/s ve zvoleném uzávěrném profilu povodí s dobře rozeznatelnou změnou podle zvolené schematizace povodí a změnou hydraulické drsnosti potrubí.



Obrázek 25 – Schematizovaná kanalizační síť modelu s vyznačeným uzávěrným profilem (Mike View, 2016).

Uzávěrný profil pro vyhodnocení není totožný s kalibračním. V kalibračním profilu převládá vysoký „peak“ (vrchol hydrogramu) průtoků pravé vedlejší větve, který není ovlivněn hydraulickými změnami v drsnosti potrubí a tím pádem znehodnocuje sledované změny průtoků na hlavní stoece.

Sledování vývoje hydrogramu odtoku závislého na změnách hydraulické drsnosti na hlavním potrubí bylo zvoleno podle těchto statistických ukazatelů:

- Aritmetický průměr průtoků
- Medián průtoků
- Maximum průtoků
- Minimum průtoků
- Směrodatná odchylka hodnot průtoků
- 10% kvantil průtoků
- 25% kvantil průtoků
- 75% kvantil průtoků
- 90% kvantil průtoků
- 95% kvantil průtoků

4 Diskuze

4.1 Hydraulické změny proudění v potrubí

V kapitole 7.1.1 jsou tabulky hydraulických změn v proudění v potrubí.

V tabulkách je popsán vývoj hydraulických změn v proudění skrze rozdílné profily a materiály v rozmezí doporučené drsnosti materiálu podle tabulky (Tabulka 1).

Výsledky ukazují, že i při relativně malých sklonech a v mezích doporučených hydraulických drsností jednotlivých materiálů může dojít k citelnému snížení kapacity stoky a změny druhu proudění. Právě změna proudění může mít druhotný dopad na kapacitu stoky, mnohem drastičtější než samotná vyšší hodnota drsnosti, v podobě fenoménu vodního skoku. Vodní skok je složitý hydraulický fenomén, který je dobré mít na zřetel v případě vyhodnocování simulací.

4.2 Porovnání hydrogramů odtoku

V kapitole 7.1.2 jsou vizuálně porovnány výsledky simulací obou schematizací modelu (**base a zjednodušeno**) na uzávěrném profilu zvoleném v kapitole 3.3.

Hlavním sledovaným atributem ve výsledných hydrogramech obou schematizací modelu je jejich vývoj se vzrůstajícím Manningovým drsnostním součinitelem v hlavní stoce území. Relativní rozdíly v hydrogramech mezi simulacemi base a zjednodušeného modelu nejsou tedy relevantní.

Všechny hydrogramy mají společný ráz snižování maxima průtoku a prodlužování klesající větve grafu v přímé závislosti na zvyšujícím se Manningovým drsnostním součinitelem potrubí.

Společným rysem simulací s dešťovou srážkou je malý rozptyl rostoucích větví hydrogramů jak base, tak zjednodušeného modelu. Naopak klesající větve hydrogramů mají velký rozptyl a prodloužení. To naznačuje, že na velké průtoky (nad $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$) v obou případech má zvyšující hydraulická drsnost menší vliv než na menší průtoky, které ovlivňuje více.

Rozdíl je v případě nízkých splaškových průtoků relativně malý. Rozptyl hydrogramů je v obou případech minimální, ať už na vzrůstajících či klesajících větvích.

Z vizuálního hlediska mají hydrogramy base a zjednodušeného modelu podobný trend vývoje křivky v závislosti na zvyšujícím Manningově drsnostním součiniteli v hlavní stoce území.

4.3 Statistické vyhodnocení průtoků

Výsledky statistického vyhodnocení jsou v kapitole 7.2.

Ve vyhodnocení statistických atributů je sledován trend každé křivky vzhledem k Manningově drsnostním součiniteli potrubí.

Porovnání trendů obou křivek sleduje, jaký mají dvě schematizace modelu dopady na přesnost výsledků.

4.3.1 Aritmetický průměr

Porovnáním křivek aritmetického průměru v kapitole (7.2.1.1) všech simulací obou schematizací modelu se dospělo k těmto závěrům:

- Simulace s dešťovým průtokem
 - Simulace schematizace base mají pozvolný pokles s mírně konkávním trendem křivky.
 - Simulace schematizace zjednodušení mají strmější pokles s mírně konvexním trendem křivky.
- Simulace se splaškovým průtokem
 - Simulace jak schematizace base, tak i zjednodušení mají stejný trend křivky.

S rostoucím Manningově drsnostním součiniteli v hlavní stoce území se zvyšuje rozdíl v aritmetickém průměru mezi simulacemi obou schematizací modelu pro dešťové průtoky. To může mít v důsledku negativní vliv na celkovou bilanci objemů.

V případě splaškových průtoků je rozdíl mezi křivkami skoro stejný a výrazně se nezvyšuje s rostoucím Manningově drsnostním součiniteli v hlavní stoce.

4.3.2 Medián

Porovnání křivek mediánu v kapitole (7.2.1.2) všech simulací obou schematizací modelu se dospělo k těmto závěrům:

- Porovnání trendu schematizací modelu
 - Ve všech případech křivky obou schematizací mají téměř stejný trend s minimálními odchylkami
- Vývoj křivek v závislosti se zvyšováním Manningově drsnostním součiniteli potrubí.
 - Všechny křivky mediánu z dešťových průtoků mají podobný trend. Od průtoku zhruba $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ stoupá křivka do $0,2$ až $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$. Zde se lomí a zase zvolna klesá.
 - Křivky mediánu obou schematizací modelu ze splaškového průtoku mají souběžný vodorovný trend a nejsou závislé na Manningově drsnostním součiniteli potrubí.

Hodnoty mediánu naznačují, že výsledky obou schematizací si udržují střední hodnoty v podobném rozmezí a dávají dobrou shodu v závislosti na změně Manningova drsnostního součinitele na hlavní stoce území.

4.3.3 Minimum

Porovnáním křivek minima v kapitole (7.2.1.3) všech simulací obou schematizací modelu se dospělo k těmto závěrům:

- Trend křivek minima v závislosti se zvyšováním Manningova drsnostního součinitele potrubí.
 - Křivky simulací 2 až 6 vykazují nezávislost na změnách Manningově drsnostním součiniteli potrubí.
 - Křivky simulací 1 obou schematizací modelu vykazují závislost na zvyšování Manningova drsnostního součinitele potrubí do hodnoty $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, odkud mají podobný trend jako zmíněné simulace 2 až 6.
- Porovnání trendu schematizací modelu
 - Obě křivky simulace 1 mají téměř identický trend
 - Křivky simulací 2 až 6 obou schematizací modelu nemají společný trend a vykazují velkou nestabilitu.

Hodnoty minima ukazují, že hodnoty průtoku do $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ nemají shodný trend a jsou velice nahodilé. Od průtoku $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ se trend průtoku sjednocuje a je stabilní.

4.3.4 Maximum

Porovnáním křivek maxima v kapitole (7.2.1.3) všech simulací obou schematizací modelu se dospělo k těmto závěrům:

- Porovnání trendu schematizací modelu
 - Ve všech případech je přibližná shoda trendu křivek obou schematizací modelu.
 - U křivek simulace 1, 2, 3 a 5 dochází k překřížení linií grafu.
- Trend křivek maxima v závislosti se zvyšováním Manningova drsnostního součinitele potrubí.
 - Všechny křivky vykazují závislost na zvyšování Manningova drsnostního součinitele potrubí.

Hodnoty maxima ukazují, že obě schematizace modelu podávají velice podobné výsledky maxim i přes velkou změnu Manningova drsnostního součinitele na hlavní stoce území.

4.3.5 Směrodatná odchylka

Porovnáním křivek směrodatné odchylky v kapitole (7.2.1.5) všech simulací obou schematizací modelu se dospělo k těmto závěrům:

- Porovnání trendu schematizací modelu
 - Ve všech případech je přibližná shoda trendu křivek obou schematizací modelu.
- Trend křivek minima v závislosti se zvyšováním Manningova drsnostního součinitele potrubí.
 - Všechny křivky vykazují závislost na zvyšování Manningova drsnostního součinitele potrubí.

Hodnoty směrodatné odchylky ukazují dobrou shodu výsledků obou schematizací modelu.

4.3.6 Kvantil

Porovnáním křivek kvantilu 10%, 25%, 75%, 90% a 95% v kapitole (7.2.1.6) všech simulací obou schematizací modelu se dospělo k těmto závěrům:

- Porovnání trendu schematizací modelu
 - Křivky z dešťových průtoků pro kvantil 10%, 25% a 75% vykazují dobrou shodu ve svých trendech.

- Křivky z dešťových průtoků pro kvantil 90% a 95% se zvyšující Manningova drsnostního součinitele v potrubí vykazují zvětšující se rozdíly.
- Všechny křivky ze splaškového průtoku mají stejný trend.
- Trend křivek kvantilu v závislosti se zvyšováním Manningova drsnostního součinitele potrubí.
 - Trend křivek z dešťových průtoků kvantilu 10%, 25% a 75% vykazují nezávislost na změnách Manningova drsnostního součinitele potrubí.
 - Trend křivek z dešťových průtoků kvantilu 90% a 95% vykazují závislost na zvyšování Manningova drsnostního součinitele potrubí.
 - Trend křivek ze splaškového průtoku pro všechny kvantily vykazuje nezávislost na změnách Manningova drsnostního součinitele potrubí.

4.4 Schematizace

Z předešlých kapitol statistického vyhodnocení vyplývá, že oba modely podávají relativně podobná data v závislosti na Manningova drsnostního součinitele potrubí, ale je důležité respektovat rozdílné trendy hodnot v celkových objemech a hodnotách horního kvantilu (90 a 95%).

Z *Tabulky 6* je dobře znát výrazná úspora výpočetního času a objemu dat výsledků zjednodušeného modelu oproti base modelu.

Tabulka 6 – Porovnání doby trvání výpočtu a velikosti výsledkového souboru simulací dvou schematizací modelu (Kučera, 2016)

jméno simulace	Schematizovaný model		Detailní model		Rozdíl	
	délka výpočtu [mm:ss]	velikost výsledkového souboru [MB]	délka výpočtu [mm:ss]	velikost výsledkového souboru [MB]	délka výpočtu [%]	velikost výsledkového souboru [%]
E02	0:03	3,56	0:40	39,60	7,50	8,99
E05	0:05	4,85	1:27	67,30	5,75	7,21
E10	0:04	4,85	1:25	67,30	4,71	7,21
kal_spl	0:11	10,3	3:39	143,00	5,02	7,20
kal_dest	0:04	4,33	1:15	60,2	5,33	7,19
ver_dest	0:05	5,23	1:35	72,70	5,26	7,19

5 Závěr

Práce se zabývá schematizací území s kanalizační sítí v srážkovo-odtokovém modelu urbanizovaného povodí a modelováním změn v Manningova drsnostního součinitele potrubí na hlavní stoce, která odvádí většinu odpadních vod. Vychází z koncepčního Generelu odvodnění hlavního města Prahy, zpracovaného v letech 1999–2001, a z detailního Generelu odvodnění hlavního města Prahy, zpracovaného v letech 2002–2013, pro Pražskou vodohospodářskou společnost.

Před samotným zhodnocením simulačních modelů, byl proveden výpočet hydraulických veličin pro zvolené kanalizační profily a materiály v závislosti na změnách Manningova drsnostního součinitele potrubí v doporučeném rozmezí z Tabulka 1 (Krejčí & kolektiv, 2002). Zde byly hlavně sledovány změny v proudění v potrubí z důvodu možného vzniku fenoménu *vodní skok*, který drasticky snižuje kapacitu potrubí v nepřímé úměře k reálné Manningova drsnostního součinitele potrubí.

Pro vyhodnocení schematizace modelu a jeho citlivost na změnu Manningova drsnostního součinitele bylo zvoleno území Bohnického sběrače, kmenové stoky „F“ (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013) ve dvou schematizovaných úrovních. První úroveň, s názvem „base“, byla modelována v podrobnosti všech zaměřených kanalizačních šachet, potrubí a objektů bez uličních vpustí a přípojek, povodí v podrobnosti části uličních bloků ve spádové oblasti jednotlivých kanalizačních šachet. Pro tento model byla využita kalibrace a verifikace z detailního generelu odvodnění (SWECO Hydroprojekt a.s., 2013).

Druhá úroveň, s názvem „zjednodušeno“ byla modelována v podrobnosti hlavních stok území, významných kanalizačních šachet a objektů, povodí v podrobnosti velkých územních celků příslušících k jednotlivým stokám. Pro tento model byla vypracována nová kalibrace a verifikace pro stejné časové údobí jako předešlý model.

Pro porovnání obou modelů bylo zvoleno celkem šest zatěžovacích stavů, každý se sadou simulací pro zvolené hydraulické drsnosti hlavního potrubí. Pět zatěžovacích stavů mělo základní splaškový průtok a zachycenou dešťovou srážku v řešeném povodí. Reprezentovaly škálu vyšších průtoků kanalizační sítí. Šestý zatěžovací stav měl jen splaškový průtok bez jakéhokoliv dešťových srážek. Reprezentoval minimální průtoky kanalizační sítí.

Z vyhodnocení celkem 234 simulací (6 zatěžovacích stavů po 39 hodnotách Manningova drsnostního součinitele) vyplývá, že oba modely mají relativně podobné výsledky. Je ale třeba dbát na způsob využití a zamýšlenou přesnost výsledků, které chceme dosáhnout. Hlavní rozdíly mezi modely plynou z celkového objemu a menší přesnosti v horních kvantilech (90 – 95%) pro zatěžovací stavy s dešťovými srážkou neboli vyššími průtoky kanalizační sítě. Naopak zatěžovací stav jen se splaškovými průtoky neboli malými průtoky kanalizační sítě, vykazuje dobrou shodu obou modelů ve všech sledovaných atributech.

Zjednodušený model je tedy za výše zmíněných podmínek použitelný místo detailního jako okrajová podmínka větších modelů nebo bilance celého povodí a má výrazně příznivější simulační časy a objemy dat.

Na závěr je důležité zmínit, že oba modely nepracují s globálně zadanými lokálními ztrátami v kanalizačních šachtách. V případě počítání s těmito lokálními ztrátami bude rozdíl mezi modely mnohem vyšší. Tento rozdíl plyne z faktu, že použitý detailní model má celkem 1976 uzlů a zjednodušený model má celkem pouhých 67 uzlů. V tomto případě by se musela udělat nová metodika, zabývající se rozdělením těchto lokálních ztrát do ztrát tření ve spojeném potrubí.

6 Citovaná literatura

- Abbott, M. B. (1980). A modelling system for the design and operation of storm-sewer networks. *Computation hydraulics - volume 1*, 11-39.
- Beven K. (2001). *Rainfall runoff modelling*. London.
- Beven K., Binley A.M. . (1992). *The future of distributed models*.
- DHI a.s. (2008). *MIKE URBAN - Collection system user guide*.
- DHI a.s. (2011). *Mouse pipe flow - reference manual*. DHI a.s.
- DHI a.s. (2011). *Mouse runoff - reference manual*. DHI a.s.
- Forrester, K. (2001). *Flow in pipes*. American Society of Civil Engineers.
- Ghassan, A. (1992). *Matematické modelování hydraulického rázu*. Praha: ČVUT - fakulta stavební.
- Gustavo Perrusquía, S. L. (1987). Flow Capacity of sewer with sediment bed. *XXII Congress and Fourth international conference on urban storm drainage*, (pp. 311 - 349). Airh (France).
- Havlík, V., Ingeduld, P., & Stanislav Vaněček, E. Z. (1992). *Matematické modelování neustáleného proudění*. Praha: ČVUT v Praze.
- Hydroprojekt CZ a.s. (1999). Generel odvodnění hlavního města Prahy - koncepční část. Praha.
- Charles C. S. Song, M. A. (1983, 11). Transient mixed-flow models for storm sewers. *Journal of Hydraulic Engineering*, pp. 1487 - 1503.
- Cheremisinoff, N. P., Cheremisinoff, P. N., Cheng, S. L., & al, e. (1986). *Civil engineering Practise - 2 Hydraulics Mechanics*. Lanchaster: Technomic Publishing compeny inc.
- Chow Ven Te, e. a. (1988). Design flows. In C. V. al., *Applied hydrology* (pp. 493 - 519). New York.
- Chow, V. T., & kol. (1988). *Design flows*.
- Krejčí, V., & kolektiv. (2002). *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, s.r.o.
- Marsalek, J. (1985). Head losses at sewer junction manholes. 1150-1155.

- Marsalek, J., & Greck, B. (1988). Head losses at manholes with a 90° bend. *Canalitazion and civil engineering - vol. 15*, 851-858.
- Puš V. (2011). *Popisná statistika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
- PVK a.s. (2013). *Srážková data 2002 - 2012*. Praha.
- PVK a.s. (2016). GIS Pražské stokové sítě. hl.m. Praha, Česká Republika.
- PVK as. (2016). Průzkum stokové sítě. Praha, Česká Republika.
- PVS, a.s. (říjen 2015). *Městské standadry vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy*. Získáno únor 2016, z <http://www.pvs.cz/>.
- SWECO Hydroprojekt a.s. (2013). Detailní generel hlavního města Prahy. Praha, Česká Repuublika.
- Vojtěch Bareš, J. P. (2001). Rozdělení rychlostí v kruhovém profilu - srovnání matematického modelování a experimentu. 4. *Mezinánárodní konference Odpadní vody 2001*, (stránky 365 - 368). Mladá Boleslav.

7 Přílohy

7.1 Výsledky simulací

7.1.1 Hydraulické změny v potrubí

7.1.1.1 Profil DN 300 – beton

Tabulka 7 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti betonového potrubí profilu DN 300 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,01 10	0,5 84	4,199	29	0,8 12	2,928	0,005 069	3,104	3,952	3,336	4,331	0,949	bystřinné proudění
0,01 15	0,6 01	4,056	25	0,8 12	2,928	0,005 540	2,969	3,780	3,191	4,142	0,949	bystřinné proudění
0,01 20	0,6 18	3,923	29	0,8 12	2,928	0,006 032	2,845	3,623	3,058	3,970	0,949	bystřinné proudění
0,01 25	0,6 36	3,798	40	0,8 12	2,928	0,006 545	2,731	3,478	2,936	3,811	0,949	bystřinné proudění
0,01 30	0,6 53	3,681	56	0,8 12	2,928	0,007 079	2,626	3,344	2,823	3,664	0,949	bystřinné proudění

7.1.1.2 Profil DN 300 – sklolaminát

Tabulka 8 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti sklolaminátového potrubí profilu DN 300 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,00 70	0,1 23	1,354	20	0,1 48	1,066	0,001 780	0,105	1,481	0,113	1,623	0,285	bystřinné proudění
0,00 80	0,1 33	1,227	32	0,1 48	1,066	0,002 325	0,092	1,296	0,098	1,420	0,285	bystřinné proudění
0,00 90	0,1 42	1,125	84	0,1 48	1,066	0,002 943	0,081	1,152	0,088	1,263	0,285	bystřinné proudění
0,01 00	0,1 51	1,039	63	0,1 48	1,066	0,003 633	0,073	1,037	0,079	1,136	0,285	řiční proudění
0,01 10	0,1 60	0,967	64	0,1 48	1,066	0,004 396	0,067	0,943	0,072	1,033	0,285	řiční proudění

7.1.1.3 Profil DN 300 – kamenina

Tabulka 9 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti kameninového potrubí profilu DN 300 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,01 10	0,1 60	0,967	0,8 64	0,1 48	1,066	0,004 396	0,067	0,943	0,072	1,033	0,285	řiční proudění
0,01 20	0,1 68	0,905	0,7 80	0,1 48	1,066	0,005 232	0,061	0,864	0,066	0,947	0,285	řiční proudění
0,01 30	0,1 77	0,851	0,7 08	0,1 48	1,066	0,006 140	0,056	0,798	0,061	0,874	0,285	řiční proudění
0,01 40	0,1 86	0,803	0,6 45	0,1 48	1,066	0,007 121	0,052	0,741	0,056	0,812	0,285	řiční proudění
0,01 50	0,1 95	0,760	0,5 88	0,1 48	1,066	0,008 174	0,049	0,691	0,053	0,758	0,285	řiční proudění
0,01 60	0,2 04	0,721	0,5 38	0,1 48	1,066	0,009 301	0,046	0,648	0,049	0,710	0,285	řiční proudění
0,01 70	0,2 14	0,686	0,4 91	0,1 48	1,066	0,010 000	0,043	0,610	0,046	0,668	0,285	řiční proudění

7.1.1.4 Vejčitý profil 600/1050 - beton

Tabulka 10 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti betonového vejčitém potrubí profilu 600/1050 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,01 10	0,6 85	3,614	1,6 09	0,8 56	2,731	0,006 117	1,934	3,437	2,056	3,741	0,997	bystřinné proudění
0,01 15	0,7 03	3,487	1,5 26	0,8 56	2,731	0,006 686	1,850	3,288	1,967	3,579	0,997	bystřinné proudění
0,01 20	0,7 22	3,370	1,4 48	0,8 56	2,731	0,007 280	1,773	3,151	1,885	3,429	0,997	bystřinné proudění
0,01 25	0,7 41	3,260	1,3 47	0,8 56	2,731	0,007 899	1,702	3,025	1,810	3,292	0,997	bystřinné proudění
0,01 30	0,7 59	3,157	1,3 05	0,8 56	2,731	0,008 544	1,637	2,908	1,740	3,166	0,997	bystřinné proudění

7.1.1.5 Vejčítý profil 600/1050 – sklolaminát

Tabulka 11 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti sklolaminátového vejčitého potrubí profilu 600/1050 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,0070	0,529	5,158	2,689	0,856	2,731	0,002477	3,040	5,401	3,232	5,879	0,997	bystřinné proudění
0,0080	0,569	4,648	2,320	0,856	2,731	0,003236	2,660	4,726	2,828	5,144	0,997	bystřinné proudění
0,0090	0,609	4,238	2,032	0,856	2,731	0,004095	2,364	4,201	2,513	4,573	0,997	bystřinné proudění
0,0100	0,647	3,899	1,800	0,856	2,731	0,005056	2,128	3,781	2,262	4,115	0,997	bystřinné proudění
0,0110	0,685	3,614	1,609	0,856	2,731	0,006117	1,934	3,437	2,056	3,741	0,997	bystřinné proudění

7.1.1.6 Vejčítý profil 600/1050 – kamenina

Tabulka 12 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti kameninového vejčitého potrubí profilu 600/1050 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,0110	0,685	3,614	1,609	0,856	2,731	0,006117	1,934	3,437	2,056	3,741	0,997	bystřinné proudění
0,0120	0,722	3,370	1,448	0,856	2,731	0,007280	1,773	3,151	1,885	3,429	0,997	bystřinné proudění
0,0130	0,759	3,157	1,305	0,856	2,731	0,008544	1,637	2,908	1,740	3,166	0,997	bystřinné proudění
0,0140	0,798	2,968	1,174	0,856	2,731	0,009909	1,520	2,701	1,616	2,940	0,997	bystřinné proudění
0,0150	0,839	2,797	1,050	0,856	2,731	0,011000	1,419	2,521	1,508	2,744	0,997	bystřinné proudění
0,0160	0,884	2,636	0,924	0,856	2,731	0,013000	1,330	2,363	1,414	2,572	0,997	řiční proudění
0,0170	0,944	2,471	0,770	0,856	2,713	0,015000	1,252	2,224	1,331	2,421	0,997	řiční proudění

7.1.1.7 Profil DN 1000 – beton

Tabulka 13 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti betonového potrubí profilu DN 1000 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,01 10	0,5 84	4,199	1,9 29	0,8 12	2,928	0,005 069	3,104	3,952	3,336	4,331	0,949	bystřinné proudění
0,01 15	0,6 01	4,056	1,8 25	0,8 12	2,928	0,005 540	2,969	3,780	3,191	4,142	0,949	bystřinné proudění
0,01 20	0,6 18	3,923	1,7 29	0,8 12	2,928	0,006 032	2,845	3,623	3,058	3,970	0,949	bystřinné proudění
0,01 25	0,6 36	3,798	1,6 40	0,8 12	2,928	0,006 545	2,731	3,478	2,936	3,811	0,949	bystřinné proudění
0,01 30	0,6 53	3,681	1,5 56	0,8 12	2,928	0,007 079	2,626	3,344	2,823	3,664	0,949	bystřinné proudění

7.1.1.8 Profil DN 1000 – sklaminát

Tabulka 14 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti sklaminátového potrubí profilu DN 1000 (Kučera,2016)

n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,00 70	0,4 46	5,903	3,2 28	0,8 12	2,928	0,002 053	4,878	6,210	5,242	6,805	0,949	bystřinné proudění
0,00 80	0,4 81	5,346	2,7 90	0,8 12	2,928	0,002 681	4,268	5,434	4,587	5,955	0,949	bystřinné proudění
0,00 90	0,5 16	4,894	2,4 44	0,8 12	2,928	0,003 930	3,794	4,830	4,077	5,293	0,949	bystřinné proudění
0,01 00	0,5 50	4,518	2,1 63	0,8 12	2,928	0,004 189	3,414	4,347	3,669	4,764	0,949	bystřinné proudění
0,01 10	0,5 84	4,199	1,9 29	0,8 12	2,928	0,005 069	3,104	3,952	3,336	4,331	0,949	bystřinné proudění

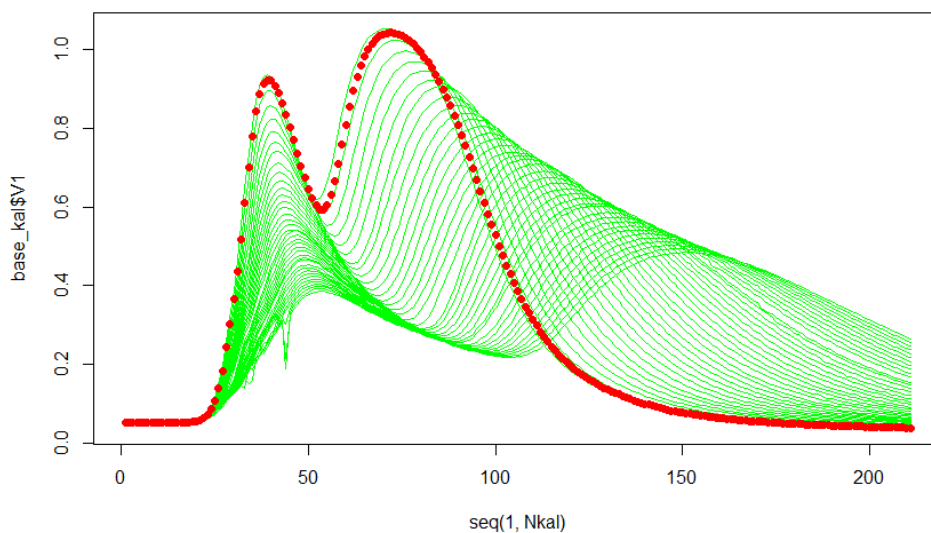
7.1.1.9 Profil DN 1000 – kamenina

Tabulka 15 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti kameninového potrubí profilu DN 1000 (Kučera,2016)

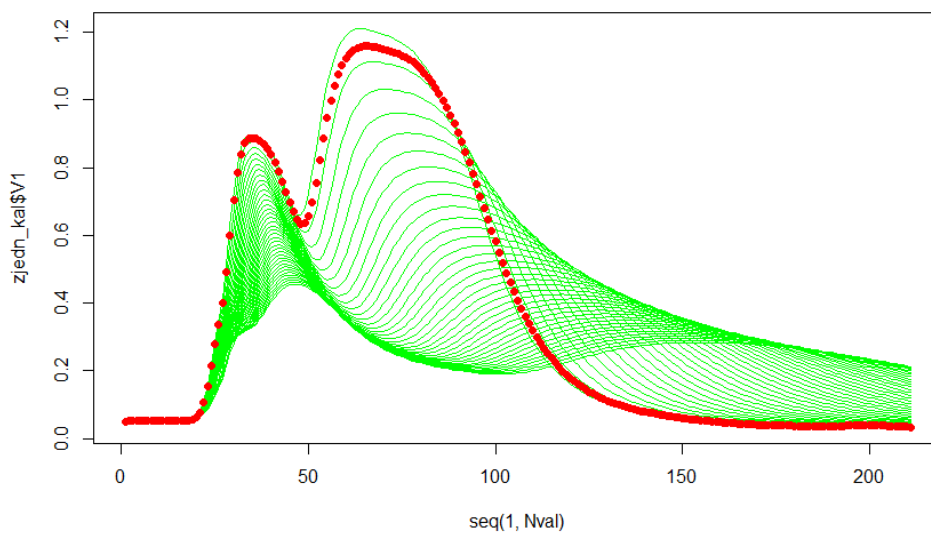
n	Rovnoměrné proudění			Kritické proudění			Kapacitní průtok		Maximální průtok			Proudění
	y0 (m)	v0 (m.s ⁻¹)	Fr (-)	yk (m)	vk (m.s ⁻¹)	ik (-)	Qkap (m ³ .s ⁻¹)	vkap (m.s ⁻¹)	Qmax (m ³ .s ⁻¹)	vQmax (m.s ⁻¹)	yQmax (m)	
0,01 10	0,5 84	4,199	1,9 29	0,8 12	2,928	0,005 069	3,104	3,952	3,336	4,331	0,949	bystřinné proudění
0,01 20	0,6 18	3,923	1,7 29	0,8 12	2,928	0,006 032	2,845	3,623	3,058	3,970	0,949	bystřinné proudění
0,01 30	0,6 53	3,681	1,5 56	0,8 12	2,928	0,007 079	2,626	3,344	2,823	3,664	0,949	bystřinné proudění
0,01 40	0,6 89	3,465	1,4 01	0,8 12	2,928	0,008 210	2,439	3,105	2,621	3,403	0,949	bystřinné proudění
0,01 50	0,7 27	3,269	1,2 60	0,8 12	2,928	0,009 425	2,276	2,898	2,446	3,176	0,949	bystřinné proudění
0,01 60	0,7 68	3,088	1,1 26	0,8 12	2,928	0,011 000	2,134	2,717	2,293	2,977	0,949	bystřinné proudění
0,01 70	0,8 16	2,915	0,9 89	0,8 12	2,928	0,012 000	2,008	2,557	2,158	2,802	0,949	říční proudění

7.1.2 Porovnání hydrogramů dvou schematizací modelu

7.1.2.1 Simulace 1

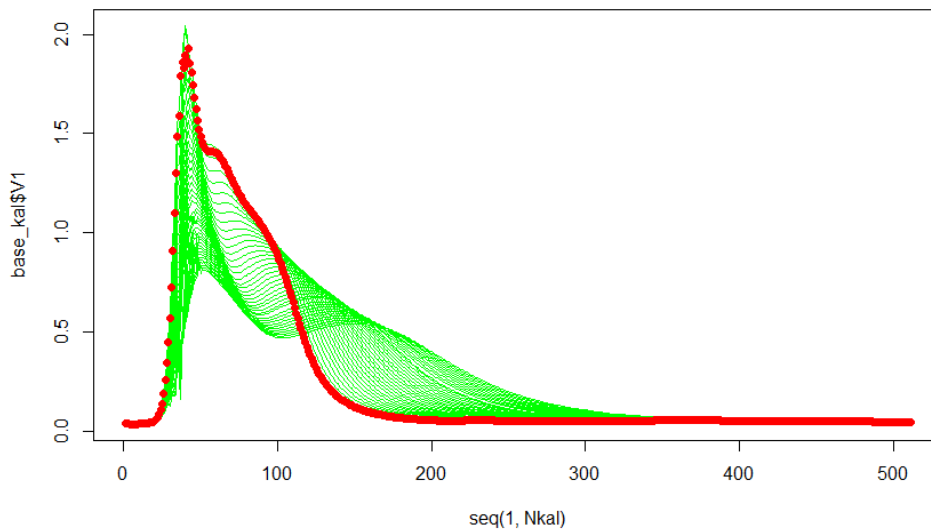


Obrázek 26 – Hydrogram odtoku simulace 1 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016)

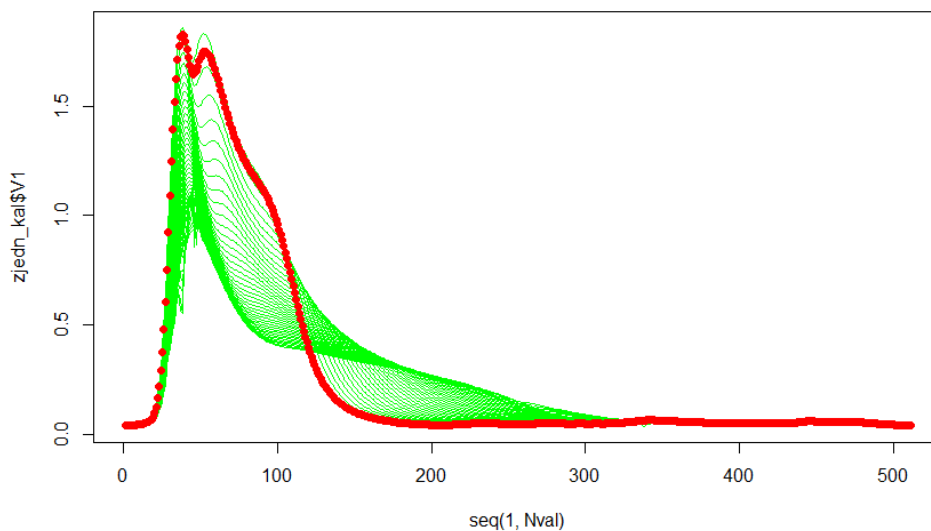


Obrázek 27 – Hydrogram odtoku simulace 1 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016)

7.1.2.2 Simulace 2

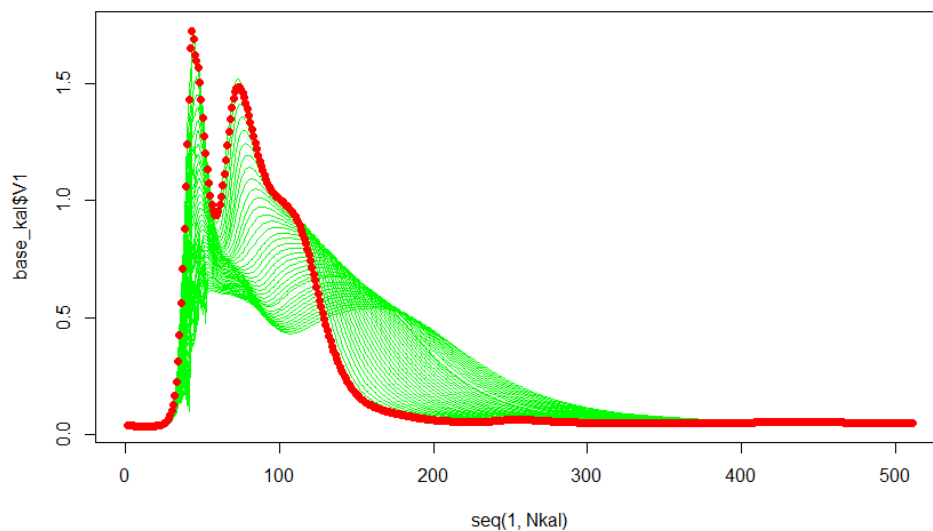


Obrázek 28 – Hydrogram odtoku simulace 2 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

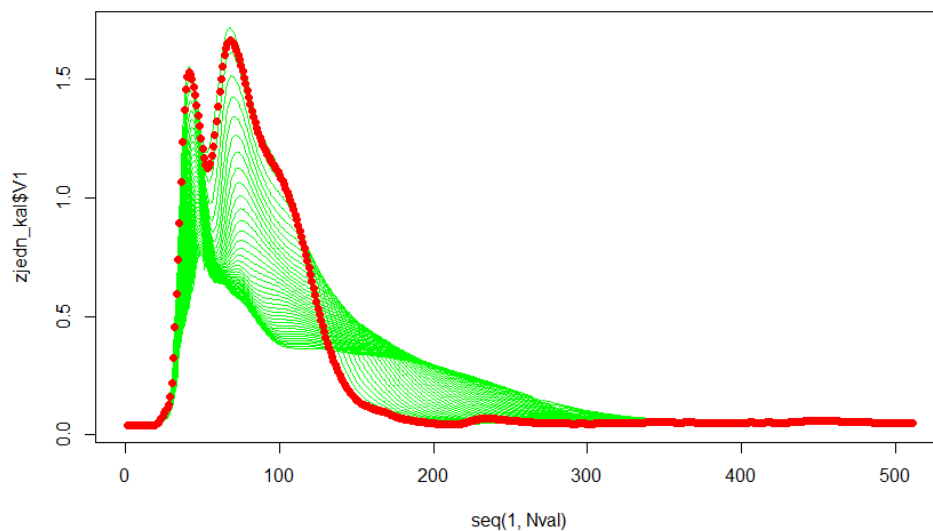


Obrázek 29 – Hydrogram odtoku simulace 2 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

7.1.2.3 Simulace 3

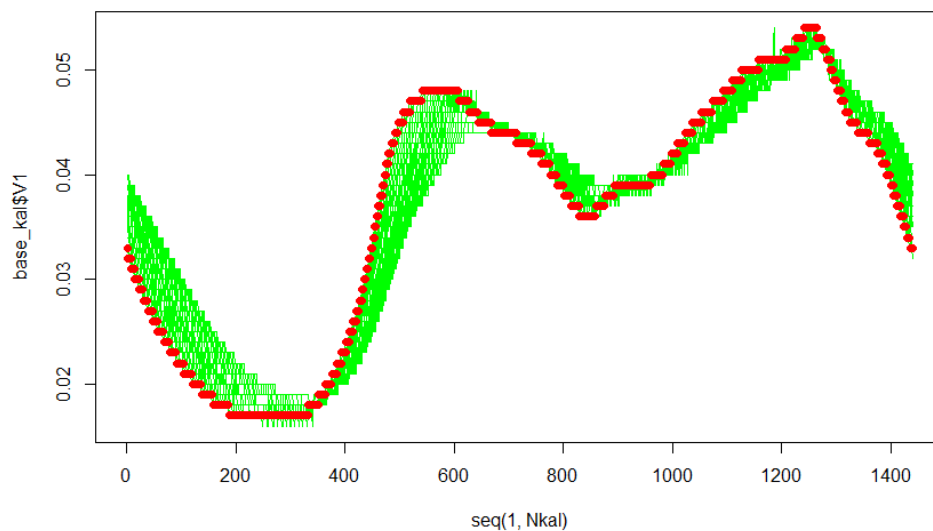


Obrázek 30 – Hydrogram odtoku simulace 3 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

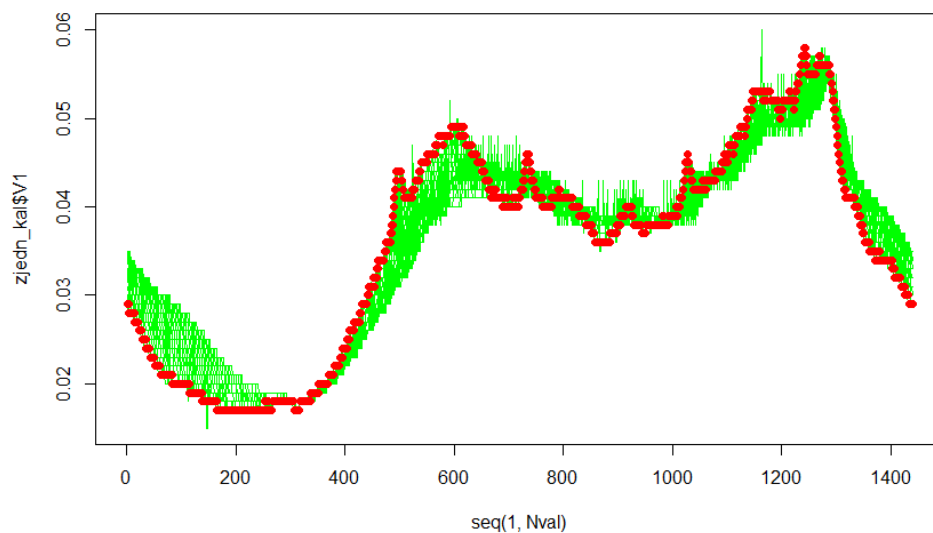


Obrázek 31 – Hydrogram odtoku simulace 3 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

7.1.2.4 Simulace 4

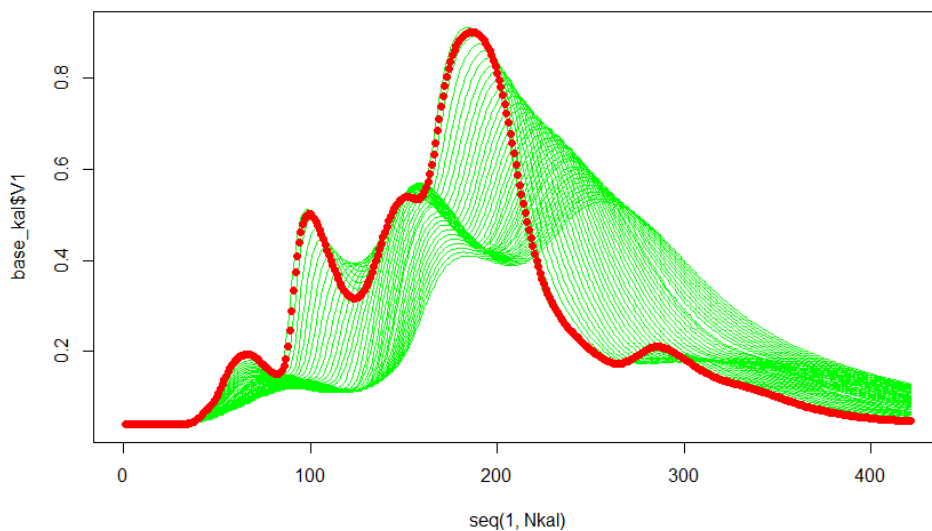


Obrázek 32 – Hydrogram odtoku simulace 4 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

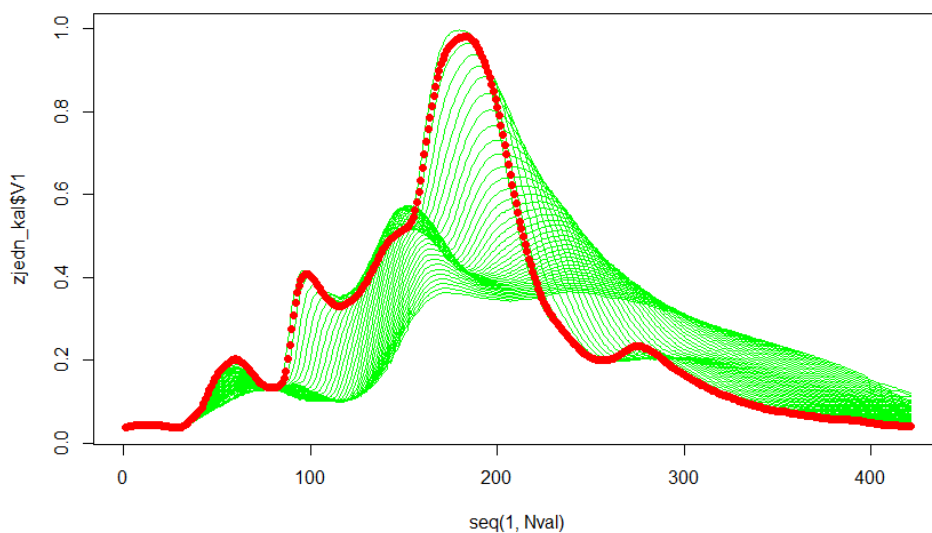


Obrázek 33 – Hydrogram odtoku simulace 4 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

7.1.2.5 Simulace 5

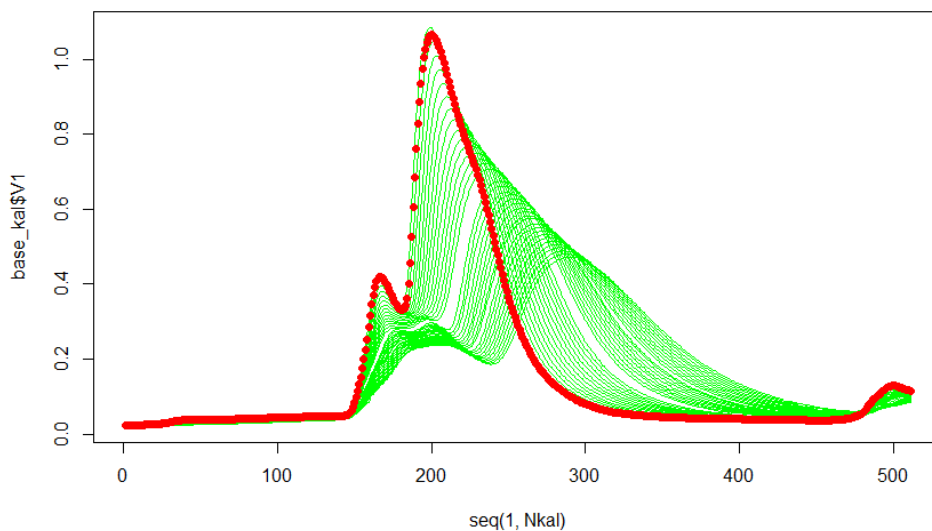


Obrázek 34 – Hydrogram odtoku simulace 5 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016)

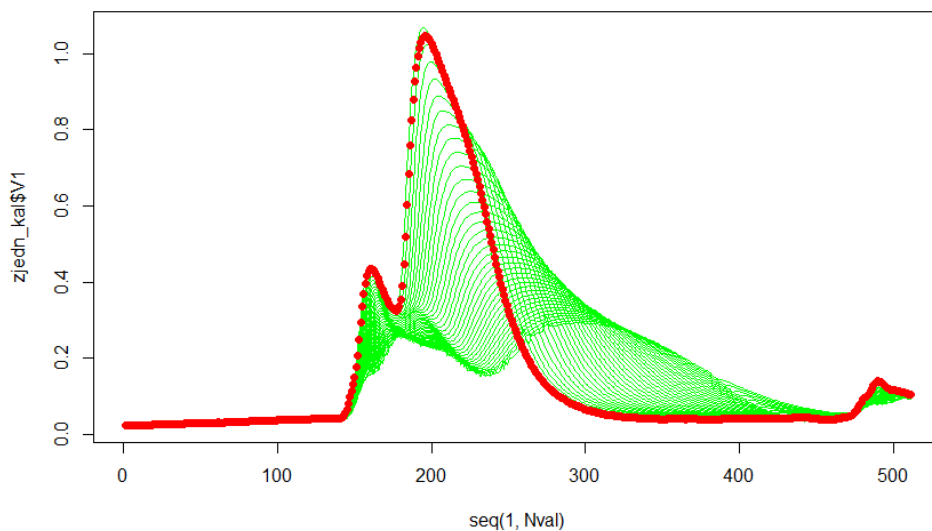


Obrázek 35 – Hydrogram odtoku simulace 5 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016)

7.1.2.6 Simulace 6



Obrázek 36 – Hydrogram odtoku simulace 6 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

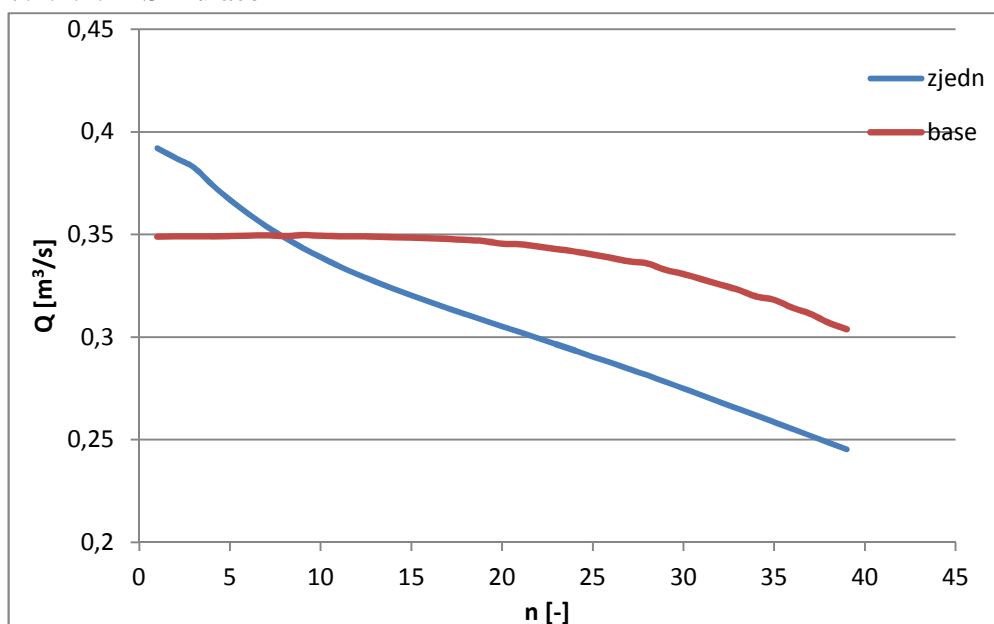


Obrázek 37 – Hydrogram odtoku simulace 6 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m³/s] (Kučera, 2016)

7.2 Statistické vyhodnocení

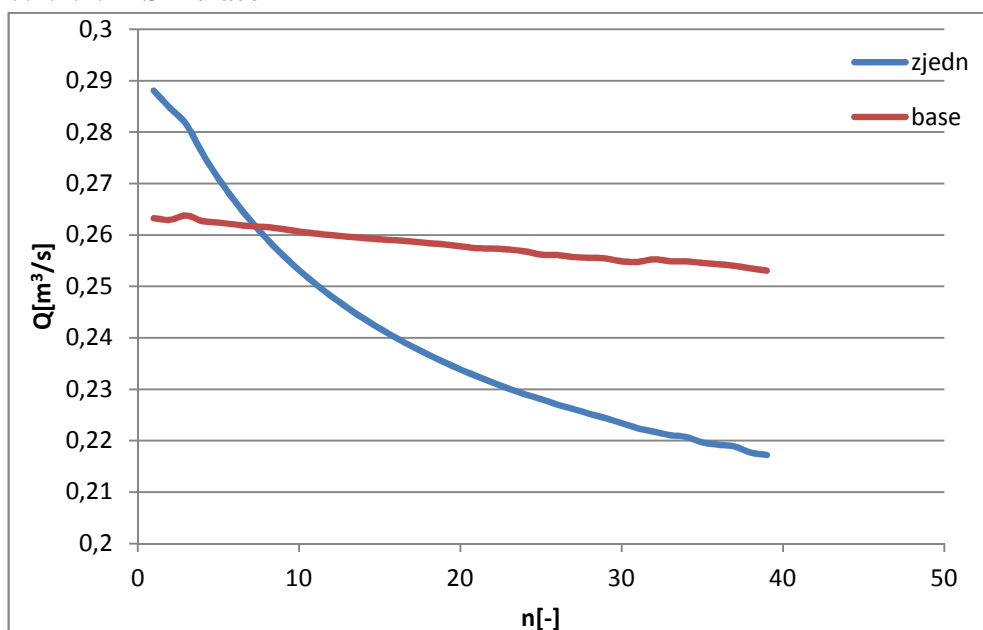
7.2.1.1 Porovnání aritmetických průměrů průtoku

7.2.1.1.1 Simulace 1



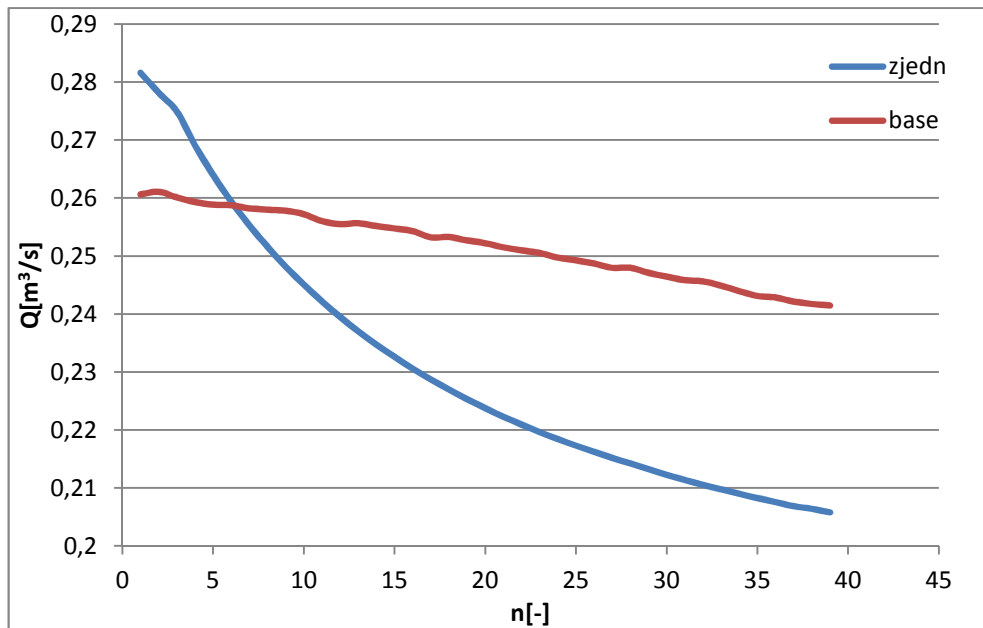
Obrázek 38 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)

7.2.1.1.2 Simulace 2



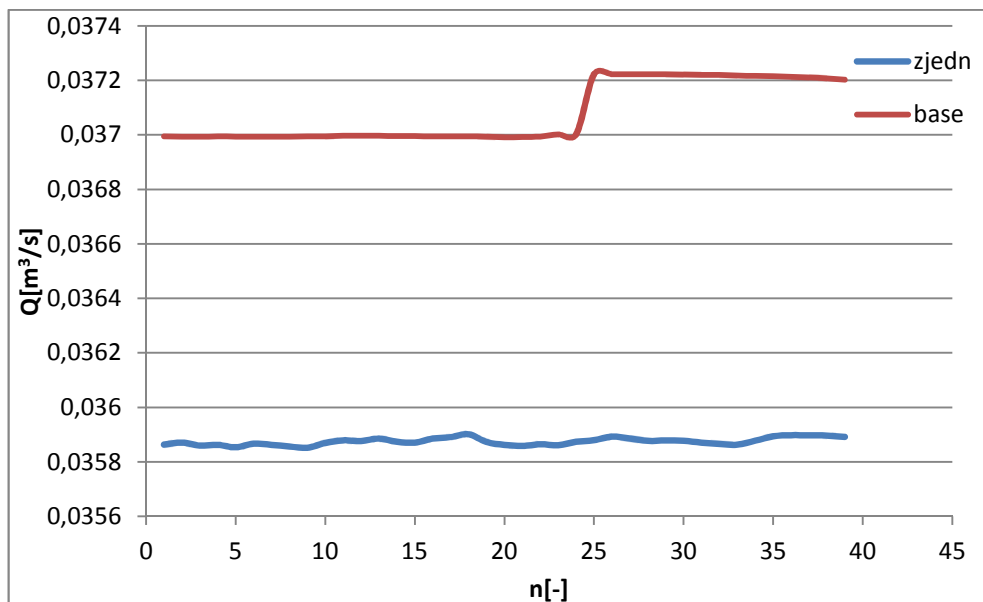
Obrázek 39 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)

7.2.1.1.3 Simulace 3



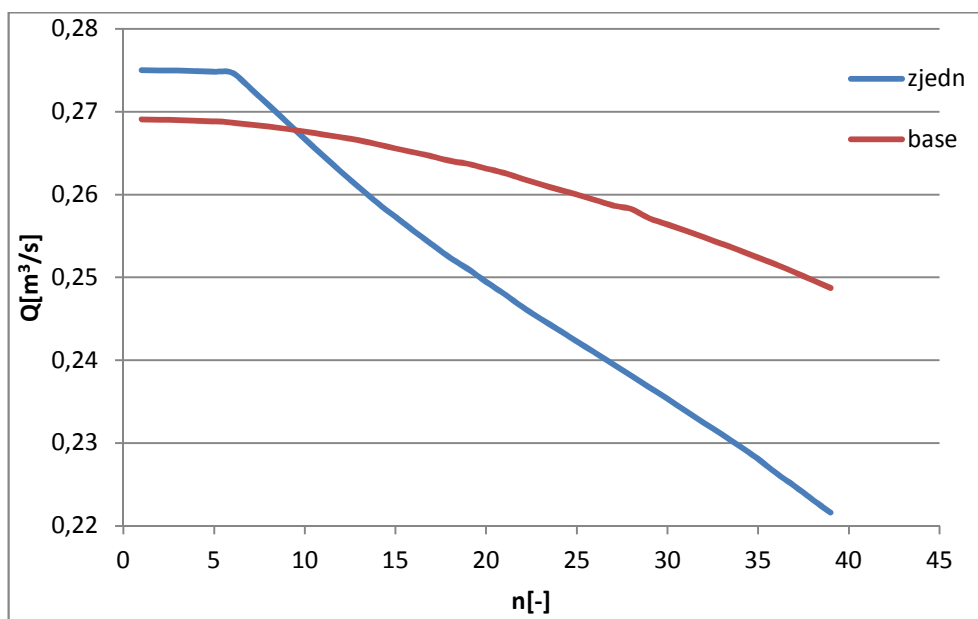
Obrázek 40 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)

7.2.1.1.4 Simulace 4



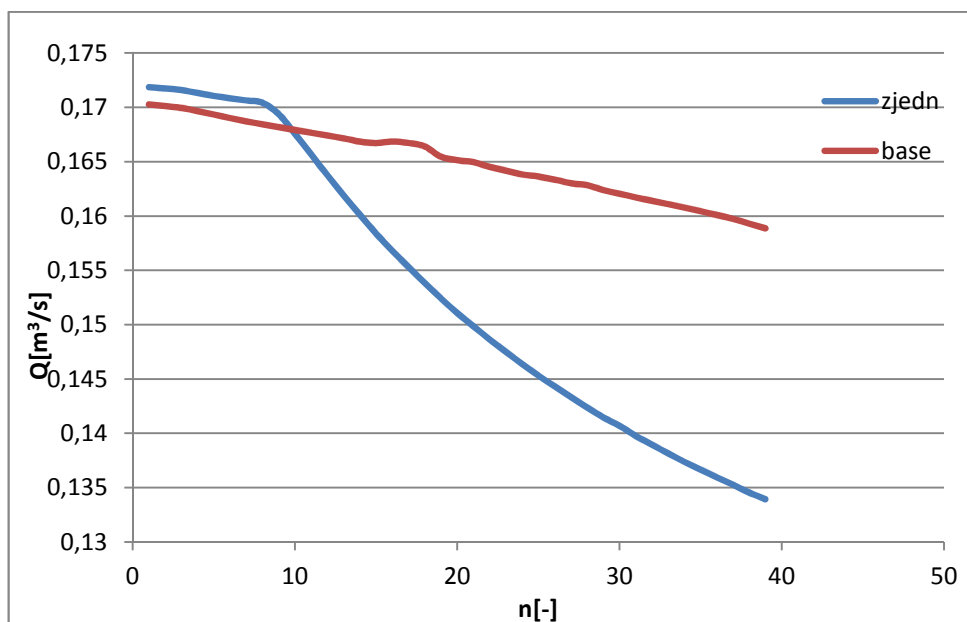
Obrázek 41 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)

7.2.1.1.5 Simulace 5



Obrázek 42 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)

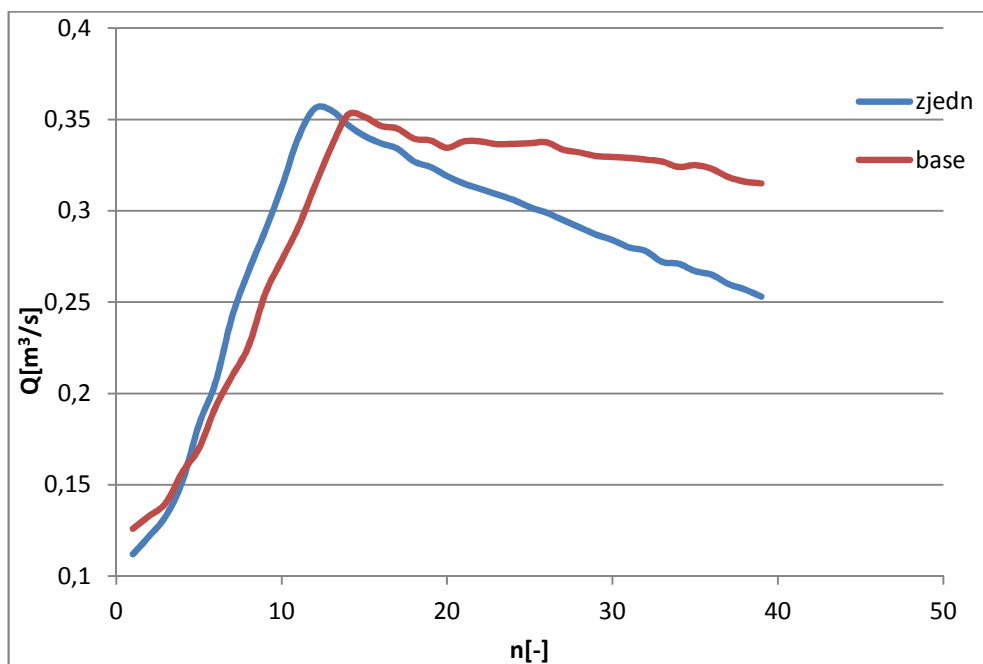
7.2.1.1.6 Simulace 6



Obrázek 43 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)

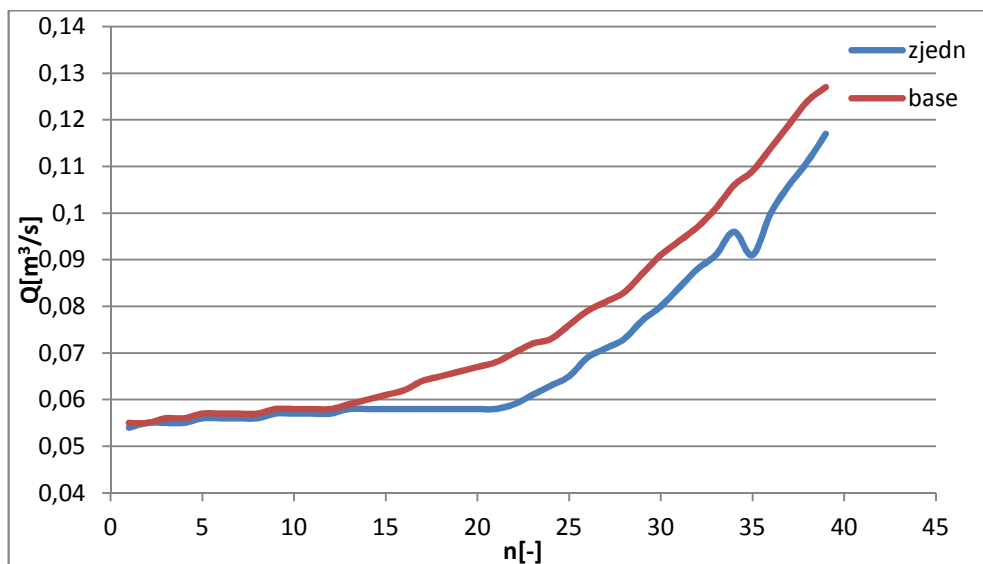
7.2.1.2 Porovnání mediánu průtoku

7.2.1.2.1 Simulace 1



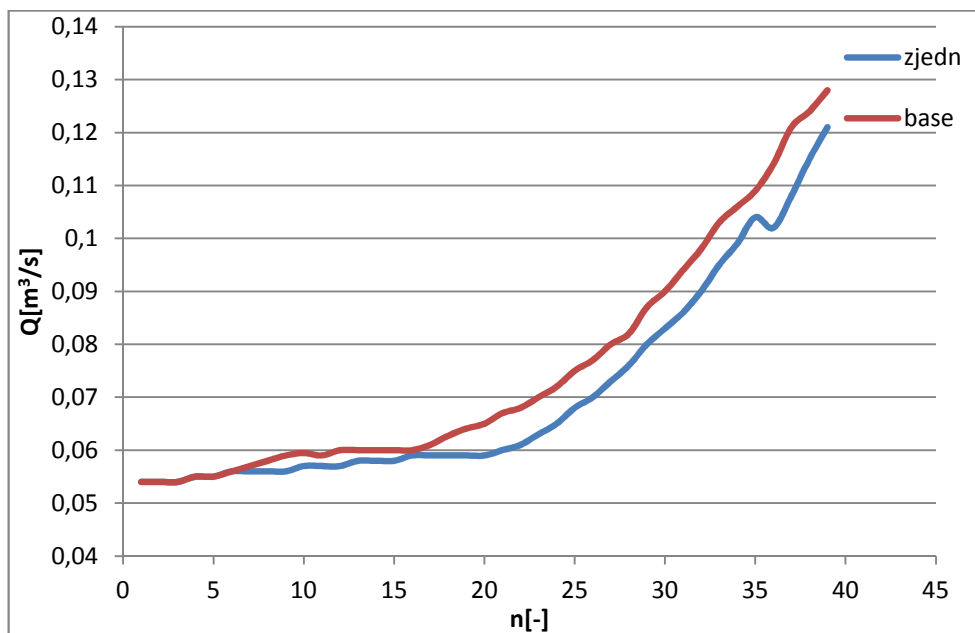
Obrázek 44 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)

7.2.1.2.2 Simulace 2



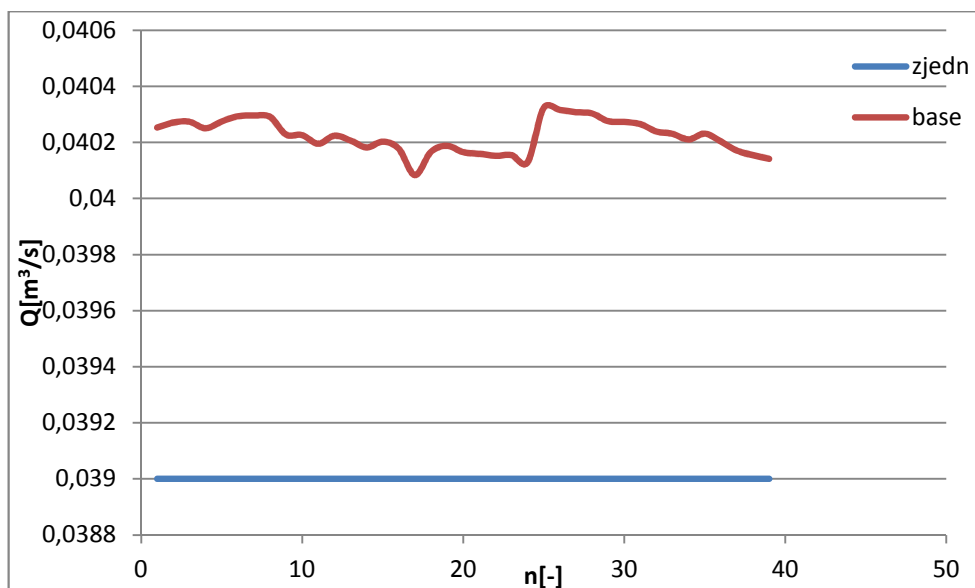
Obrázek 45 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)

7.2.1.2.3 Simulace 3



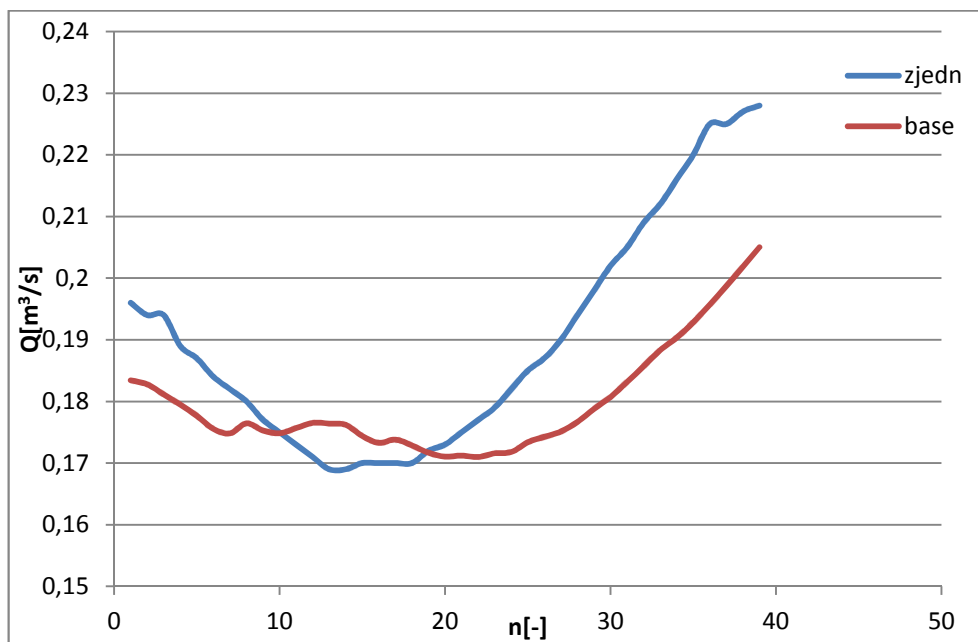
Obrázek 46 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)

7.2.1.2.4 Simulace 4



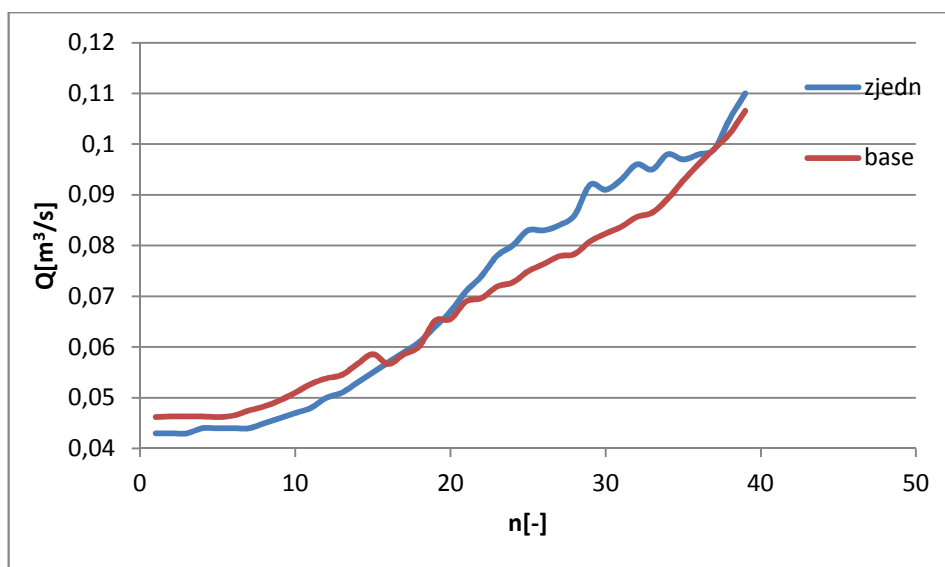
Obrázek 47 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)

7.2.1.2.5 Simulace 5



Obrázek 48 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)

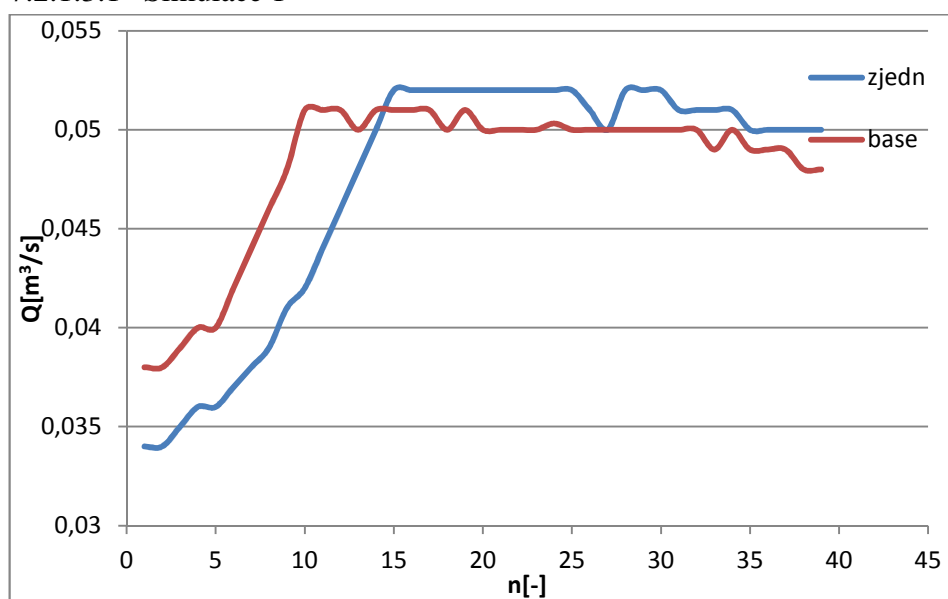
7.2.1.2.6 Simulace 6



Obrázek 49 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)

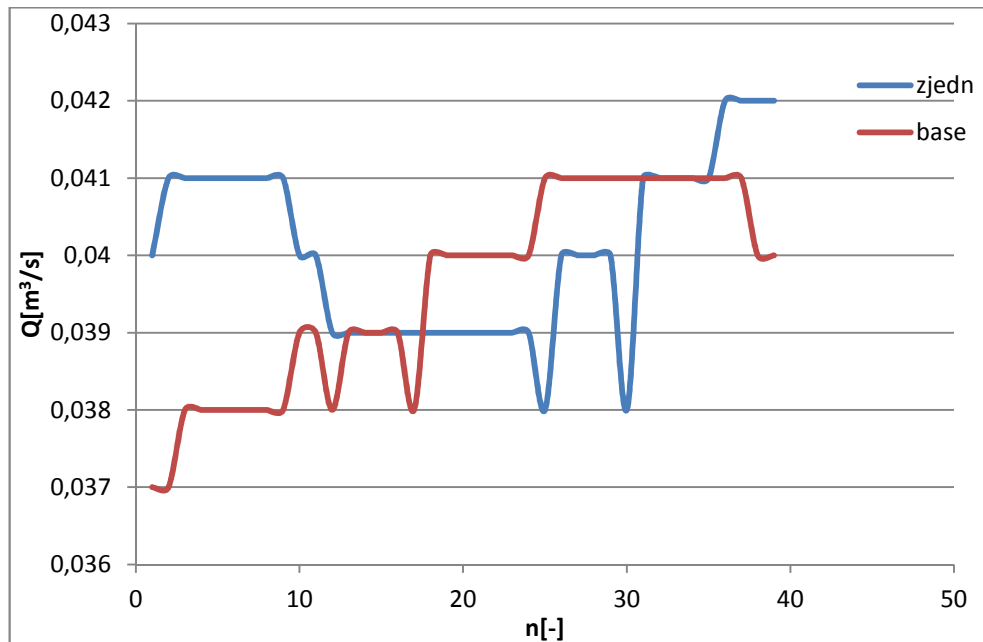
7.2.1.3 Porovnání minima průtoku

7.2.1.3.1 Simulace 1



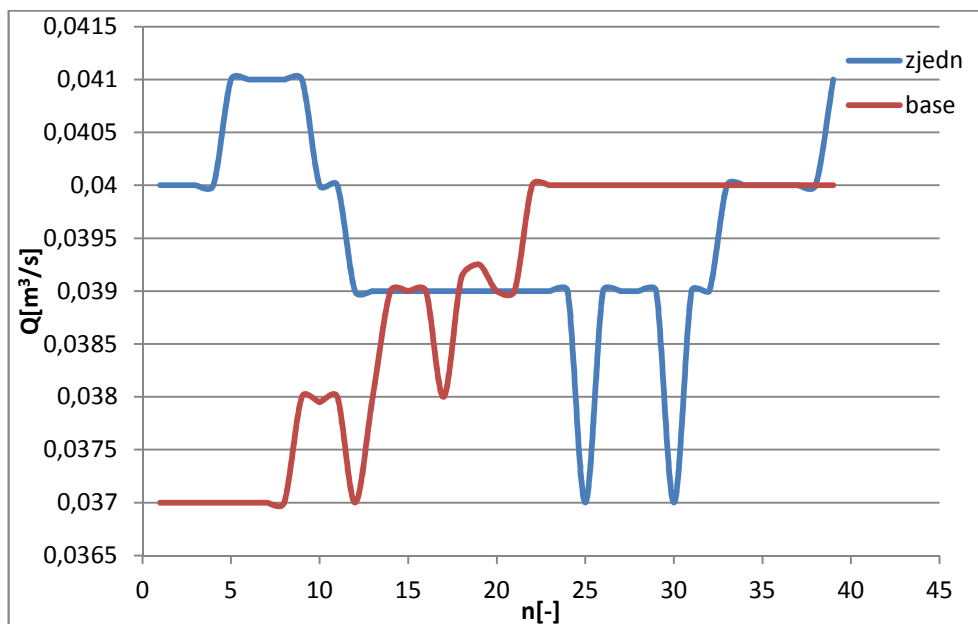
Obrázek 50 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)

7.2.1.3.2 Simulace 2



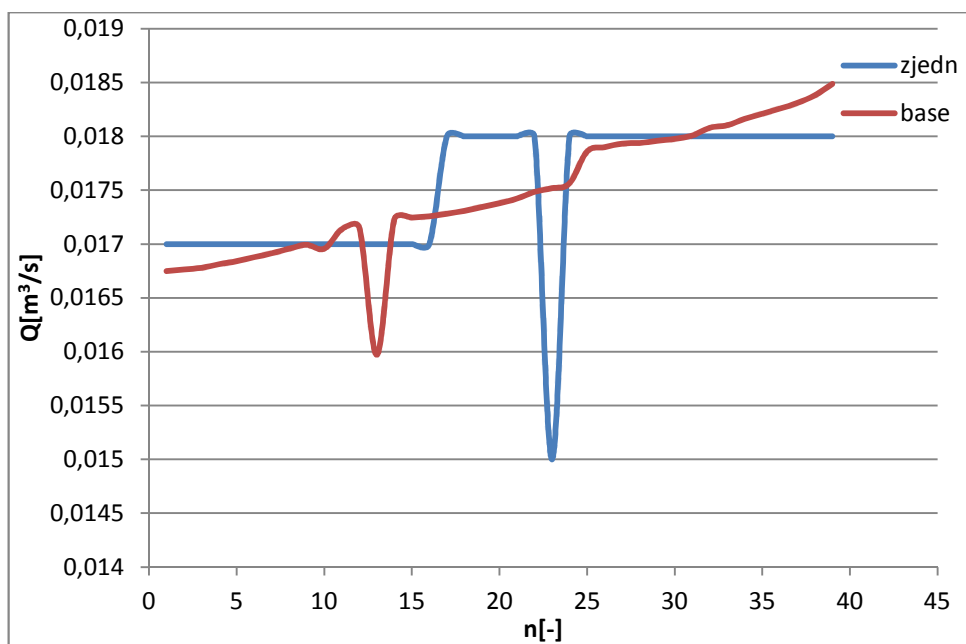
Obrázek 51 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)

7.2.1.3.3 Simulace 3



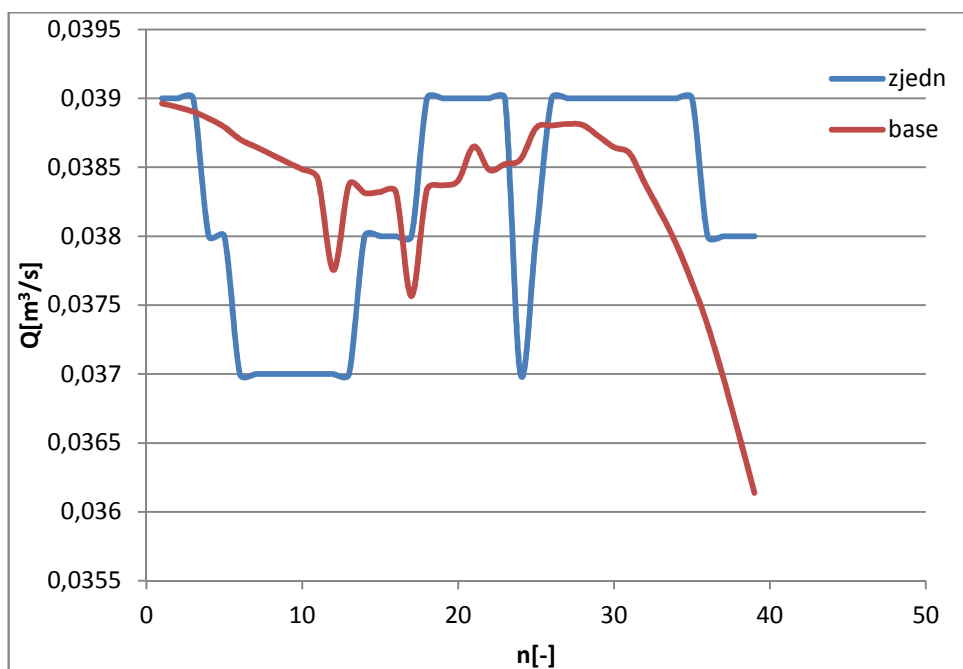
Obrázek 52 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)

7.2.1.3.4 Simulace 4



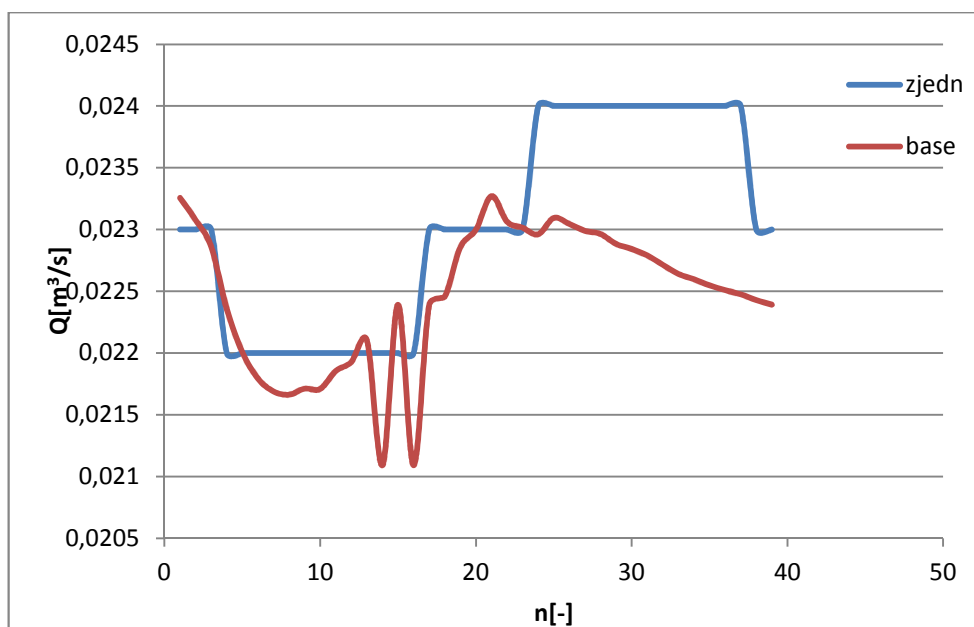
Obrázek 53 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)

7.2.1.3.5 Simulace 5



Obrázek 54 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)

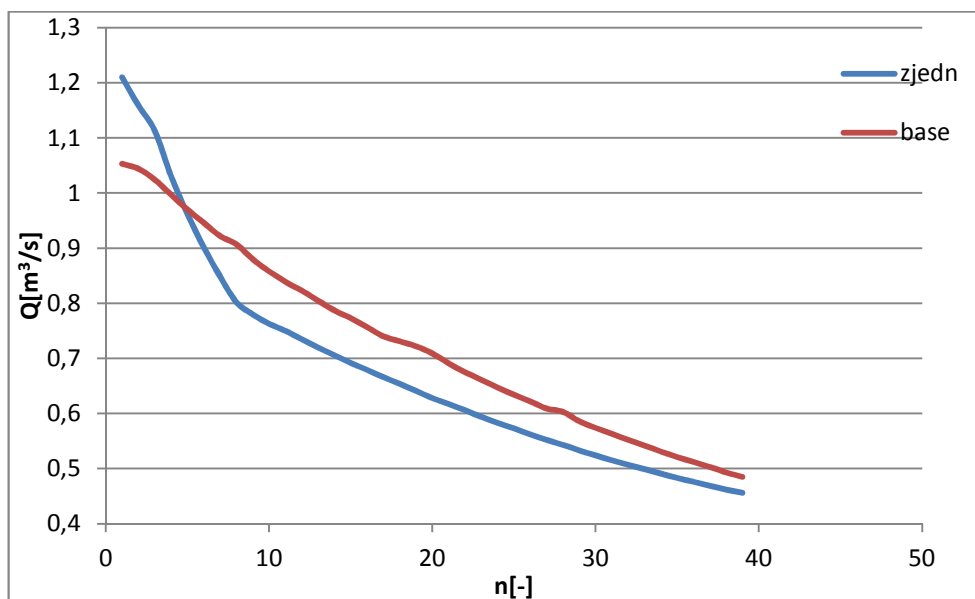
7.2.1.3.6 Simulace 6



Obrázek 55 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)

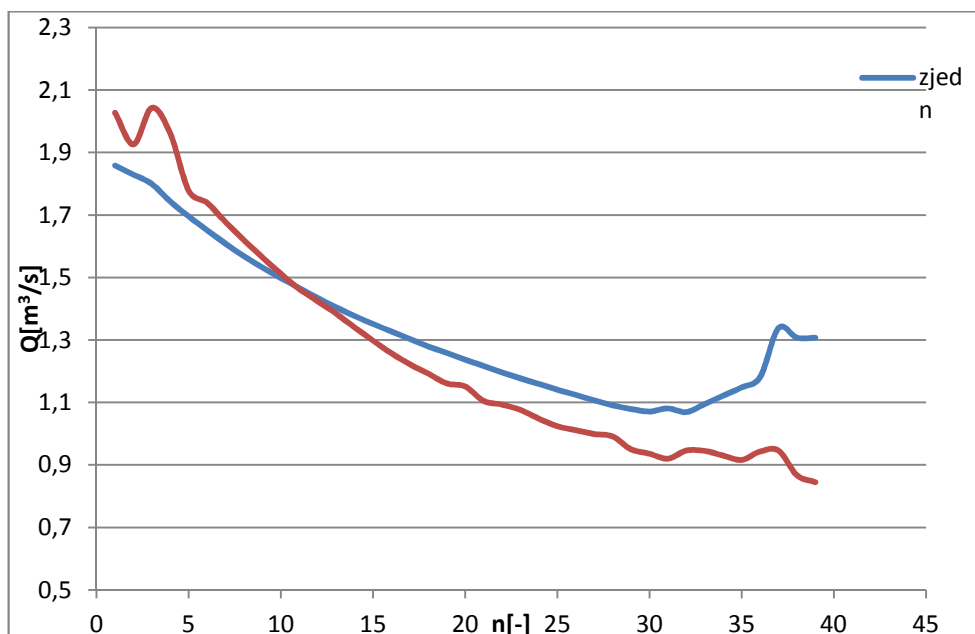
7.2.1.4 Porovnání maxima průtoku

7.2.1.4.1 Simulace 1



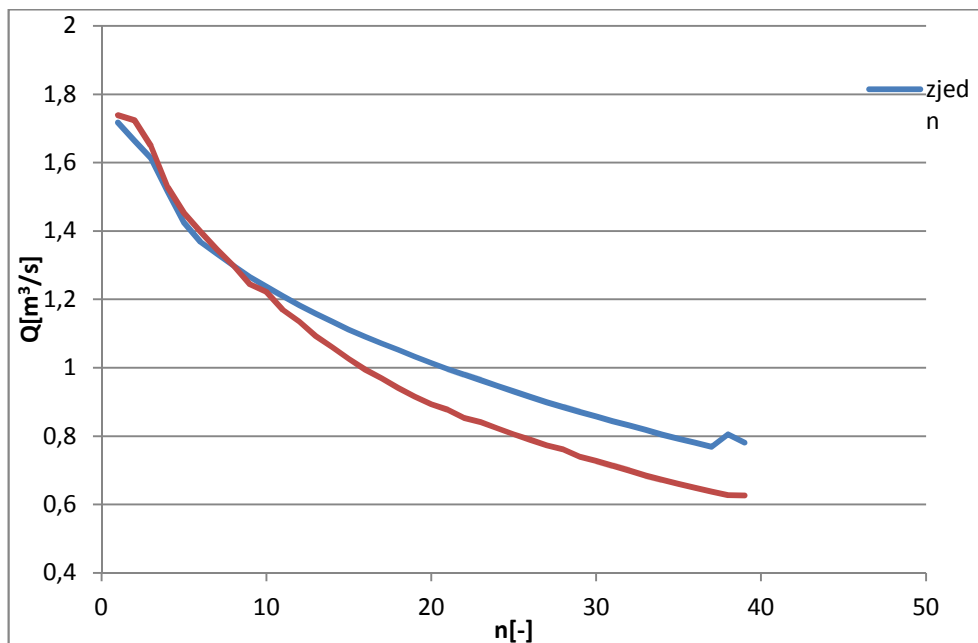
Obrázek 56 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)

7.2.1.4.2 Simulace 2



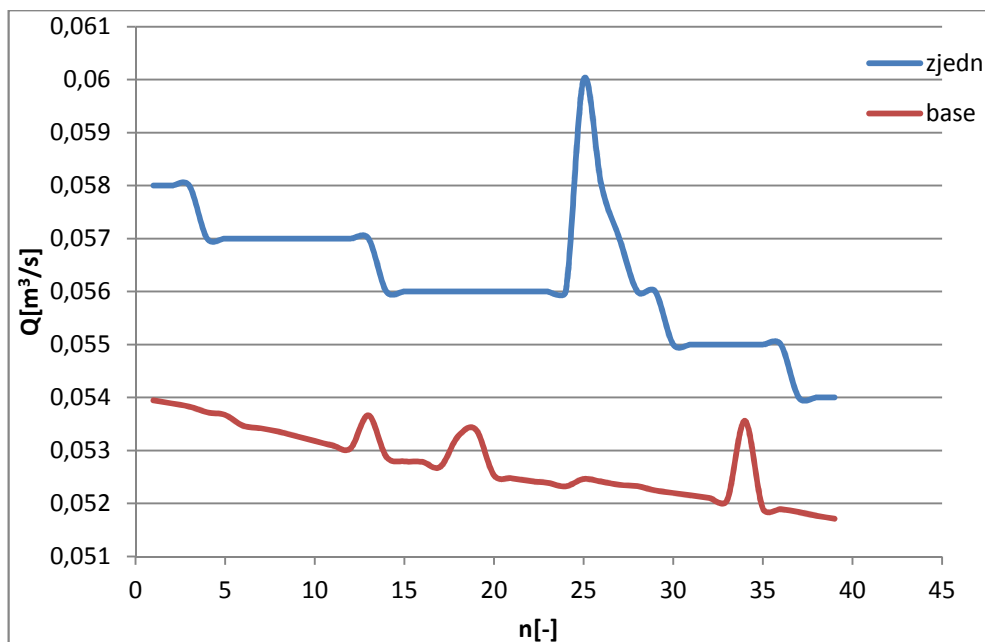
Obrázek 57 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)

7.2.1.4.3 Simulace 3



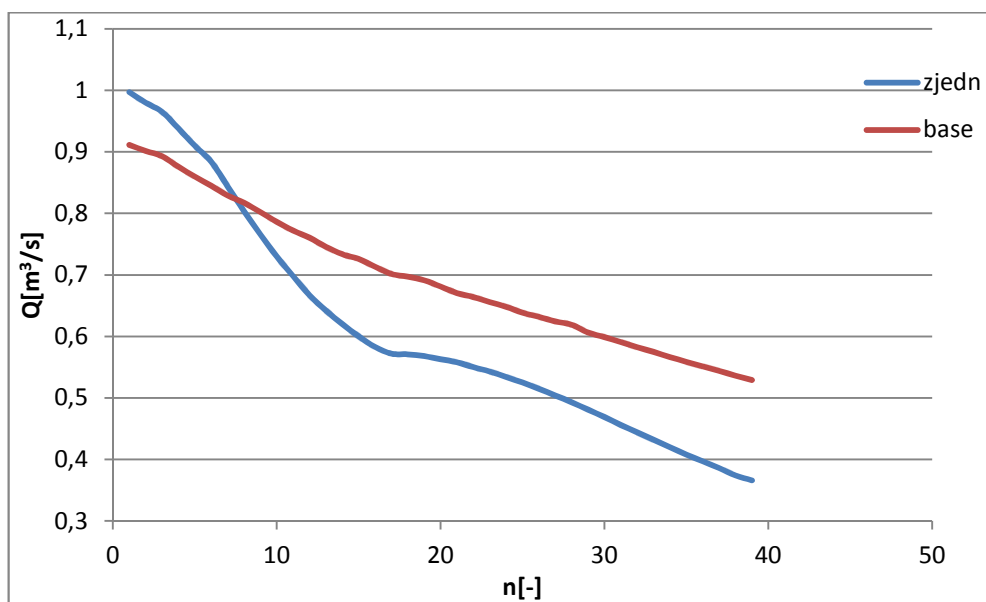
Obrázek 58 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)

7.2.1.4.4 Simulace 4



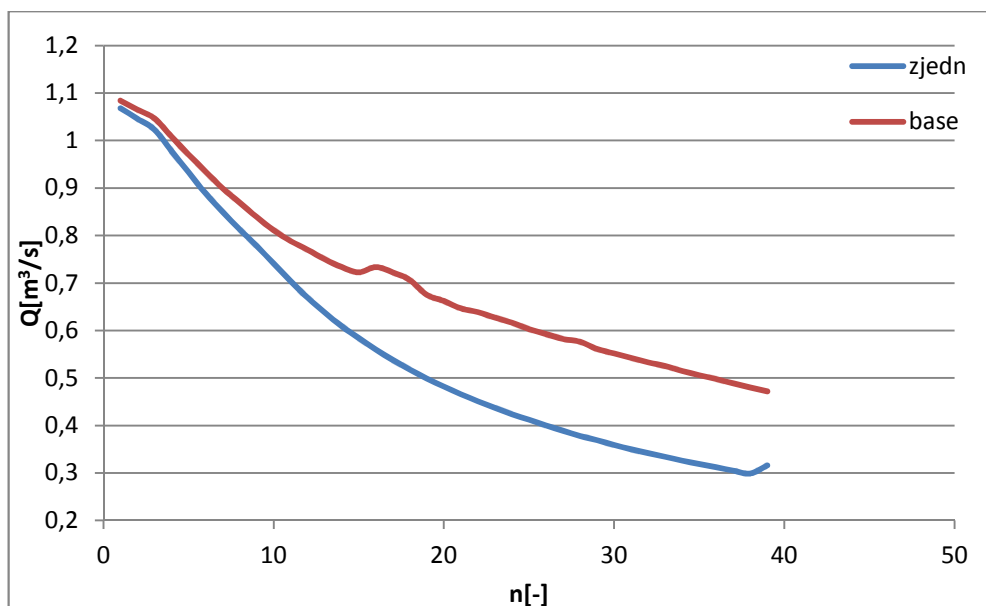
Obrázek 59 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)

7.2.1.4.5 Simulace 5



Obrázek 60 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)

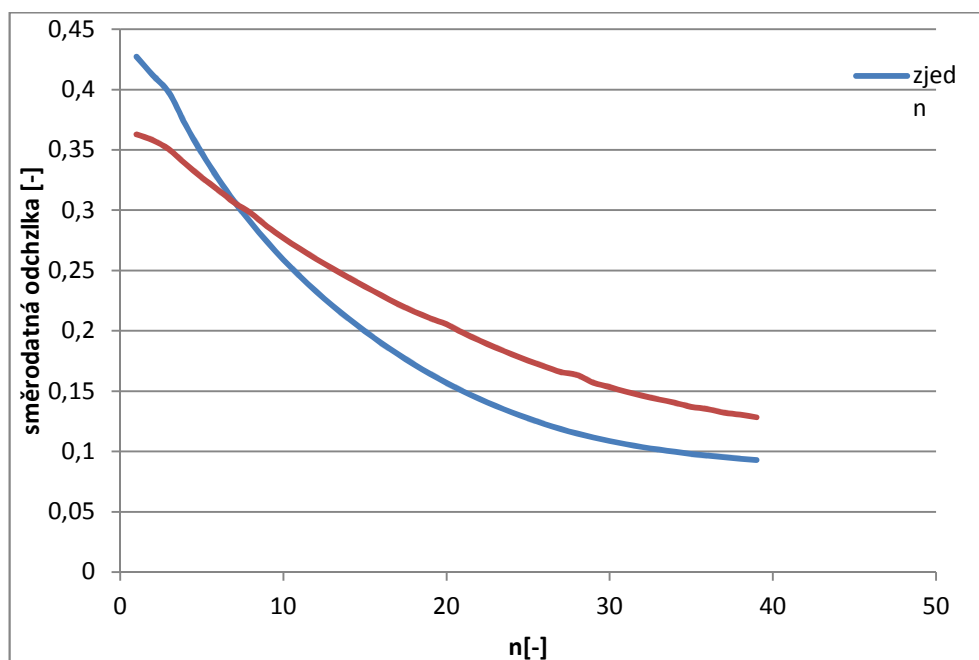
7.2.1.4.6 Simulace 6



Obrázek 61 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)

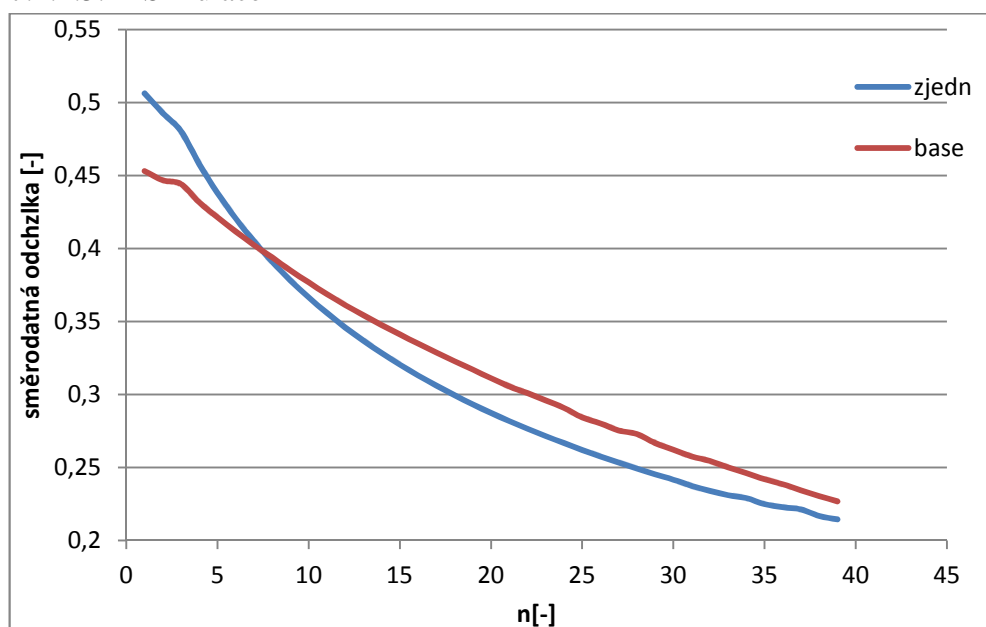
7.2.1.5 Porovnání hodnot směrodatné odchytky

7.2.1.5.1 Simulace 1



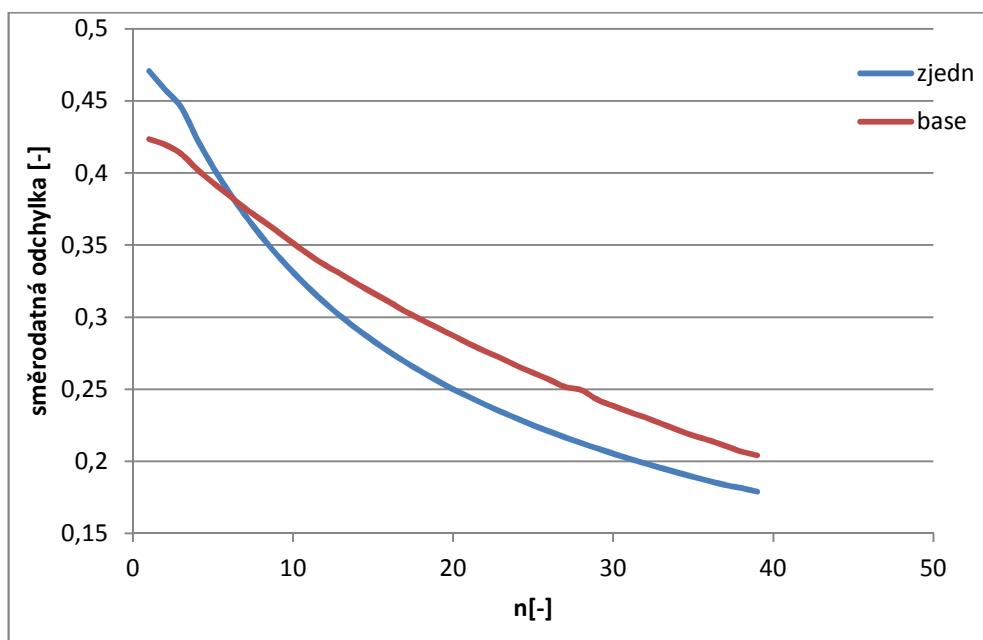
Obrázek 62 - Porovnání směrodatné odchytky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)

7.2.1.5.2 Simulace 2



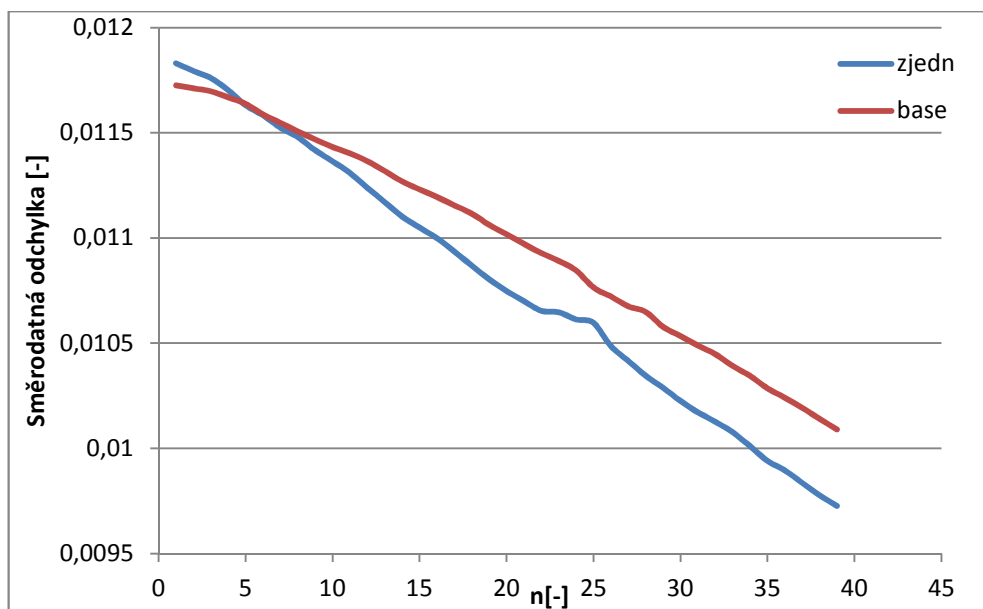
Obrázek 63 - Porovnání směrodatné odchytky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)

7.2.1.5.3 Simulace 3



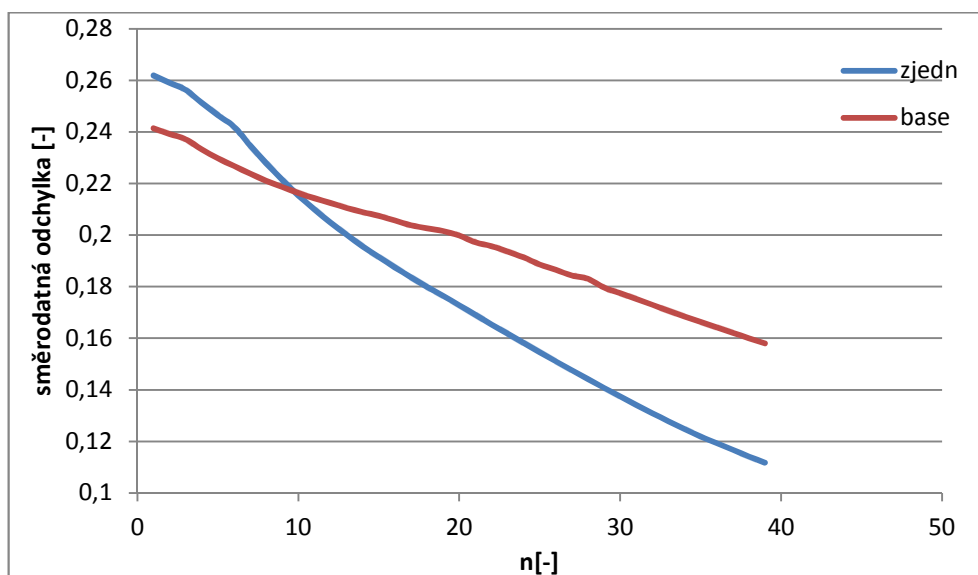
Obrázek 64 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)

7.2.1.5.4 Simulace 4



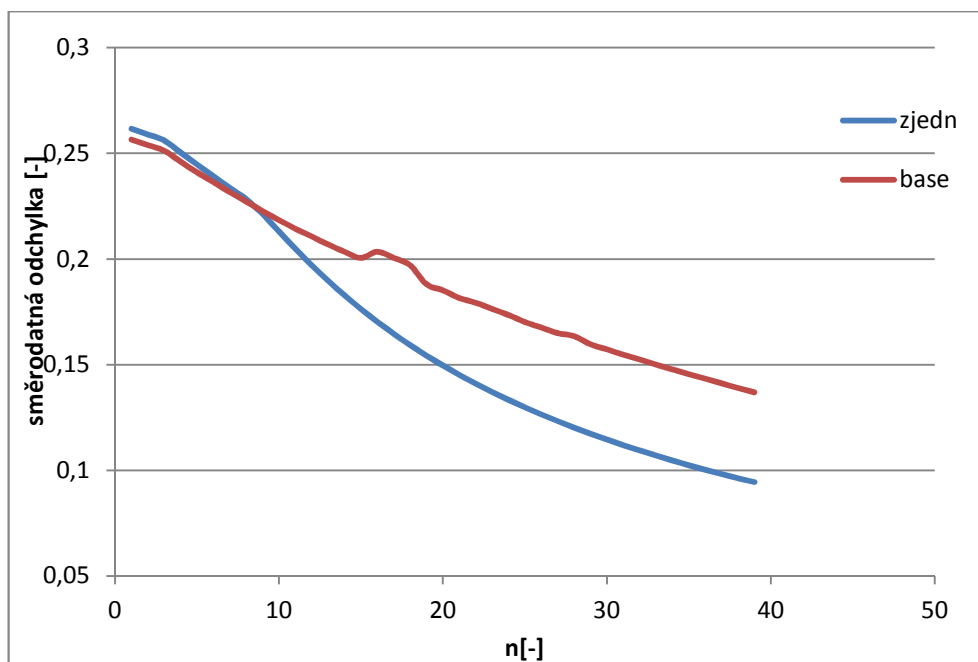
Obrázek 65 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)

7.2.1.5.5 Simulace 5



Obrázek 66 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)

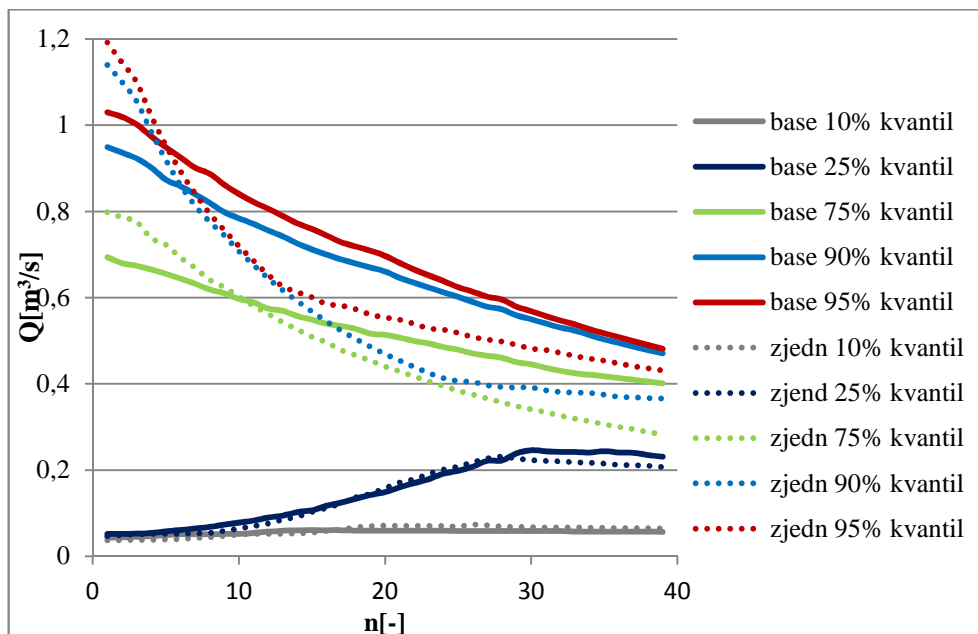
7.2.1.5.6 Simulace 6



Obrázek 67 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)

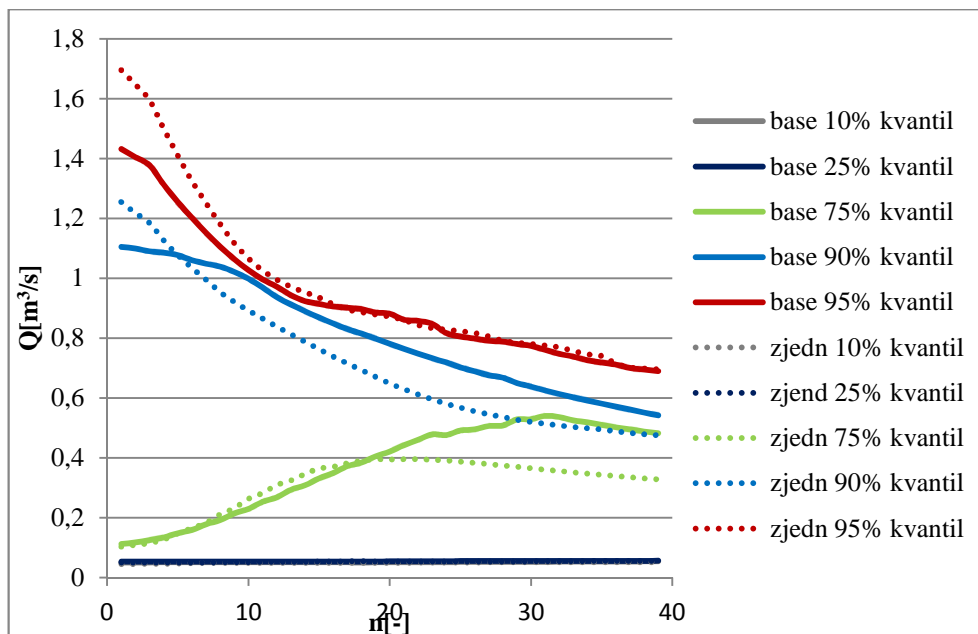
7.2.1.6 Porovnání kvantilů průtoku

7.2.1.6.1 Simulace 1



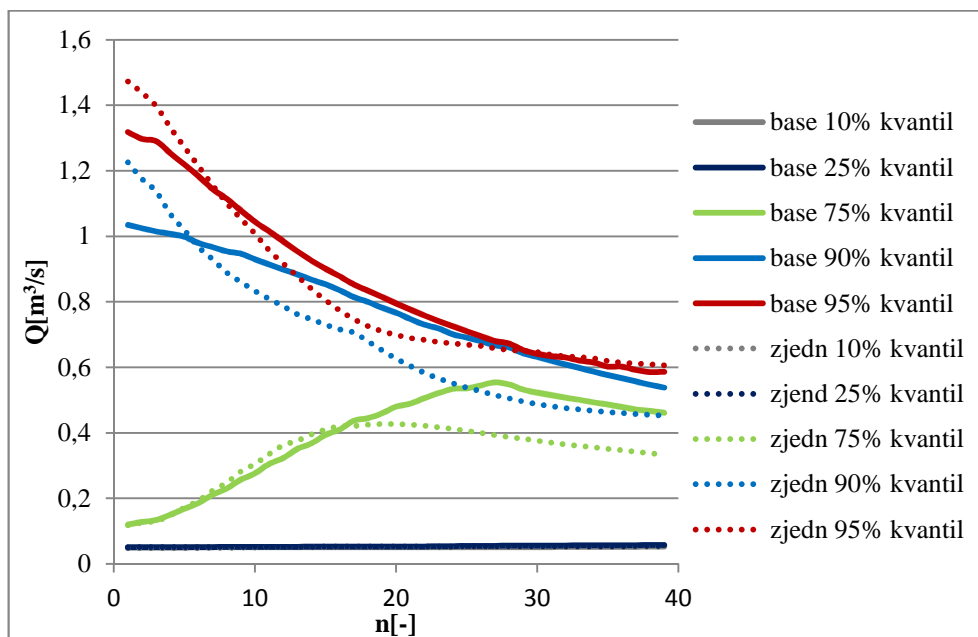
Obrázek 68 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)

7.2.1.6.2 Simulace 2



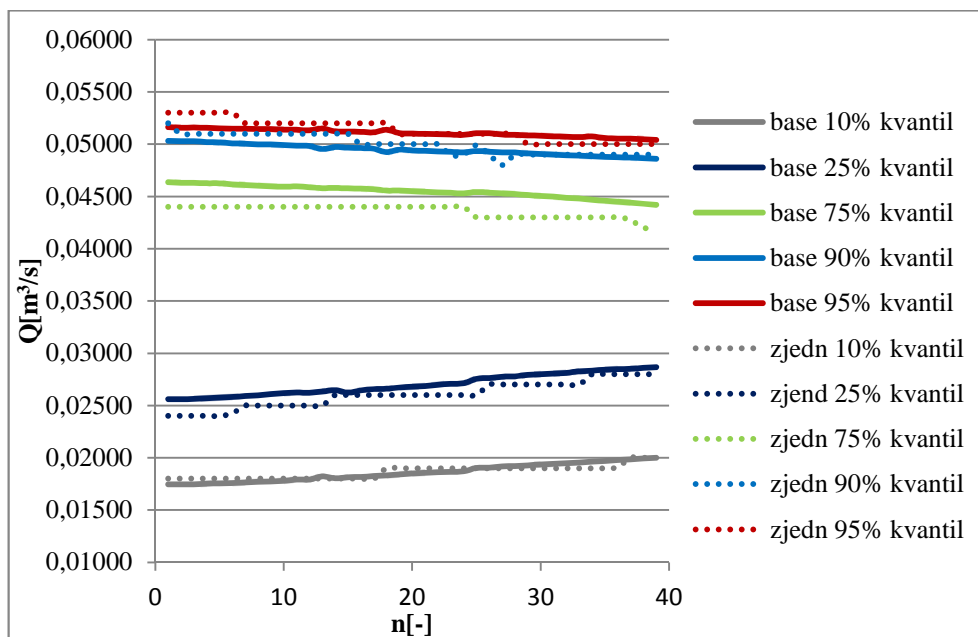
Obrázek 69 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)

7.2.1.6.3 Simulace 3



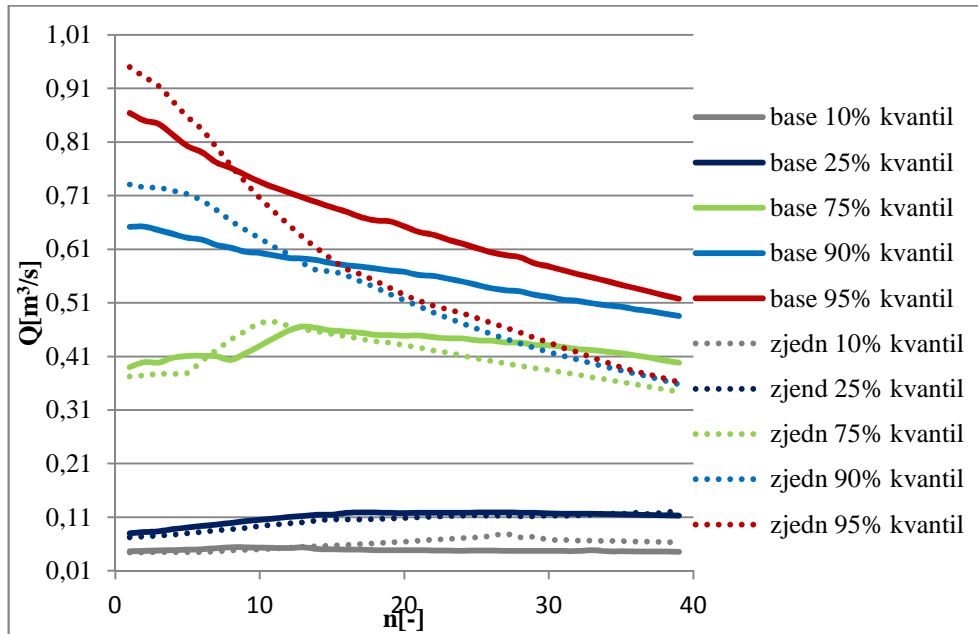
Obrázek 70 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)

7.2.1.6.4 Simulace 4



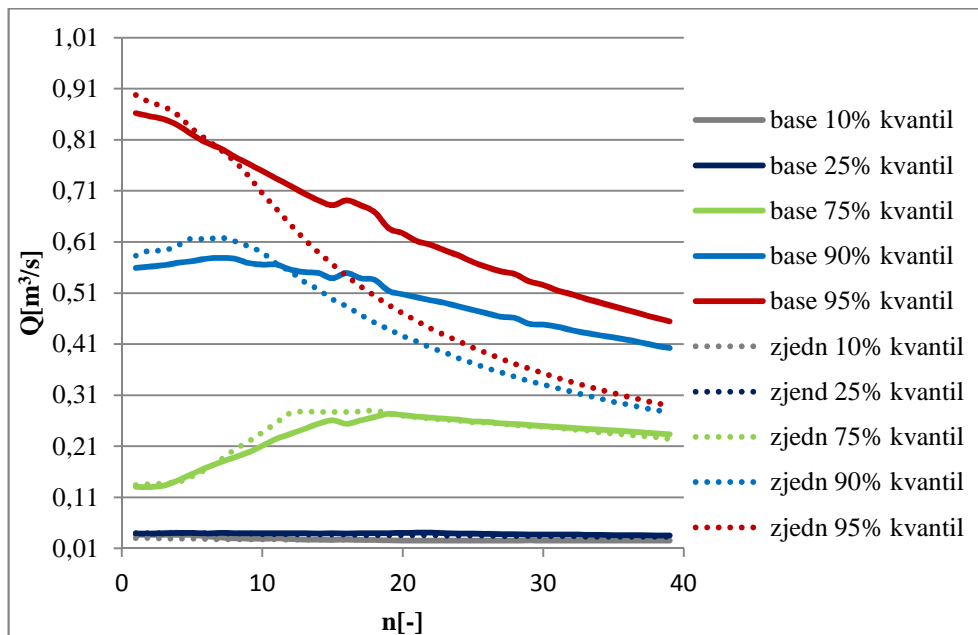
Obrázek 71 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)

7.2.1.6.5 Simulace 5



Obrázek 72 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)

7.2.1.6.6 Simulace 6



Obrázek 73 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)

7.3 Hlavní prvky kanalizačního systému

7.3.1 Kanalizační potrubí

Potrubí, rozumí se prvek, který transportuje kapalinu, je základním prvkem kanalizačního systému a jeho parametry se řídí množstvím a rychlostí znečištěných vod transportovaných celým systémem.

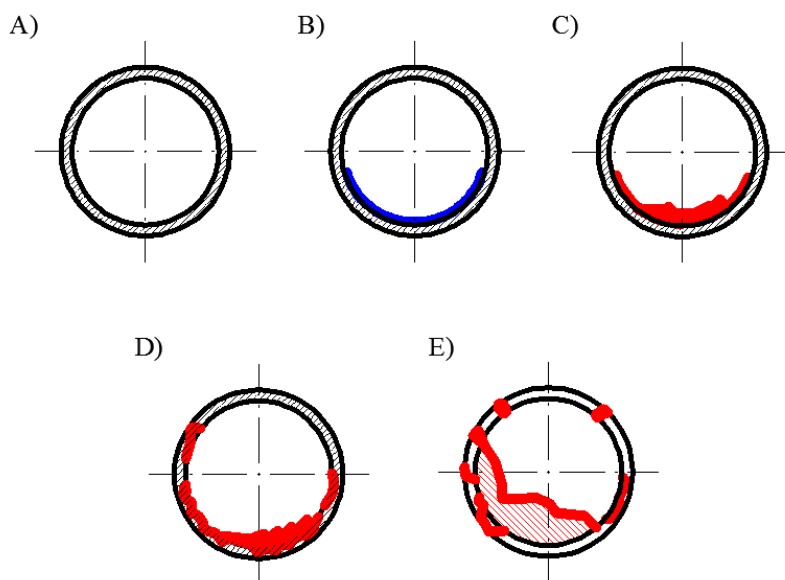
Drsnost, tvar a sklon potrubí jsou třemi základními veličinami, které ovlivňují proudění kapaliny. Drsnost se ale na rozdíl od dvou zmíněných vlastností v čase vyvíjí a dále tak ovlivňuje průtočnost profilu.

Samotné prostředí kanalizace má negativní vliv na stav rour a v mnoha případech může nakonec způsobit destrukci a kolaps.

Dalším negativně působícím prvkem může být konstrukce systému. Kvalita výstavby a konstrukce je pro celý systém zásadní a v mnoha ohledech ovlivňuje výdrž a hydraulické vlastnosti trub.

Destruktivním činitelem je také samotná směs splaškových vod, ale také mnoho dalších materiálů, které jsou transportovány stokami, například šterk, dlažební kostky či jiný materiál.

Stav potrubí se dá rozdělit na několik etap:



Obrázek 74 – Stárnutí potrubí a jeho etapy (A – nové potrubí, B – potrubí s filmem slizu, C – potrubí se zachycenými splaveninami, D – potrubí s mechanicky nebo chemicky poškozeným povrchem, E – Potrubí s viditelnými prasklinami a narušenou statikou)

- A. Nové potrubí – potrubí přímo po stavbě bez nečistot a s drsností garantovanou výrobcem a laboratorně vypočtenou hodnotou.
- B. Potrubí s filmem slizu – potrubí po několika letech provozu, kdy se na stěnách, hlavně ve spodní stále zatopené části profilu, vytvoří slizký film, které může mít zmenšující efekt na drsnost potrubí. Hodnota drsnosti potrubí odpovídá dolní hranici rozsahu z *Tabulky č.1*.
- C. Potrubí se zachycenými splaveninami – v profilu jsou zachycené splaveniny různorodého typu a tvaru. Mohou buď být přímo přilnuté na stěně roury, nebo vytvářet hrázky. Oba tyto způsoby jednak zvyšují drsnost potrubí, ale také zmenšují průtočnou plochu profilu. Hodnota drsnosti potrubí odpovídá střední hodnotě z rozsahu z *Tabulky č.1*.
- D. Potrubí s mechanicky nebo chemicky poškozeným povrchem - starší potrubí s narušenou povrchovou úpravou, která zapříčiňuje jednak zachytávání transportovaných látek, ale také narušování plynulosti proudění. Oba tyto efekty mají za následek postupné zvyšování drsnosti potrubí. Hodnota drsnosti potrubí odpovídá horní hranici rozsahu z *Tabulky č.1*.
- E. Potrubí s viditelnými prasklinami a narušenou statikou – potrubí v poslední fázi před totální destrukcí, kdy narušení profilu již začíná deformovat tvar stoky. Hodnota drsnosti potrubí již neodpovídají rozmezí z *Tabulky č.1*. a je třeba ji řešit individuálně.

Jak již bylo zmíněno, stav potrubí z velké části záleží na provedení stavby. Dalšími parametry jsou samotný návrh, který by měl zohlednit všechny nároky na systém požadované (kapacitu, minimální sklon, tvar profilu a správný materiál), a servis celého systému během provozu.

7.3.1.1 Materiály potrubí

7.3.1.1.1 Zděné potrubí

Historicky nejpoužívanější druh potrubí. V současné době dochází k pomalému vytlačování novějšími materiály, které mají snadnější konstrukci.

Potrubí se konstruuje přímo na místě a vyžaduje schopného zednického mistra pro správné provedení profilu. Dále se doporučuje provést obetonování celého profilu, které zaručí celkovou tuhost a zvýšení odolnosti proti přetlaku v potrubí.

Zdící prvky:

- Kámen
- Keramické cihly
- Čedičové cihly
- Speciální čedičové prvky (žlaby, bočnice a stokové vložky)
- Keramické tvárnice



Obrázek 75 – Zděný vejčitý profil (Brusnický potok, Kučera, 2006)

7.3.1.1.2 Železobetonové potrubí

Železobeton je hojně používán v kanalizačním systému díky jeho snadné technologické výrobě a rozšířenosti. Samotný materiál není ale pro

agresivní prostředí kanalizace a podzemní vody vhodný a proto je nutné, aby měl jak vnitřní, tak i vnější ochrannou vrstvu. Vnitřní ochranné vrstvy bývají nátěry a keramické nebo čedičové vystýlky. Vnější ochranný prvek tvoří často buď ochranný nátěr, nebo plastové povlaky.



Obrázek 76 – Železobetonové potrubí (Prefa Brno, 2016)

7.3.1.1.3 Plastové potrubí

V současné době dochází k velkému rozmachu plastových potrubí.

Příklad druhů:

- PVC (tvrzený polyvinylchlorid)
- PE – HD (vysokotuhostní polyetylen)
- PE – X (síťovaný polyetylen)
- PP (polypropylen)



Obrázek 77 – Plastové potrubí (Trubky blog, 2016)

7.3.1.1.4 Kovové potrubí



Obrázek 78 – Ocelové potrubí (ACO, 2016)

7.3.1.1.5 Sklolaminátové potrubí



Obrázek 79 – Sklolaminátové potrubí (Hobas, 2016)

7.3.1.1.6 Čedičové potrubí

Čedič je velice všestranně odolný materiál vhodný pro agresivní kanalizační prostředí. Jeho využití jako trubního materiálu je díky náročnému technologickému postupu velice omezené v případě velkých profilů.

Čedičové potrubí se vyrábí do cca 1 m délky a velikosti 0,50 x 0,50 m.

Proto se používá hlavně jako obkladový materiál do namáhaných částí stok a objektů.

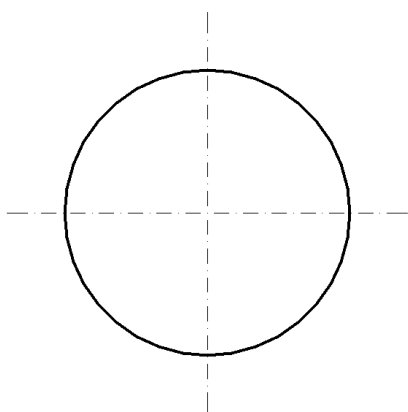


Obrázek 80 – Čedičové potrubí (Eutit, 2016)

7.3.1.2 Tvary potrubí

7.3.1.2.1 Kruhový profil

Kruhový profil je základním a nejrozšířenějším tvarem pro stokovou síť. Je také nejuniverzálnějším, co se týče použití. Spojuje v sobě dobré hydraulické vlastnosti, dobrou statickou výdrž a snadnou montáž.

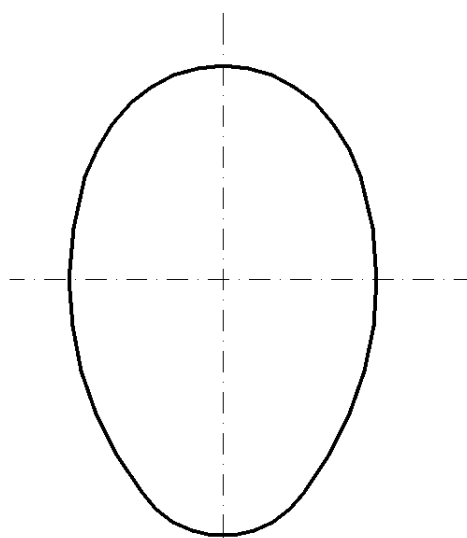


Obrázek 81 – Řez kruhového profilu. (Kučera, 2016)

7.3.1.2.2 Vejčitý profil

Vejčitý profil je využíván pro větší profily hlavně na jednotné kanalizaci. Má dva hlavní klady. Za prvé má dobré hydraulické vlastnosti pro malé i velké průtoky. Za druhé má profil vždy vertikální velikost vyšší než horizontální, takže umožňuje lepší průchodnost stoky. Nevýhodou je špatná odolnost vůči přetlaku ve stoce, a proto se doporučuje, aby byl celý profil obetonován.

Profil má nejrůznější rozměrové varianty a stavební řady. Například Pražský nebo Vídeňský normál.

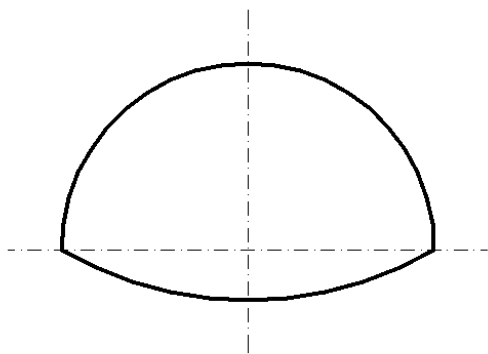


Obrázek 82 – Řez vejčitého profilu (Městské standardy HMP, 2009).

7.3.1.2.3 Tlamový profil

Tlamový profil je využíván hlavně pro oddílnou dešťovou kanalizaci a zatrubněné potoky. Profil má vždy vyšší horizontální velikost než vertikální.

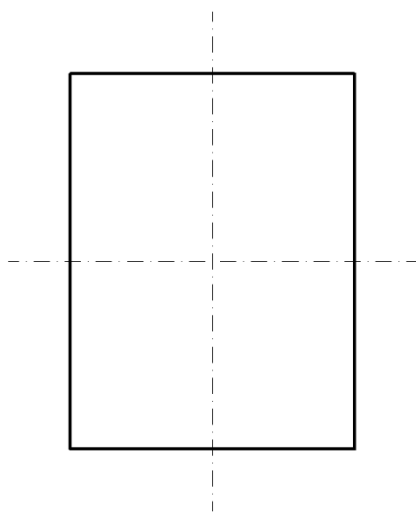
Výhodou tohoto profilu jeho relativní malá výška, která umožňuje, aby jeho trasa podcházela komunikace v malé hloubce.



Obrázek 83 – Řez tlamového profilu (Městské standardy HMP, 2009).

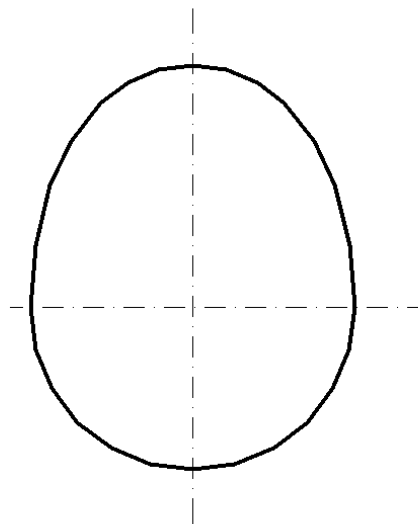
7.3.1.2.4 Obdélníkový profil

Obdélníkový profil je méně používaným tvarem ve stokovém systému pro svoje horší hydraulické vlastnosti. Je používán ve specifických případech a většinou ve spojení s vhodným tvarovým řešením dna. Toto řešení může nabývat různých podob, třeba: žlábek, vyspárování a apod.



Obrázek 84 – Řez obdélníkového profilu (Městské standardy HMP, 2009).

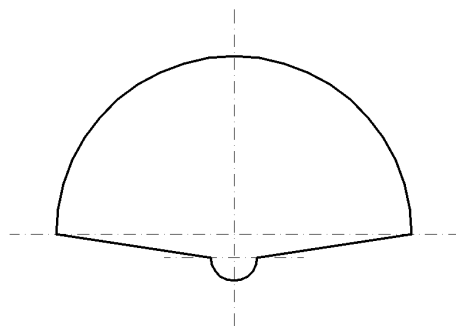
7.3.1.2.5 Hruškovitý profil



Obrázek 85 – Řez hruškovitého profilu (Městské standardy HMP, 2009).

7.3.1.2.6 Atypický profil

Atypický profil je soubor různých tvarů, které se řídí danými podmínkami použití. Ve většině případů se používá pro větší profily hlavních stok a zatrubněných potoků.



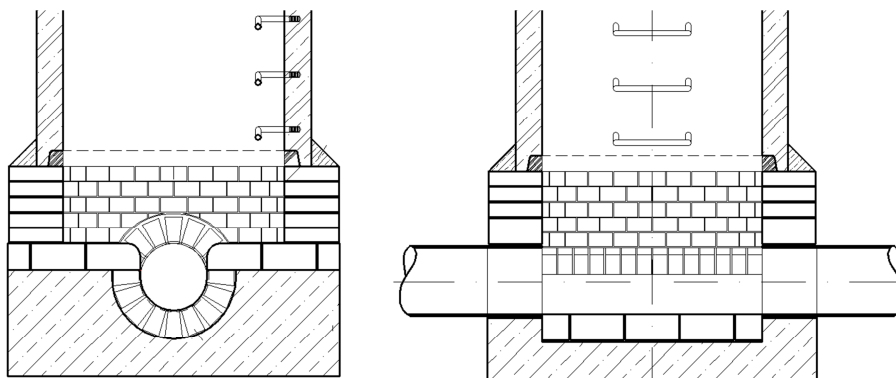
Obrázek 86 – Příklad řezu atypického profilu. (Kučera, 2016)

7.3.2 Kanalizační šachty

Svislá šachta, rozumí se prvek, který propojuje jednotlivé úseky potrubí, má v kanalizačním systému několik funkcí.

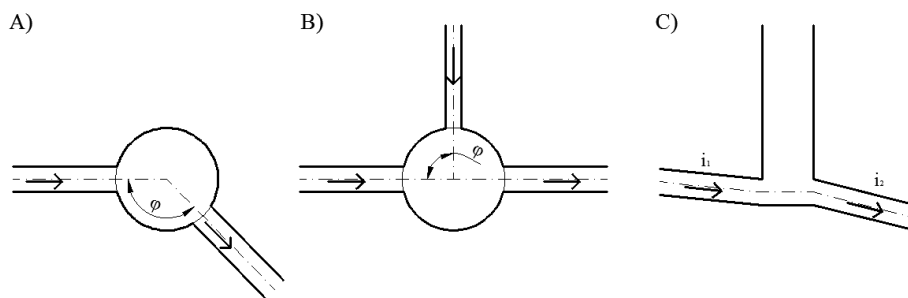
- Spojná funkce – spojuje jednotlivá potrubí a tvoří tak transportní uzel.
- Větrací funkce – kanalizace musí být větraná, aby nedocházelo k hromadění nebezpečných plynů. Doporučená maximální vzdálenost šachet od sebe je 50 m.
- Revizní funkce – šachta musí umožnit revizi všech připojených potrubí

Důležitým prvkem pro proudění samotnou šachtu je geometrie tvaru dna a způsob napojení potrubí do konstrukce šachty. V současné době se doporučuje, aby žlab (dno stoky) ve svislé šachtě dosahoval výšky celého profilu připojeného potrubí. To na jednu stranu umožňuje plynulý průtok potrubí a na druhou stranu umožňuje dobrou přístupnost pro revizi připojených stok.



Obrázek 87 – Doporučený tvar dna šachty (Městské standardy HMP, 2009)

Jak již bylo výše napsáno, kanalizační šachta umožňuje spojovat potrubí, měnit sklon a směr. Tyto změny vytvářejí určitou míru ztráty.



Obrázek 88 – Schéma šachty – A) změna směru potrubí, B) boční přítok, C) změna sklonu potrubí. (Kučera, 2016)

7.3.3 Kanalizační objekty

Kanalizačním objektem se rozumí široká škála objektů pro správu kanalizačního systému. V simulačních modelech se řeší jako uzly s dodatečnými hydraulickými parametry. Příklad objektů:

- Oddělovací komora
- Rozdělovací komora
- Spojná komora
- Klapková komora
- Retenční nádrž
- Dešťová usazovací nádrž
- Čerpací stanice odpadních vod
- Shybka
- Spadiště

Tyto objekty nabývají různých tvarů a dispozic podle požadavků na ně kladených. Je proto nutné pro každou takovou stavbu vypracovat samostatný hydraulický posudek. Případně posoudit návrh ve fyzikálním modelu.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Základní rozdělení proudění v potrubí (Krejčí, 2002).....	19
Obrázek 2 – Hypotetická štěrbina Priessman-Cunge-Wegnerova modelu PCW (Cunge a kol., 1964)	22
Obrázek 3 – Metoda SCL (Song a kol., 1983).....	23
Obrázek 4 – Uzel kanalizace při tlakovém proudění s vyznačenými čarami energie a místními ztrátami. (Marsalek, 1987)	24
Obrázek 5 – Geometrie uzlu a tvar kynety dna. (Marsalek, 1987)	25
Obrázek 6 – Maximální schematizace kanalizační sítě (Hydroprojekt CZ a.s., 1999).....	26
Obrázek 7 – Střední schematizace kanalizační sítě (Mike URBAN, 2016)	27
Obrázek 8 – Minimální schematizace kanalizační sítě podle dostupných údajů. (GIS PVK, 2016).....	28
Obrázek 9 – Matematický model koncepčního generelu kanalizační sítě hl. m. Prahy v prostředí Mike View (Hydroprojekt CZ a.s., 1999).	29
Obrázek 10 – Matematický model detailního generelu kanalizační sítě kmenových stok „C“ a „D“ hl.m. Prahy (SWECO Hydroprojekt a.s., 2012).	29
Obrázek 11 – Vizuální průzkum stoky pomocí robota s kamerami (PVK, 2016)	30
Obrázek 12 – MOUSE šachta (MOUSE Pipe flow reference, 2011)	35
Obrázek 13 – Definice nádrže (MOUSE Pipe flow reference, 2011).....	36
Obrázek 14 – Zobrazení kanalizační sítě detailního modelu Bohnického sběrače v programu MIKE View. (GOHMP EF, 2011).....	38
Obrázek 15 – Kalibrační graf splaškového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 21.08.2011 (GOHMP EF, 2011).....	39
Obrázek 16 – Verifikační graf splaškového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 24.09.2011 (GOHMP EF, 2011).....	39
Obrázek 17 – Kalibrační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 27.08.2011 (GOHMP EF, 2011).....	40
Obrázek 18 – Verifikační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 19.08.2011 (GOHMP EF, 2011).....	40
Obrázek 19 – Zobrazení kanalizační sítě schematizovaného modelu Bohnického sběrače (MIKE View, 2016)......	41
Obrázek 20 – Hydrogram splaškového odtoku na uzávěrném profilu Bohnického sběrače schematizované kanalizační sítě BEZ kalibrace (MIKE View, 2016).....	42
Obrázek 21 – Kalibrační graf splaškového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 21.08.2011 (Mike View, 2016).....	42

Obrázek 22 – Verifikační graf splaškového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 24.09.2011 (Mike View, 2016).....	43
Obrázek 23 – Kalibrační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 27.08.2011 (Mike View, 2016).....	43
Obrázek 24 – Verifikační graf dešťového průtoku v uzávěrném profilu Bohnického sběrače dne 19.08.2011 (Mike View, 2016).....	44
Obrázek 25 – Schematizovaná kanalizační síť modelu s vyznačeným uzávěrným profilem (Mike View, 2016).	46
Obrázek 26 – Hydrogram odtoku simulace 1 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	61
Obrázek 27 – Hydrogram odtoku simulace 1 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	61
Obrázek 28 – Hydrogram odtoku simulace 2 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	62
Obrázek 29 – Hydrogram odtoku simulace 2 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	62
Obrázek 30 – Hydrogram odtoku simulace 3 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	63
Obrázek 31 – Hydrogram odtoku simulace 3 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	63
Obrázek 32 – Hydrogram odtoku simulace 4 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	64
Obrázek 33 – Hydrogram odtoku simulace 4 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	64
Obrázek 34 – Hydrogram odtoku simulace 5 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	65
Obrázek 35 – Hydrogram odtoku simulace 5 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	65
Obrázek 36 – Hydrogram odtoku simulace 6 pro detailní model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	66
Obrázek 37 – Hydrogram odtoku simulace 6 pro zjednodušený model, osa x – časový krok [min], osa y – průtok [m^3/s] (Kučera, 2016).....	66
Obrázek 38 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016).....	67
Obrázek 39 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016).....	67
Obrázek 40 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016).....	68
Obrázek 41 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016).....	68

Obrázek 42 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016).....	69
Obrázek 43 - Porovnání aritmetického průměru průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016).....	69
Obrázek 44 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)	70
Obrázek 45 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)	70
Obrázek 46 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)	71
Obrázek 47 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)	71
Obrázek 48 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)	72
Obrázek 49 - Porovnání mediánu průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)	72
Obrázek 50 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)	73
Obrázek 51 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)	73
Obrázek 52 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)	74
Obrázek 53 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)	74
Obrázek 54 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)	75
Obrázek 55 - Porovnání minima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)	75
Obrázek 56 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)	76
Obrázek 57 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)	76
Obrázek 58 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)	77
Obrázek 59 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)	77
Obrázek 60 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)	78
Obrázek 61 - Porovnání maxima průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)	78

Obrázek 62 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016).....	79
Obrázek 63 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016).....	79
Obrázek 64 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016).....	80
Obrázek 65 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016).....	80
Obrázek 66 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016).....	81
Obrázek 67 - Porovnání směrodatné odchylky průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016).....	81
Obrázek 68 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 1. (Kučera, 2016)	82
Obrázek 69 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 2. (Kučera, 2016)	82
Obrázek 70 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 3. (Kučera, 2016)	83
Obrázek 71 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 4. (Kučera, 2016)	83
Obrázek 72 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 5. (Kučera, 2016)	84
Obrázek 73 – Porovnání výběru kvantilů průtoku base a zjednodušeného modelu simulace 6. (Kučera, 2016)	84
Obrázek 74 – Stárnutí potrubí a jeho etapy (A – nové potrubí, B – potrubí s filmem slizu, C – potrubí se zachycenými splaveninami, D – potrubí s mechanicky nebo chemicky poškozeným povrchem, E – Potrubí s viditelnými prasklinami a narušenou statikou)	85
Obrázek 75 – Zděný vejčitý profil (Brusnický potok, Kučera, 2006)	87
Obrázek 76 – Železobetonové potrubí (Prefa Brno, 2016).....	88
Obrázek 77 – Plastové potrubí (Trubky blog, 2016).....	89
Obrázek 78 – Ocelové potrubí (ACO, 2016)	89
Obrázek 79 – Sklolaminátové potrubí (Hobas, 2016).....	90
Obrázek 80 – Čedičové potrubí (Eutit, 2016)	91
Obrázek 81 – Řez kruhového profilu. (Kučera, 2016).....	91
Obrázek 82 – Řez vejčitého profilu (Městské standardy HMP, 2009).	92
Obrázek 83 – Řez tlamového profilu (Městské standardy HMP, 2009).	93
Obrázek 84 – Řez obdélníkového profilu (Městské standardy HMP, 2009).	93
Obrázek 85 – Řez hruškovitého profilu (Městské standardy HMP, 2009). ..	94
Obrázek 86 – Příklad řezu atypického profilu. (Kučera, 2016)	94

Obrázek 87 – Doporučený tvar dna šachty (Městské standardy HMP, 2009)	
.....	95
Obrázek 88 – Schéma šachty – A) změna směru potrubí, B) boční přítok, C) změna sklonu potrubí. (Kučera, 2016).....	96

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Hodnoty Manningova drsnostního součinitele a hodnoty hydraulické drsnosti (Krekčí, 2002).....	21
Tabulka 2 – Koeficient ztráty K v pěti druzích kynety dna kanalizační šachty při proudění o volné hladině s 90° odbočením (Marsalek, 1985).....	23
Tabulka 3 – Koeficient ztráty K v pěti druzích kynety dna kanalizační šachty při tlakovém proudění s 90° odbočením (Marsalek, 1987).	25
Tabulka 4 – Přehled zatěžovacích stavů pro kanalizační síť s časovým umístěním.....	44
Tabulka 5 – Hodnoty Manningova hydraulického součinitele pro hlavní stoku – vývoj drsnosti potrubí od nového až po havarijní stav.....	45
Tabulka 6 – Porovnání doby trvání výpočtu a velikosti výsledkového souboru simulací dvou schematizací modelu (Kučera, 2016)	51
Tabulka 7 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti betonového potrubí profilu DN 300 (Kučera,2016)	56
Tabulka 8 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti sklolaminátového potrubí profilu DN 300 (Kučera,2016).....	56
Tabulka 9 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti kameninového potrubí profilu DN 300 (Kučera,2016)	57
Tabulka 10 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti betonového vejčitém potrubí profilu 600/1050 (Kučera,2016)	57
Tabulka 11 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti sklolaminátového vejčitého potrubí profilu 600/1050 (Kučera,2016).....	58
Tabulka 12 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti kameninového vejčitého potrubí profilu 600/1050 (Kučera,2016).....	58
Tabulka 13 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti betonového potrubí profilu DN 1000 (Kučera,2016)	59
Tabulka 14 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti sklolaminátového potrubí profilu DN 1000 (Kučera,2016).....	59
Tabulka 15 – Hydraulické proudění změny závislé na drsnosti kameninového potrubí profilu DN 1000 (Kučera,2016).....	60