



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

OPTIMALIZACE VODOVODNÍ SÍTĚ MĚSTA POČÁTKY

OPTIMIZATION OF THE WATER SUPPLY NETWORK OF POČÁTKY TOWN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Pavelka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. David Pavelka
Název	Optimalizace vodovodní sítě města Počátky
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] NOVÁK, Pavel. Hydraulic modelling: an introduction ; principles, methods and applications. London: Spon Press, 2010, xiv, 599 s. ISBN 978-0-419-25010-4.
- [2] LIN, Shun Dar. Water and wastewater calculations manual. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2007, 945 s. ISBN 00-714-7624-5.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce bude sestaven simulační model rozvodné části vodovodu města Počátky s cílem provést hydraulickou analýzu. Vodovod bude posouzen po stránce průtokových a tlakových poměrů a následně budou navržena provozně-technická opatření za účelem optimalizovat jak způsob provozování vodovodu, tak i tlakové poměry.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tématem optimalizace vodovodních sítě města Počátky. Popisuje postup při tvorbě matematického modelu, potřebného pro hydraulickou analýzu, která se použila pro posouzení vodovodní sítě Počátky. Práce si bere za úkol seznámit čtenáře, se základním rozdělením v zásobování pitnou vodou, jak postupujeme při shromažďování dat potřebných k hydraulické analýze a jaké prostředky a nástroje používáme v hydraulické analýze. Závěrem jsou zpracovány varianty pro možnou optimalizaci vodovodní sítě města Počátky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Systém zásobování, vodovodní síť, hydraulická analýza, matematické modelování, tlakové poměry, optimalizace vodovodní sítě

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on the optimization of water supply system in the town of Počátky. It describes the process of creating a mathematical model needed for the hydraulic analysis, which was used to assess the water supply system Počátky. This thesis task is to apprise reader, with a basic distribution in the drinking water supply, how to proceed in collecting data on hydraulic analysis requirements and using tools and means used in hydraulic analysis. Conclusions are processed variants for possible optimization of water supply system Počátky.

KEYWORDS

Supply system, water network, hydraulic analysis, mathematical modeling, pressure conditions, optimization of water network.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. David Pavelka *Optimalizace vodovodní sítě města Počátky*. Brno, 2019. 63 s., 68 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Optimalizace vodovodní sítě města Počátky* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 18. 12. 2019

Bc. David Pavelka
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Optimalizace vodovodní sítě města Počátky* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 18. 12. 2019

Bc. David Pavelka
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Tomáši Kučerovi Ph.D. za vedení při vypracovávání mé diplomové práce i za velké množství jeho cenných rad, poznatků a připomínek. Chtěl bych poděkovat i panu Zdeňku Kopeckému a panu Jiřímu Příbylovi z Vodotechnické služby s.r.o. za poskytnutí potřebných podkladů i za jejich rady a praktické zkušenosti, kterými mi velmi pomohli při zpracovávání daného tématu. Velmi bych chtěl poděkovat také celé rodině a to za její nesmírnou podporu a také shovívavost po celou dobu studia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
1.1	Cíl práce	3
2	ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU	4
2.1	Systémy zásobování	4
2.1.1	Územní působnost vodárenských soustav	4
2.1.2	Uspořádání rozvodných sítí vodovodů.....	5
2.1.3	Rozdělení vodovodů podle výškového uspořádání	6
2.1.4	Akumulace vody	8
3	MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍCH SÍTÍ.....	8
3.1	Hydraulická analýza vodovodních sítí	9
3.1.1	Kalibrace a verifikace	10
3.1.2	Typy hydraulické analýzy	10
3.1.3	Vstupní data	11
3.1.4	Zadávání odběrů pro hydraulickou analýzu	11
3.1.5	Základní podmínky hydraulické analýzy	12
3.2	Vývoj potřeby vody a její vliv na vodovod.....	13
3.3	Softwary pro hydraulickou analýzu	14
3.4	EPANET 2.0	15
3.4.1	Základní charakteristika uživatelského prostředí EPANET 2.0.....	15
3.5	Datalogery	16
3.5.1	Datalogger Xilog ⁺	16
4	ŘEŠENÁ LOKALITA – MĚSTO POČÁTKY.....	18
4.1	Identifikační údaje vodovodu.....	18
4.2	Popis vodovodu.....	18
4.2.1	Charakter zástavby	19
4.3	Stručný popis vodovodu.....	20
4.3.1	Vodovodní síť	20
4.3.2	Objekty	22
4.3.3	Výškové schéma vodovodu.....	24
4.4	Měrná kampaň.....	25
4.4.1	Vyhodnocení měření	26
4.5	Hydrotechnické výpočty	29

4.5.1	Stanovení drsnosti potrubí.....	29
4.5.2	Potřeba vody.....	29
4.5.3	Zadávání odběrů.....	30
4.5.4	Výpočet tlaků a rychlostí na rozvodné vodovodní síti	32
5	HYDRAULICKÁ ANALÝZA	33
5.1	Vstupní data a stavba modelu	33
5.2	Zatěžovací stavy.....	36
5.3	Verifikace modelů.....	39
5.4	Legislativní požadavky.....	40
5.5	Posouzení tlakových poměrů vodovodní sítě města Počátky.....	40
6	NAVRŽENÉ VARIANTY.....	41
6.1	Varianta č.1	41
6.2	Varianta č.2	43
6.3	Varianta č.3	45
7	ZÁVĚR.....	47
8	POUŽITÁ LITERATURA	49
	SEZNAM TABULEK	51
	SEZNAM OBRAZKŮ	52
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55
	SUMMARY	56

1 ÚVOD

Už řadu let se pro správné pochopení chování dané problematiky, používá modelování. U vodovodních sítí se jako modelování používá hydraulická analýza, která se v minulosti vyznačovala dlouhými výpočty, ale v dnešní době se již využívá matematické modelování, které je založené na principu převodu reálného systému do matematického abstraktního prostředí. *Cílem hydraulické analýzy je získání potřebných informací o tlakových a průtokových poměrech v těchto sítích, zejména pro potřeby provozování a řízení stávajících distribučních systémů, projektování nových trubních rozvodů a také pro potřebu jejich rekonstrukcí, případné rozšiřování a napojování nových odběratelů.* [1] Stále více a více společností a to jak provozních, tak i projekčních, se spoléhá na „vymodelování“ vodovodních sítí využitím právě hydraulické analýzy. Přispívá k tomu fakt, že dnes si můžeme vybírat z velké škály softwaru, jehož využitím se konečný produkt – provedení hydraulické analýzy – stává čím dál více sofistikovanější.

V této diplomové práci je popsána a zhotovena hydraulická analýza stávající vodovodní sítě v obci Počátky. Cílem bylo stanovit tlakové poměry na síti a vyhotovit stanovisko, zda je síť naddimenzovaná nebo její stav vyhovuje. Důraz byl kladen i na to, zda by se měl starý VDJ Počátky - vyrovnávací odpojit anebo zachovat.

V úvodní části je stručně popsán cíl práce, kterým je posouzení stávajícího vodovodu Počátky. Dále pak je popsán způsob zásobování pitnou vodou, tedy jak je zásobováno spotřebiště, jak jsme schopni dodávanou vodu dopravit, případně jakých vodohospodářských objektů k tomu používáme. Pokračovat se bude vysvětlením, co je to matematický model. Popsána bude jeho historie, jak vlastně funguje a co k jeho sestavení potřebujeme a následně bude popsáno jeho využití v praxi. Nakonec bude zhotoven model zájmové oblasti, kde k němu bude vyhotoven posudek, případně návrhy pro zlepšení do budoucna.

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zhotovit matematický model, které bude sloužit k hydraulické analýze vodovodní sítě města Počátky. K tomu bude využit simulační software EPANET 2.0. Pro charakteristiku hydraulického režimu vodovodní sítě během dne, budou aplikovány zatěžovací stavy, které nám lépe ukáží tlakové poměry v řadech a budou tak sloužit k posouzení rozvodné sítě z hlediska platné legislativy ČR a zároveň k zoptimalizování vodovodní sítě. Velký důraz v této práci bude kladen na posouzení, zdali lze stávající vodojem Počátky - vyrovnávací dále využívat anebo jej zrušit.

2 ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

2.1 SYSTÉMY ZÁSOBOVÁNÍ

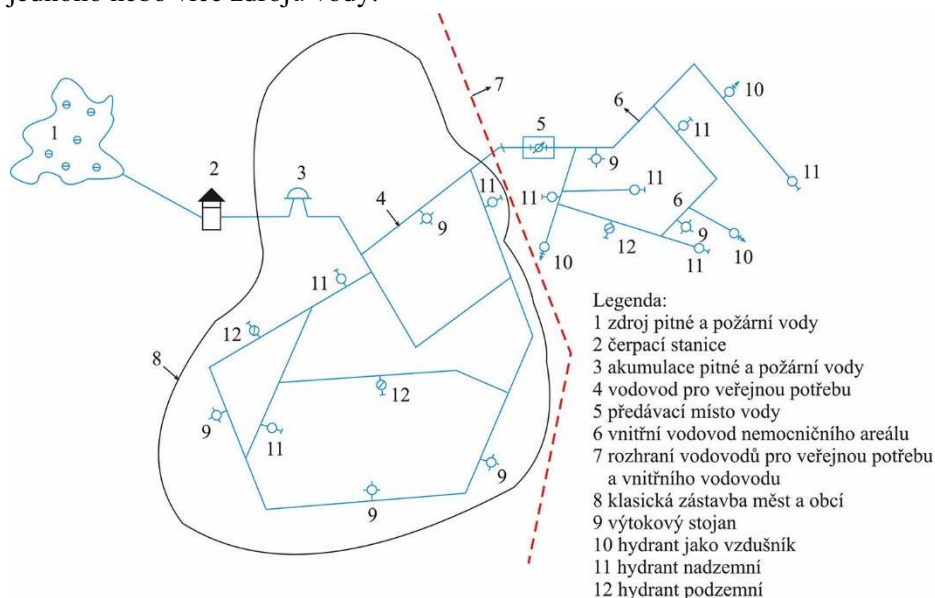
Pojem vodovod je chápán jako provozně samostatný souhrn staveb a zařízení, který zahrnuje vodovodní řady a vodárenské objekty, jimiž jsou zejména stavby pro jímání a odběr podzemní a povrchové vody a její úpravu a shromažďování tj. úpravní vody, vodojemy, čerpací stanice a další objekty. [2]

Vodovody je možno rozdělit podle tří základních kritérií:

- podle rozsahu zásobení (počtu spotřebišť a rozsahu zásobovaných územních celků) na vodovody místní, vodovody skupinové a vodovody oblastní,
- podle vzájemného výškového umístění vodního zdroje a spotřebišť na vodovod gravitační a vodovod výtlačný,
- podle účelu na vodovody pro veřejnou potřebu, což jsou vodovody s převládající funkcí hromadného zásobování pitnou vodou, dále na vodovody průmyslové, vodovody požární, případně další účelové. [2]

2.1.1 Územní působnost vodárenských soustav

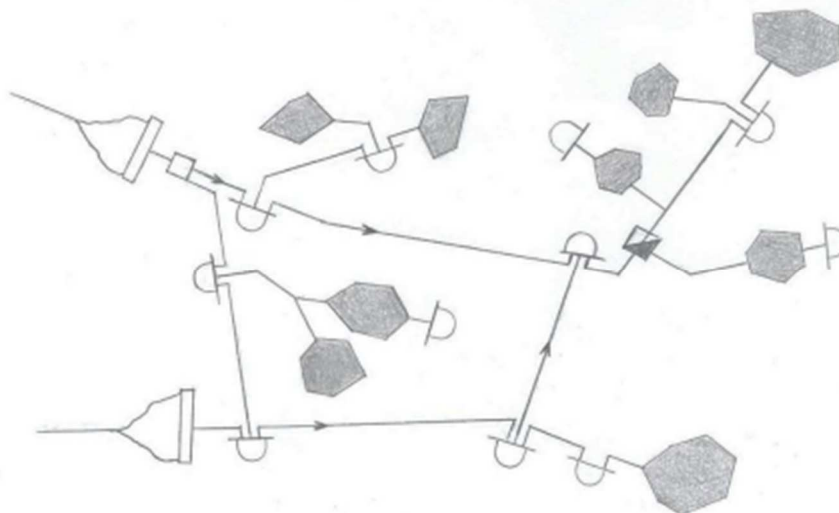
Místní vodovody jsou jednoduchá, zpravidla gravitační zařízení pro zásobování jedné obce nebo města, z jednoho nebo více zdrojů vody.



Obrázek 2-1 - Obecné schéma místního vodovodu [2]

Skupinový vodovod může být situován s jedním hlavním vodojemem a voda je dopravována dále do spotřebišť. Pokud jsou v místě nepříznivé tlakové poměry lze pro jejich zlepšení vybudovat na konci skupiny vyrovnávací vodojem. [2]

Vodovody oblastní jsou vodovody, které vznikají propojením několika skupinových vodovodů. Další variantou je vznik oblastního vodovodu z jednoho významného vodního zdroje, zejména vodárenské nádrže, příp. z více zdrojů. Vodovody tohoto charakteru s dopravou vody na velké vzdálenosti a s velkým počtem objektů a zařízení nazýváme vodárenskými soustavami. [2]



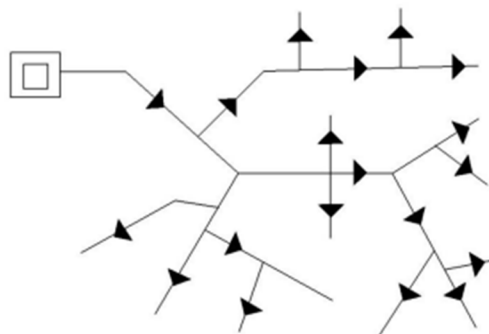
Obrázek 2-2 - Obecné schéma oblastního vodovodu [2]

K hlavním výhodám oblastních vodovodů a vodárenských soustav patří to, že dodávka vody do spotřebišť je, oproti místním vodovodům, spolehlivější. Pokud se týká optimalizace využitelnosti vodních zdrojů a centrálního řízení celého systému, je na tom, za předpokladu využití moderních prostředků výpočetní techniky, místní vodovod znatelně hůř. Je třeba podotknout, že u větších celků jsou investiční náklady znatelně vyšší, vzrůstá také nutnost dopravy vody na větší vzdálenosti a v případě významných poruch to může mít značný dopad na velký počet zásobovaných obyvatel. [2]

2.1.2 Uspořádání rozvodných sítí vodovodů

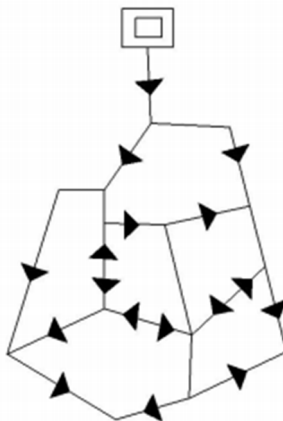
Podle topologické struktury dělíme vodovodní sítě na větvené, okružové a kombinované. Toto rozdělení se přímo odvíjí od prostorové a funkční vazby na určité spotřebišť.

Větvená síť má uspořádání jednotlivých řadů ve tvaru rozvětvené sítě, které nevytvářejí okruhy. Používá se u malých spotřebišť, kde liniový charakter zástavby nevytváří podmínky pro provozně účelné a ekonomicky přijatelné zaokružování vodovodní sítě. Výhoda této sítě spočívá zejména v pořizovacích nákladech, jednoduchém návrhu, provozních nákladech a jsou zde jednoznačné průtokové i tlakové poměry. Značnou nevýhodou je její poměrně malá provozní spolehlivost i to, že ke konkrétnímu místu se voda dostává pouze z jedné strany. Velký dopad na plynulost zásobování vodou mají poruchy a nárazové odběry. [2]



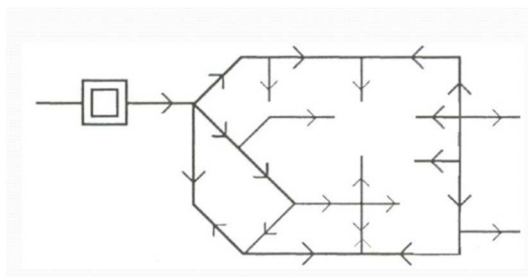
Obrázek 2-3 - Větvená vodovodní síť [2]

Charakteristickým znakem **okruhových sítí** je, že síť má uspořádání řadů do uzavřených okruhů, které se vzájemně dotýkají ve styčných úsecích a uzlech. Používá se u větších spotřebišť s převažujícím plošným charakterem zástavby, u které je technickoeconomicky a provozně účelné a výhodné zaokružování rozvodných řadů. Výhodou těchto sítí je skutečnost, že se ke každému odběrnému místu dostává voda ze dvou stran. Tím lze omezit dopad poruch na konkrétní řady nebo úseky. Tlaky v síti jsou vyrovnanější a voda cirkuluje. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, složitější navrhování i výpočet. [2]



Obrázek 2-4 - Okruhová vodovodní síť [2]

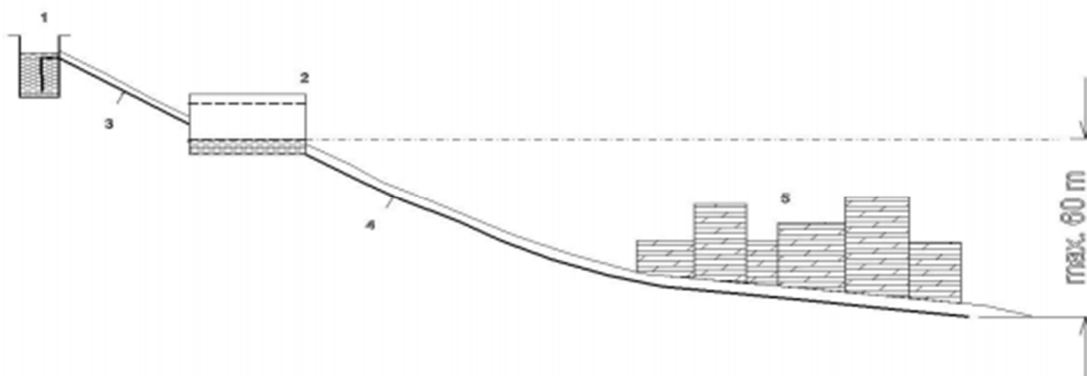
Kombinovaná síť je vhodnou kombinací obou předchozích typů sítí, kdy okruhová síť je ve svých okrajových částech doplněna sítí větvenou. Zahrnuje v sobě výhody a nevýhody obou typů sítí. [2]



Obrázek 2-5 - Kombinovaná vodovodní síť [2]

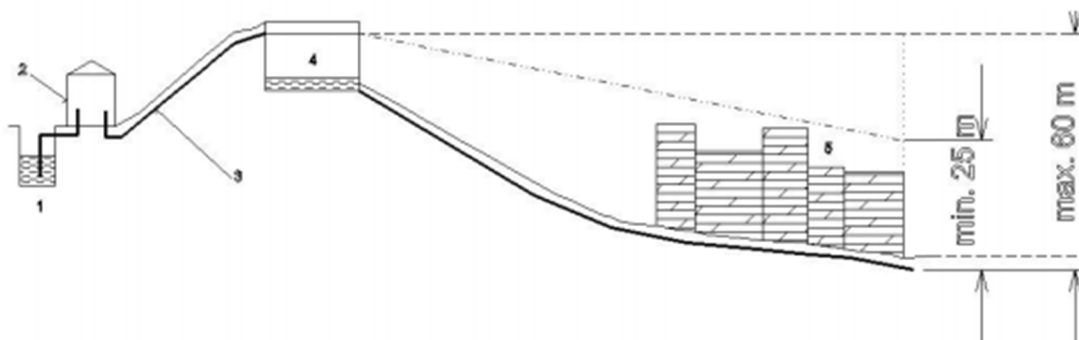
2.1.3 Rozdělení vodovodů podle výškového uspořádání

Gravitační vodovod se používá tehdy, pokud výškový rozdíl mezi vodním zdrojem a spotřebišťem je dostatečně velký a zajistí v celé rozvodné síti minimální hydrodynamický přetlak v hodnotě 0,25 MPa bez nutnosti čerpání. Při této variantě je voda ze zdroje přiváděna gravitačně na úpravnu vody, z úpravny vody přiváděcím řadem do vodojemu a z vodojemu zásobním řadem do spotřebišť. [2]



Obrázek 2-6 - Gravitační vodovod s vodojemem před spotřebištěm: 1- zdroj vody, 2 – vodojem před spotřebištěm, 3 – přívodní řad, 4 - zásobovací řad, 5 – spotřebiště [2]

Výtlačný vodovod je provozně méně výhodný, přesto je však častou navrhovanou variantou uspořádání vodovodů. Navrhuje se tehdy, pokud vodní zdroj vůči spotřebišti leží níže, ve stejné úrovni anebo jen o něco málo výše, takže gravitační doprava vody ze zdroje do spotřebiště není možná vůbec nebo možná je, ale nezajistí jeho dostatečné tlakové zásobení. Charakteristickým znakem všech výtlačných vodovodů je, že vodu z vodního zdroje, příp. úpravy vody, je nutno do vodojemu čerpat. [2]



Obrázek 2-7 - Výtlačný vodovod s vodojemem před spotřebištěm: 1- zdroj vody, 2 – vodojem před spotřebištěm, 3 – přívodní řad, 4 - zásobovací řad, 5 – spotřebiště [2]

Abychom dosáhli dodání potřebného množství vody do spotřebiště, je nutné docílit správného výškového rozdílu mezi vodojemem a spotřebištěm, nebo zařazením čerpací stanice do sítě, která tvoří vstup do zásobovacího řadu. Vodojem nebo čerpací stanice tvoří tlakové regulační prvek, který musí ve spotřebišti vyvodit minimální hydrodynamický přetlak 0,25 MPa (tlaková výška 25 m vodního sloupce) nad terénem. Při zástavbě do 2 nadzemních podlaží postačí přetlak 0,15 MPa nad terénem. Kvůli požáru musí být stále přítomna zásoba požární vody ve vodojemu a je nutné zásobovací řad řešit až do kritického okamžiku výskytu požáru. Při samotném výskytu požáru je možný pokles tlaku až na hodnotu 0,05 MPa nad terénem. [2]

2.1.4 Akumulace vody

K akumulaci vody slouží akumulční nádrže – vodojemy, které jsou nezbytnou součástí vodárenských systémů. K důvodům vybudování vodojemu patří schopnost vyrovnání přítoku do vodojemů a odběru vody z vodojemu. Díky tomu je umožněn rovnoměrný a plynulý odběr vody z jednotlivých zdrojů. [2]

Hlavní druhy vodojemů z hlediska účelu a funkce ve vodovodním systému a z hlediska jejich dimenzování jsou:

- **Vodojem hlavní**, rozdělovací, používá se u skupinových nebo oblastních vodovodů, tlakově ovládá vodojemy zásobník.
- **Vodojem zásobní**, vodojem tlakového pásma, který zajišťuje zásobování vodou rozvodné sítě určitého tlakového pásma a současně svým výškovým umístěním určuje tlakové poměry zásobovaného pásma.
- **Vodojem přerušovací**, který slouží pro přerušení tlaku.
- **Vodojem prací vody**, který je u úpraven vody samostatným objektem, ve kterém se akumuluje voda pro praní filtrů.
- **Vodojem provozní**, který zajišťuje akumulaci vody zejména pro provoz vodárenských objektů. [2]

Z hlediska požadované akumulace vody může mít vodojem více funkcí, v tom případě se stanoví využitelný objem vodojemu jako součet objemů vody, potřebných pro jednotlivé funkce kvůli tomu, že může dojít k souběžnému působení těchto funkcí. [2]

3 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍCH SÍTÍ

Matematické modelování je moderní obor, který se využívá téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Matematický model, též i jinak simulace, můžeme sestavit na základě teoretických poznatků a již ověřených teorií nebo ze získaných dat z empirického měření a výzkumu. Simulace založené na matematických modelech si našly své uplatnění v různých odvětvích technických oborů, v přírodních vědách, informatice nebo také v ekonomii. Matematické modely nezůstaly jen u základního i aplikovaného výzkumu, ale využívají se v praktických činnostech i ve výrobě. [3]

Matematické hydraulické modelování je moderní nástroj, ze kterého se v posledních letech stává nezbytný prostředek pro posouzení a návrh zásahů do systému zásobování vodou. Zpracovaný zkalibrovaný matematický model a vazba na externí datové zdroje umožňuje posouzení stávajícího systému zásobování vodou a návrh koncepce rozvoje na základě simulace chování distribučních a zásobních systémů. Rozborem hydraulických a kvalitativních výsledků simulací se identifikují slabá místa systému a to umožní návrh optimálních technických opatření a změn v systému distribuce vody a tím i optimalizaci investičních nákladů. [4]

Pomocí matematických modelů vodovodních sítí se řeší tyto nejčastější úlohy:

- snížení úniků (ztrát) vody ve vodovodní síti
- optimalizace tlakových pásem
- protipožární zabezpečení
- analýza kvality vody
- modelování vodního rázu

- posouzení stávajícího systému zásobování vodou z hlediska hydraulických a kvalitativních parametrů dodávky vody
- koncepční řešení dodávky vody pro rozvojová území
- výpočet kapacity vodovodních řadů [4]

3.1 HYDRAULICKÁ ANALÝZA VODOVODNÍCH SÍTÍ

Hydraulická analýza vodovodních sítí nám slouží ke stanovení základních hydraulických veličin (průtok, rychlost, tlaková ztráta atd.). Dále se využívá k posouzení návrhů, týkajících se nových trubních sítí (rozšiřování systému), napojení nových odběratelů nebo také pro potřebu rekonstrukcí rozvodů. [5]

Výhoda hydraulické analýzy, oproti přímému měření, je v tom, že osazení měřících přístrojů na síti je jak z hlediska časového, tak i po stránce finanční, velice náročné. Pravdou zůstává fakt, že přímé měření je daleko přesnější. Proto se v hydraulické analýze využívá kombinace matematického modelu a měření na reálné síti, kde se měří na pár předem vybraných místech.

Modely distribučních soustav můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupina je určena ke vhodnému návrhu budoucích distribučních soustav a případně k rozšiřování stávajících. Jedná se o modely, představující neexistující síť a podle kterých se při výstavbě dimenzuje. Druhou skupinou modelů je prezentace stávajících sítí, kde s jejich pomocí hledáme ztráty vody během transportu v potrubí. Tento typ modelů také používáme pro testování různých druhů scénářů, které se mohou vyskytnout při opravách vodojemů či potrubí, odstávkách zdrojů nebo úpraven pitné vody, při živelných katastrofách a celkově při optimalizaci sítě jako takové. [5]

Pomocí měrných bodů na vodovodní síti dostaneme výsledky měření, které použijeme ke správnému nastavení modelu. To se provádí pomocí kalibrace a verifikace, kdy dostaneme požadované informace o tlakových a průtočných poměrech. Abychom dostali potřebná data, musíme dodržet čtyři základní fáze:

- Sběr dat
- Výpočet vodovodní sítě
- Kalibrace a verifikace
- Analýza

Sběr dat je sám o sobě nejdůležitějším faktorem pro sestavení modelu. Výpočet nastává ve chvíli, kdy všechna potřebná data zadáme do modelu. Kalibrací si zajišťujeme korektnost výpočtu, kdy upravujeme vstupní data tak, aby se výsledná data z modelu, co nejvíce shodovala se skutečnými naměřenými hodnotami z vodovodní sítě. Kalibrace se provádí po prvotním odhadu vstupních parametrů. Verifikací si ověřujeme správnost provedení kalibrace, kdy máme naměřené hodnoty z měrné kampaně na síti a ty porovnáváme s výstupními hodnotami z modelu po kalibraci, kdy se snažíme, aby se co nejvíce shodovaly. Analýza, jako poslední fáze matematického modelování, nám slouží k předem stanovenému účelu, nejčastěji pro potřeby provozování a řízení stávajících vodovodních sítí. [6]

3.1.1 Kalibrace a verifikace

Kalibrace a verifikace si zaslouží samostatnou kapitolu, neboť pro správné fungování a posouzení modelu nám slouží, právě zmíněná kalibrace a verifikace, bez nichž bychom neověřili správnost a korektnost výpočtu matematického modelu. Při porovnávání kalibrace a verifikace s modelem se nesmí zapomenout, že model sám o sobě prošel jistým zjednodušením.

První, popisovanou kontrolu výpočtu, je kalibrace modelu. Ta nám slouží k porovnání výsledků z měření, kdy dostáváme informace o tlakových a průtočných poměrech na síti a hodnot získaných ze simulace, které se sečetly při hydraulické analýze. Při kalibraci se snažíme, aby odchylky mezi měřenými a simulovanými hodnotami, byly co nejmenší, ba dokonce nulové. Toho se může docílit, když vytvořený model upravujeme takzvanou metodou „pokusů a omylů“, do té míry, než hodnoty z měření a simulace, si jsou takřka totožné, nebo jejich odchylka mezi nimi je minimální. V modelu hydraulické analýzy se nachází mnoho parametrů, které nám ovlivňují výpočet a zkalibrovat všechny, za dosažení co nejvíce optimálního řešení či dokonce skutečného stavu, je velice obtížné. Proto se při kalibraci vybírá menší množství parametrů, se kterými se dá pracovat (tlak a průtok) a lze je jednodušeji upravit. Zbývající hodnoty se ponechají dle původního nastavení modelu.

Odchylku mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami stanovíme pomocí rozdílu tlaku Δp . Ten se spočte, když od naměřeného hydrodynamického tlaku v potrubí odečteme vypočítaný hydrodynamický tlak z modelu, který se dostane z uzlu ve stejném místě, jako místo osazení měřiče.

$$\Delta p = p_N - p_V \quad (3.1)$$

kde: p_N ... naměřený hydrodynamický tlak [m.v.sl.]
 p_V ... vypočítaný hydrodynamický tlak [m.v.sl.]

Docílí-li se rozdílu, který je menší než 0,01 MPa, dá se říct, že přesnost modelu je vyhovující. Kvůli tomu, že měřiče tlaku a průtoku mají na čidlech stanovenou minimální odchylku a zásadní roli, má i správné osazení na vodovodní síť, kdy při netěsnosti, v napojení měřiče, vznikají úniky, což jsou tlakové ztráty, které mohou ovlivnit měření. Dále se musí počítat i s kolísáním hladiny ve vodojemu aj.

Získávání dat pro kalibraci, předchází vytipování míst na rozvodné vodovodní síti. Tato místa měření vybíráme podle jejich polohy v síti, kdy rozhodují faktory jako výškopis (vysoko nebo nízko položené), polohopis (daleko od vodojemu, v centru spotřebiště) a jiné (tlakové poměry, velký odběratel = zajištění dodávky pitné vody atd.).

Po zkalibrování modelu, přichází na řadu verifikace. Díky ní můžeme přezkoušet model pro jiná období a zatížení systému než při kalibraci. Pomocí verifikace též ověřujeme správnost kalibrace modelu. Při verifikaci pracujeme s jinou sadou měřených vstupních dat, kdy nově naměřené hodnoty porovnáváme s již už kalibrovaným modelem a posuzujeme, zda daný simulační model je pro řešení stanovené úlohy dostatečně přesný a může být použit.

3.1.2 Typy hydraulické analýzy

Statická analýza

Slouží pro konkrétní okamžitý zatěžovací stav odběrů na síti, který je pro daný časový úsek neměnný (ustálené proudění). [1]

Kvazi – dynamická analýza

Řeší posloupnost statických analýz pro určitý počet časových intervalů. Ke změně zatěžovacích stavů odběrů a dalších fyzikálních parametrů (např. kóty hladin) dochází pouze na rozhraní jednotlivých časových intervalů. Posuzovaný časový úsek je zpravidla delší (den, týden) a časové intervaly mají obvykle stejnou délku (např. hodina). [1]

Dynamická

Řeší relativně krátké časové úseky s velmi krátkým intervalem (sekundy) změny průtokových a tlakových poměrů. Využívá se např. při hydraulické analýze vodního rázu (neustálené proudění). [1]

3.1.3 Vstupní data

Abychom mohli vytvořit model dané vodovodní sítě, musíme znát základní údaje o síti. Těmito základními údaji jsou data pro modelování a data pro kalibraci modelu. Jako první vytvoříme model pomocí topologie, tedy údaje polohové, směrové, délkové a výškové. Potom musíme přidat hydraulické parametry, jako je dimenze potrubí a trubní materiál, resp. hydraulická drsnost materiálu potrubí. Následně se musí zjistit hodnoty odběrů a vtoků do sítě, které zadáme do modelu, a je třeba znát potřebné údaje o objektech ovlivňujících vodovodní síť, jako jsou čerpadla, vodojemy, přerušovací komory, regulační ventily, uzávěry atd. [1]

3.1.4 Zadávání odběrů pro hydraulickou analýzu

Kvůli velkému počtu odběrných míst (domovních přípojek) nezadáváme do výpočtu každý odběr jako samostatné uzel. Rozsah sítě by tak vzrůstal do obtížně zvládnutelných rozměrů.

Proto se jako uzlové odběry zadávají pouze významné odběry (např. pro průmysl, větší zařízení občanské a technické vybavenosti apod.).

Drobné domácí odběry, které se realizují v rámci daného trubního úseku, se přesouvají do jeho krajních uzlů. Odběry se rozdělují podle určitých schémat, které jsou zpravidla zadány podle celkové potřeby spotřebiště Q_c . V rámci schematizace rozdělení celkové spotřeby daného média na jednotlivé úseky a stanovení odběru v i -tém úseku Q_i se nejčastěji používají metody: [1]

- Metoda redukovaných délek
- Metoda dvou součinitelů

Metoda redukovaných délek [1]

U této metody se ke každému trubnímu úseku přiřadí na základě hustoty a výšky zástavby redukční součinitel C_1 a pro každý jednotlivý úsek vypočteme tzv. redukovanou délku L_r :

$$L_r = C_1 \cdot L \quad (3.2)$$

kde: L ... skutečná délka úseku [m]

L_r ... redukovaná délka úseku [m]

Součtem všech redukovaných délek dílčích úseků se stanoví celková redukovaná délka sítě S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{ri} \quad (3.3)$$

kde: S_r ... celková redukovaná délka sítě [m]

L_{ri} ... redukovaná délka i -tého úseku [m]

Specifická potřeba dopravovaného média q_r se určí jako

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (3.4)$$

kde: q_r ... specifická potřeba [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
 Q_c ... celková potřeba spotřebiště [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Výsledný odběr i -tého úseku Q_i se stanoví jako

$$Q_i = q_r \cdot L_{ri} \quad (3.5)$$

kde: Q_i ... odběr i -tého úseku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Metoda dvou součinitelů [1]

Pokud jsou podklady o odběrech více podrobné, tedy pokud je možné každému odběrnému místu neboli přípojce přiřadit např. počet zásobovaných obyvatel, počet zásobovaných bytových jednotek, plochu zásobované zástavby atd., potom lze každému i -tému úseku přiřadit dva součinitele C_1 a C_2 .

Pro každý i -tý úsek určíme součin těchto dvou součinitelů P_i :

$$P_i = C_1 \cdot C_2 \quad (3.6)$$

kde: C_1 ... počet zásobovaných obyvatel, bytových jednotek, plocha zástavby
 C_2 ... specifická potřeba na účelovou jednotku použitou v rámci C_1

Stanovíme součet všech těchto součinů S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i \quad (3.7)$$

Specifická potřeba dopravovaného média q_r se určí stejně jako v předchozí metodě, tedy dle rovnice 2.3 a výsledný odběr i -tého úseku se stanoví jako

$$Q_i = q_r \cdot P_i \quad (3.8)$$

kde: Q_i ... odběr i -tého úseku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 q_r ... specifická potřeba [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
 P_i ... součin součinitelů C_1 a C_2 pro i -tý úsek [-]

U statické hydraulické analýzy pak odběr i -tého úseku Q_i rovnoměrně rozdělíme do obou krajních uzlů uvažovaného úseku tzn., že do každého krajového uzlu přiřadíme $0,5 \cdot Q_i$.

3.1.5 Základní podmínky hydraulické analýzy

Základem pro hydraulickou analýzu okružových tlakových sítí nestlačitelných látek jsou tři základní podmínky: uzlová, okružová a hydraulická. Tyto tři podmínky jsou také vyjádřením fyzikálních zákonů. [1]

Uzlová podmínka

Uzlová podmínka je vyjádřením zákona zachování hmoty. Říká, že součet všech přítoků do každého uzlu sítě se musí rovnat součtu odtoků z tohoto uzlu. (Neplatí pro závislé uzly, např.

vodojem).

Prisoudíme-li odběrům (odtokům) z uzlu kladnou hodnotu a přítokům do uzlu zápornou hodnotu, pak pro každý uzel sítě musí platit: [1]

$$\sum Q_i = 0 \quad (3.9)$$

Okružová podmínka

Vyjadřuje zákon zachování energie a říká, že součet tlakových ztrát přes všechny úseky tvořící nezávislý okruh při zvolené okružové orientaci je roven nule.

Okružovou orientaci volíme zpravidla kladnou ve směru pohybu hodinových ručiček. Je-li směr průtoku v daném úseku souhlasný se zvolenou okružovou orientací, uvažujeme tlakovou ztrátu kladně, je-li směr průtoku v daném úseku proti zvolené orientaci, uvažujeme tlakovou ztrátu v tomto úseku záporně. [1]

$$\sum h = 0 \quad (3.10)$$

Hydraulická podmínka

Hydraulická podmínka (stavová rovnice) udává vztah mezi tlakovou ztrátou h a průtokem Q v trubním úseku. Matematicky můžeme tuto podmínku pro kvadratickou oblast proudění pro vodovodní sítě vyjádřit např. pomocí Darcy – Weissbachovy rovnice: [1]

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3.11)$$

kde: λ ... součinitel ztrát třením [-]
 L ... délka úseku [m]
 d ... vnitřní průměr potrubí [m]
 v ... rychlost proudění při průtoku Q [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 g ... gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

3.2 VÝVOJ POTŘEBY VODY A JEJÍ VLIV NA VODOVOD

Při navrhování vodárenských systémů, návrhy dimenzí jednotlivých objektů vodovodu a jejich rozvoj, hraje zásadní roli potřeba pitné vody, která se odvíjí od počtu zásobovaných objektů. To má za následek, že už při výpočtu musíme počítat s jakousi nestálostí, tedy nerovnoměrností potřeby vody.

Vývoj spotřeby, jde ruku v ruce s ekonomickým aspektem dodávky pitné vody, jak od provozovatele, který musí vynaložit vyšší náklady, které vedou k zvýšení vodného, což může mít za následek snížení spotřeby od odběratele. Nemalou částí se na vývoji potřeby vody podepisuje rozsah zásobovaného území. Čím rozsáhlejší a početnější bude spotřebiště a počet napojených odběratelů, tím víc se dá očekávat, že vodovod nebude schopen zajistit dodávku pitné vody, může být ohrožena kvalita dopravované vody do spotřebiště a můžou nastat situace, kdy pro jistá místa na síti (z pravidla nejvýše položené) nebudou mít dostatečný hydrodynamický tlak.

Proto při výpočtech, na návrh vodovodní sítě, případně při dodatečném posouzení, se používají koeficienty nerovnoměrnosti. Díky nim dostaneme průtoky na síti, které zajistí potřebnou dodávku vody, i kdyby nastala neočekávaná situace, která by měla za následek zvýšení spotřeby vody. Taktéž se docílí naddimenzování sítě, které by do budoucna zvládlo pokrýt rozsáhlejší zásobované území.

Tabulka 3-1 - Koeficienty denní nerovnoměrnosti [7]

Podle Směrnice č.9/1973		Empirické hodnoty	
Počet obyvatel	k_d	Počet obyvatel	k_d
do 1 000	1,5	do 500	1,5
1 000 – 5 000	1,4	500 – 2 000	1,35
5 000 – 20 000	1,35	2 000 – 20 000	1,3
20 000 – 100 000	1,25	20 000 – 1 000 000	1,25
nad 100 000	1,15	nad 1 000 000	1,2

Koeficient hodinové nerovnoměrnosti k_h se urřčuje na základě charakteru zástavby v rozmezí intervalu **1,8 – 2,1**. Vyšší hodnoty se používají u spotřebišř, kde charakter zástavby je sídlišřního charakteru. Ikdyř se doporučuje tento interval hodnot, musím se brát v potaz, ře se jedná o orientační a hodnota se ve velké mře závisí na charakteru spotřebišř. [7]

S narůstajícím trendem sniřování spotřeby pitné vody, se dá docílit značné vyvážení potřeby vody, kdy se do budoucna dá řířt, ře tento trend se bude stupňovat, kdy v globálním měřřtku se vodárenské společnosti a spotřebišř, které si zásobování pitnou vodou řeší samy, řasto potýkají s nedostatkem vody. V každém případě se tyto společnosti musí připravit na tuto okolnost a již dopředu uvažovat o případných opatřeních a zlepšeních v oblasti zásobování pitnou vodou.

3.3 SOFTWARE PRO HYDRAULICKOU ANALÝZU

Počet softwarů pro hydraulickou analýzu za posledních řadu let značně vzrostl a jak se lidstvo vyvíjí, tak i s ním se vyvíjí pomůcky pro usnadnění práce, jako jsou právě softwary. Programy jsou dnes již sofistikovanější, kdy nabízí možnost interaktivní přepravy a propojení dat s geografickými informačními systémy (GIS), který si našel uplatnění už u více firem a provozovatelů vodovodů. Data získaná z měření ři z podkladů od zadavatele, lze díky softwarům jednoduře exportovat do matematického modelu, než složitě vše počítat ručně, kdy může lehce nastat situace, ře se stane chyba při výpořtu. Programy tuto okolnost z větší řásti eliminují.

Mezi nejpoužívanější produkty na trhu patří např.:

SiteFlow

Software slouřící pro správu, projektování a simulační modelování vodovodů a kanalizací (lze s ním modelovat plynovody, závlahové systémy a drenáže). Program je vyvíjen společností Aquion s.r.o. Součástí je digitální model terénu, polygonová topologie a WMS služby pro podkladní mapy. Siteflow dokáže řeřit stacionální a kvazi-dynamické proudění. [8]

Kypipe, Pipe 2018

Software pro modelování distribuce potrubí, který je navrřen pro provoz v prostředí GIS nebo CAD. Dokáže modelovat ve statickém, kvazi-dynamickém a i v dynamickém proudění. Často se využívají pro modelování požárních průtoků s různou volbou hydrantů v síři, rychlé hydraulické změny při manipulaci s uzavěry nebo řerpadly a jiné. [9]

MikeNet

MIKE NET je nejmodernější dostupný model pro distribuci vody na bázi EPANET 2.0. Může analyzovat celý systém rozvodu vody nebo vybrané řásti za simulací ustáleného nebo kvazi-

dynamického proudění pomocí gradientní metody. Umožňuje simulovat, v případě potřeby, analýzu kvality vody. [10]

WaterCAD, WaterGEMS

Software WaterCAD je podobný aplikaci Kypipe, kdy slouží jako spolehlivý nástroj pro podporu rozhodovacích procesů. Navrhuje efektivně nové vodovodní systémy a spravuje stávající vodovodní sítě k eliminaci rizika přerušení dodávek a k snížení spotřeby energie. U software je možnost přenosu dat do ArcGIS. [11]

Innovyze

Software využívaný pro modelování zásobování vodou, odvodnění a protipovodňové ochrany urbanizovaných oblastí, jenž si našel uplatnění v projekčních firmách, po celém světě.

Umožňuje exportovat a importovat data s aplikacemi ArcGIS a AutoCAD. [12]

3.4 EPANET 2.0

EPANET 2.0 je softwarová aplikace používaná v celém světě k modelování rozvodů vody. Byl vyvinut jako nástroj pro chápání pohybu a osudu složek pitné vody v distribučních systémech a může být použit pro mnoho různých typů aplikací v analýze distribučních systémů. Dnes se EPANET 2.0 používá k návrhu a posouzení nové vodní infrastruktury, k doplnění stávající infrastruktury, k optimalizaci provozu nádrží a čerpadel, snížení spotřeby energie, zkoumání problémů s kvalitou vody a přípravě na mimořádné situace. Může být také použit k modelování hrozeb kontaminace a hodnocení odolnosti vůči bezpečnostním hrozbám nebo přírodním katastrofám. [13]

EPANET 2.0 se aplikuje ve dvou simulacích hydraulických poměrů, a to v statické a kvazi-dynamické, a dále v kvalitativních parametrech tlakových trubních systémů. Jedná se o snadno ovladatelný analytický nástroj, který umožňuje lépe porozumět hydraulickým poměrům, pohybům Newtonovských kapalin a šíření znečištění v síti. V současné době se aplikace využívá po celém světě a to k analýzám distribučních systémů, výběrům míst pro odběr vzorků vody, kalibracím hydraulických modelů, analýzám koncentrací zbytkového chlóru atd. [14]

3.4.1 Základní charakteristika uživatelského prostředí EPANET 2.0

S programem EPANET mohou uživatelé provádět dlouhodobou simulaci chování hydrauliky a kvality vody v tlakových potrubních sítích, které se skládají z potrubí, uzlů (spojení), čerpadel, ventilů, vodárenských nádrží a zásobníků. Může být použit ke sledování toku vody v každém potrubí, tlaku v každém uzlu, výšce vody v každé nádrži, chemické koncentraci, stáří vody a sledování zdroje v síti během simulačního období. [13]

Uživatelské rozhraní EPANETu poskytuje vizuální síťový editor, který zjednodušuje proces vytváření potrubních síťových modelů a editaci jejich vlastností a dat. Při interpretaci výsledků síťové analýzy se používají různé nástroje pro hlášení a vizualizaci dat, včetně barevně kódovaných síťových map, datových tabulek, spotřeby energie, reakce, kalibrace, grafů časových řad a grafů profilů a obrysů. [13]

EPANET obsahuje nejmodernější hydraulický analytický software, který obsahuje následující funkce:

- Provoz systému založený na jednoduchém ovládání úrovně nádrže nebo časovače a na složitých kontrolách založených na pravidlech.

- Žádné omezení velikosti sítě, které lze analyzovat.
 - Vypočítá ztrátu třením pomocí vzorce Hazen-Williams, Darcy-Weisbach nebo Chezy-Manning.
 - Zahrnuje malé místní ztráty pro ohyby, kování atd.
 - Modely čerpadel s konstantními nebo proměnnými otáčkami.
 - Vypočítá čerpací energii a náklady.
 - Modely různých typů ventilů, včetně uzavírání, kontroly, regulace tlaku a řízení průtoku.
 - Umožňuje nádržím mít jakýkoli tvar (tj. průměr se může měnit s výškou).
 - Uvažuje více kategorií odběrů v uzlech, z nichž každá má svůj vlastní časový průběh.
- [13]

3.5 DATALOGGERY

Datalogger je název zařízení, kterým se označují měřiče, zpravidla elektronické, obecně používané pro měření vlhkosti, napětí, tlaku, průtoku atd., které se osazují přímo na sledovaný objekt. Datalogger jsou vhodným pomocníkem při zjišťování dat, potřebných ke kalibraci. Pro vodárenské účely se využívají datalogger, které jsou schopny měřit tlak a průtok vody v potrubí a využívají se i datalogger, jenž mají schopnost zaznamenat kvalitu vody, případně i stáří pitné vody.

Datalogger jsou v dnešní době zpravidla telemetrická zařízení, kdy většina operuje s vlastní baterií, tudíž není potřeba připojení k elektrické síti a můžeme je osadit i do objektů, které přívod elektriny nemají. Zapojení dataloggerů do vodovodní sítě, se provádí přes konektory, které jsou vodotěsné a připojují se přes těsnící uzávěři. Na konektoru jsou čidla, která sbírají data z měření. Hlavní výhodou dataloggerů je možnost naprogramování zařízení na intervaly měření, kdy se nastaví, v jakých časových úsecích budou sbírat data. Dále se může nastavit, při kterých tlakových poměrech nebo průtocích v potrubí se sepnou a začnou shromažďovat data. Pro každý datalogger se vytváří program, kterým se datalogger může ovládat nebo nastavit. Tento program dodávají firmy jako součást dodávky dataloggeru, nebo jej lze stáhnout z jejich stránek na webu a nebo jej dodají dodavatelé, kteří dodávku příslušného měřiče zprostředkovávají. Některé datalogger jsou vybaveny i anténou, za jejíž pomoci mohou přenášet informace v čase a dotyčný je schopen posuzovat dané naměřené hodnoty vzdáleně od měřiče a nemusí se k dataloggeru napojit přímo přes kabel.

Na trhu se vyskytuje velké množství firem, které se zabývají výrobou, případně osazením dataloggeru na posuzovanou vodovodní síť, kdy ve své nabídce mají pestrou škálu dataloggerů, kde každý má svou specifickou vlastnost pro danou problematiku. Jak již bylo dříve zmíněno při posuzování i při návrhu vodovodu, významnou roli hrají naměřené hodnoty, díky nimž dokážeme kalibrovat matematické modely a dosahujeme tak přesnějších výsledků. K tomu nám slouží datalogger, které tyto hodnoty obstarávají.

3.5.1 Datalogger Xilog⁺

Xilog⁺ je telemetrický datalogger vyráběný firmou Primayer, která se zabývá detekcí a lokalizací úniků ve vodní síti (Společnost Radeton poskytuje technickou podporu při nastavování a použití). Xilog⁺ je schopen přenášet data po GSM síti prostřednictvím SMS či GPRS a nebo pomocí konektoru. K dataloggeru se dodává i externí anténa. [15]

XiLog+ vlastnosti:

- Zaznamenává průměrné hodnoty v intervalu od 1s až 24h, dále celkový průtok za posledních 24h, minimální a maximální hodnoty za posledních 24h.
- Kapacita paměti 1GB umožňuje uchovat 200mil. hodnot.
- Odesílání zaznamenaných dat pomocí SMS zpráv nebo GPRS přenosem, okamžité odesílání alarmů na zvolené číslo. Možnost odesílání dat každých 15min.
- Plně ponořitelný díky krytí IP68.
- Kompatibilní se všemi vodoměry Kent, Meinecke (Socam), Schlumberger, ABB Kent-Taylor.
- Dokáže zaznamenávat obousměrný průtok v rámci jednoho vstupu.
- Zabudovaný nebo externí tlakový senzor
- Přesnost měření tlaku $+0.1\%$
- Záznam událostí - monitorování změn stavů, zasílání alarmů při překročení nastavených hodnot.
- Vysoce výkonná zabudovaná podzemní anténa nebo externí anténa
- Režim probuzení umožňuje pravidelnou komunikaci s dataloggerem
- Alarmy - zasílání upozornění pomocí SMS/GPRS při překročení nastavených nebo nasnímaných prahových hodnot.
- Kompatibilní se staršími modely čidel [15]

Použití pro datalogger Xilog+:

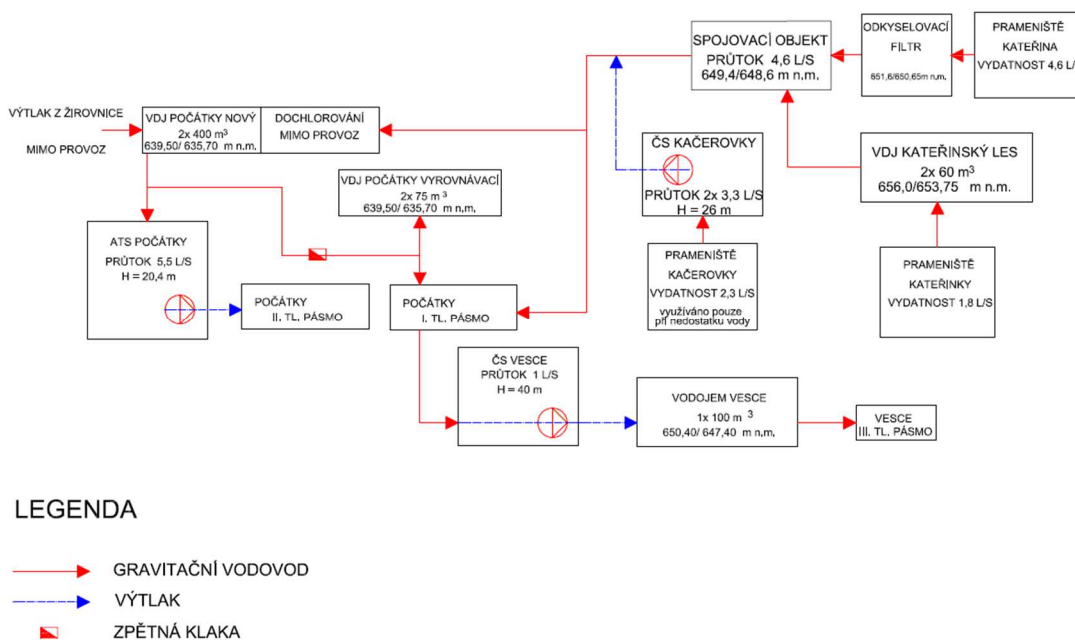
- Monitorování průtoku
 - úniky (snižování ztrát vody)
 - regulace
 - domácí i průmyslové využití
- Monitorování hydraulických sítí
- Sledování tlaku
- Hlídání hladiny vodojemů, řek
- Srážkové úhrny [15]



Obrázek 3-1 - Datalogger Xilog+ [14]

4 ŘEŠENÁ LOKALITA – MĚSTO POČÁTKY

Vodovodní síť města Počátky je převážně zokruhovaná, v některých úsecích, zejména koncových, větvená. Vodovodní síť je rozdělena na tři tlaková pásma. I. dolní tlakové pásmo zahrnující převážnou většinu města je zásobeno z nového vodojemu Počátky a z vyrovnávacího vodojemu Počátky. Voda je do tohoto vodojemu přiváděna z prameniště východně od města. II. horní tlakové pásmo je zásobeno také z těchto vodojemů přes ATS – automatickou tlakovou stanici. Jedná se o lokalitu sídliště panelových domů. III. tlakové pásmo - místní část Vesce tvoří další samostatné tlakové pásmo zásobené z vodojemu Vesce. Vodovod Počátky je zásoben podzemní vodou, která je jímána soustavou zářezů vybudovaných u Kateřinek, severovýchodně od města. Nové zdroje v Kateřinkách – zdroj Kateřina, studně a zářezy jsou gravitačně svedeny přes odkyselovací filtr do spojovacího objektu, kam je svedena voda i z VDJ Kateřinský les. Dalším zdrojem jsou studny v prameništi Kačerovky jižně od Kateřinek. Z nich je voda svedena do čerpací a odkyselovací stanice. [16]



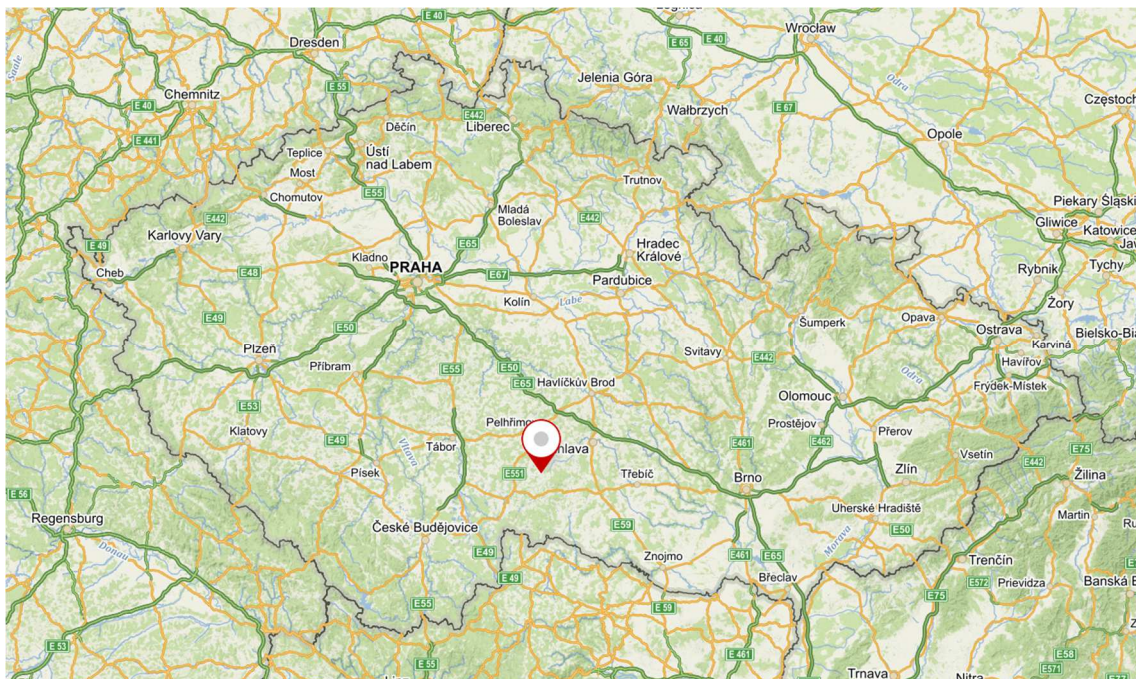
Obrázek 4-1 - Schéma vodovodu města Počátky [16]

4.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE VODOVODU

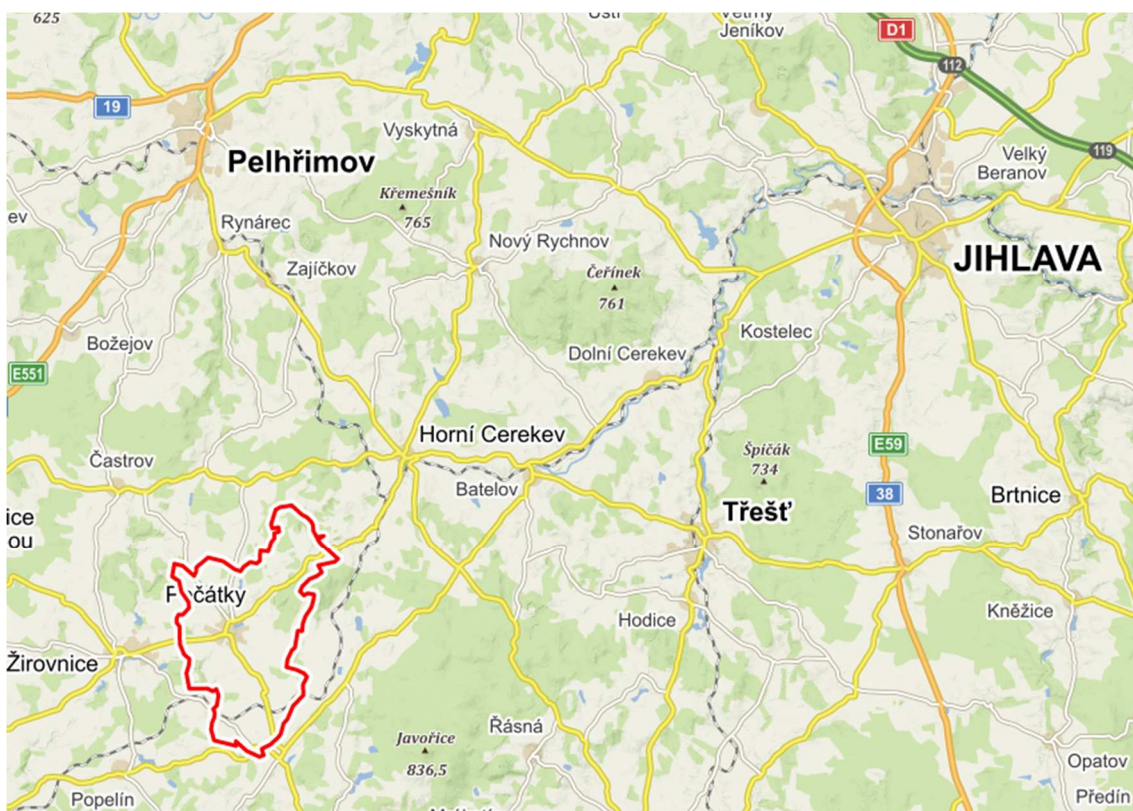
Vlastník vodovodu:	Město Počátky
Provozovatel vodovodu:	Vodotechnické služby s.r.o.
Sídlo:	Horní 87 39464 Počátky
Identifikační číslo:	26048477
Statutární orgán:	Rada města Počátky [9]

4.2 POPIS VODOVODU

Zkoumaná vodovodní síť se nachází v městě Počátky, přibližně 31 km jihozápadně od Jihlavy a 20 km severně do Pelhřimova. Město se rozkládá v okrese Pelhřimov, v kraji Vysočina. Nadmořská výška města je v rozmezí 600 až 630 m.n.m. a katastrální výměra činí 30,83 km². Podle posledního sčítání žije ve městě 2 551 obyvatel [17]



Obrázek 4-2 - Počátky, Česká republika [18]



Obrázek 4-3 - Počátky; okres Pelhřimov, kraj Vysočina [18]

4.2.1 Charakter zástavby

Město Počátky, které se nalézá na rozhraní Čech a Moravy, je typickým příkladem malého městečka. Na zastavěné ploše, o rozloze 30,83 km² se rozkládá přes 600 domů, úředních budov a průmyslových stavení. Velká část domů je většinou dvoupodlažních, ale nemalou část tvoří i panelové domy, které jsou situovány v městské části Sídliště (u VDJ Počátky). V obci se

nachází, z pohledu sociální vybavenosti, pošta, městská knihovna, zdravotnické zařízení, mateřská škola, základní škola Otokara Březiny, sokolovna a policie. Obec by se dala, podle způsobu jejího využití, rozdělit na více částí. Směrem na Žirovnici se nachází průmyslová část, kde sídlí firma ČESAD Počátky s.r.o., která se zabývá mezinárodní kamionovou dopravou a několik firem menšího rozsahu. Dále bychom mohli město rozdělit na část, kde se nachází bytové domy, tedy sídliště. Ta se rozpíná v severozápadním koutě města, mezi ulicemi Žirovnická po náměstí Lipárecké. Centrum města leží v jihovýchodním cípu města, kde je soustředěna veškerá sociální vybavenost. Rodinné domy jsou rovnoměrně rozloženy po celé rozloze města. Za zmínku stojí i příměstská část Vesce, neboť je rovněž zásobována pitnou vodou z městského vodovodu.

4.3 STRUČNÝ POPIS VODOVODU

Model v EPANETu je koncipován jako statická analýza, proto je model zjednodušen o vynechání pramenišť z výpočtu. V modelu je uvažováno s nádržemi, vodojemy a vodovodní sítí.

4.3.1 Vodovodní síť

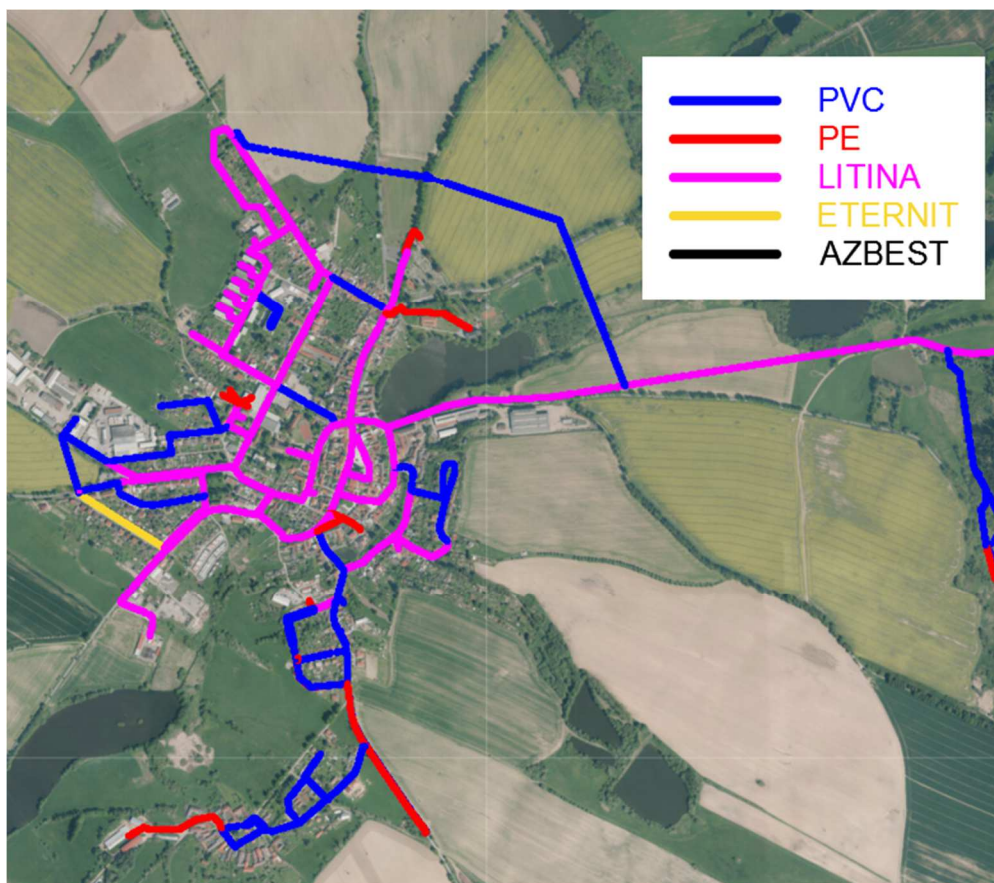
Vodovodní síť je převážně zaokruhovaná, v některých úsecích, převážně koncových - větvená. Celková délka vodovodní sítě činí 19 397 m. Samotné město Počátky je rozděleno na dvě tlaková pásma, samostatné tlakové pásmo tvoří místní část Vesce. Hlavní přívodní řád z prameniště je z litinového potrubí DN 150 a PVC DN 150. Řady na síti jsou z litinového potrubí nebo z PVC (ojediněle se objevuje i potrubí azbestové) DN 150, 100, 80 a 50 mm. [16]



Obrázek 4-4 - Rozvodná síť města Počátky



Obrázek 4-5 - Tlakové pásma vodovodní sítě Počátky



Obrázek 4-6 - Rozdělení vodovodní sítě dle materiálu potrubí

4.3.2 Objekty

Ve vodovodní síti města Počátky jsou osazeny objekty různého charakteru. Všechny objekty při vytváření matematického modelu nebyly použity, jako například automatická tlaková stanice, spojovací nádrž a především zdroje pitné vody. Je to z důvodu, že pro posouzení vodovodní sítě Počátky se použila statická metoda, která nepočítá s plněním nádrže v čase, tedy v potrubí je ustálené proudění a průběh ze zdrojů, zde není potřebný uvažovat. Mezi objekty, které byly použity i v modelu, patří především vodojem, jenž je na vodovodní síti zastoupen čtyřikrát. Další objekty vodovodní sítě, využitě v modelu vodovodu Počátky, jsou čerpací stanice, které se na síti objevují celkem čtyřikrát. Spojovací nádrž a tím pádem zdroje do něj natékající, byly nahrazeny nádrží, která představuje zdroj pitné vody a to samé se provedlo u zdrojů z Kačerovky. Totéž platí u ATS Počátky, která byla z výpočtu vypuštěna.

a) Vodojem V1 v Kateřinském lese

Zemní vodojem 2x60 m³

Minimální provozní hladina: 656,00 m.n.m.

Maximální provozní hladina: 659,80 m.n.m.

Vodojem slouží k zajištění dodávky pitné vody do města Počátky. Strojní zařízení manipulační komory tvoří potrubí a uzávěry pro přívod, regulaci a odběr vody z jednotlivých komor vodojemu. Přívodní potrubí je zhotoveno z litiny DN 100. [16]

b) Čerpací stanice Kačerovky

Objekt sestává z akumulční nádrže o objemu 20 m³. Voda je přivedena přímo ze svedného řadu. Nádrž má přepad a výpusť z litiny DN 100, které jsou svedeny do prostoru armaturní komory. Ve strojovně jsou osazena 2 čerpadla NRA Q = 200 l/min, H = 26 m, A-2x900 otáček za minutu. [16]

c) Vodojem Počátky – vyrovnávací

Zemní vodojem 2x75 m³

Minimální provozní hladina: 635,70 m.n.m.

Maximální provozní hladina: 639,50 m.n.m.

Vodojem byl vybudován pro zajištění dodávky pitné vody pro dolní tlakové pásmo. Vodojem není propojen s vodojemem Počátky – nový. Vyrovnávací VDJ je dvoukomorový, komory jsou kruhové. Přívodní potrubí je z PVC DN 160. [16]

d) Vodojem Počátky – nový

Zemní vodojem 2x400 m³

Minimální provozní hladina: 635,70 m.n.m.

Maximální provozní hladina: 639,50 m.n.m.

Vodojem slouží k zajištění dodávky pitné vody pro velkou část města Počátky (je umístěn u silnice Počátky – Ctiboř – Častrov). Vodojem je dvoukomorový a je zásobován z prameniště Počátky. Výška vody v nádrži je 3,8 m. Zásobní řad je z litinových trub DN 200. [16]

e) Čerpací stanice Vesce

Vlastní komora je samonosná plastová šachta kruhovitého půdorysu o průměru 1,5 m, výška 2,0 m. Na vodovodním řadu, který prochází šachtou, je osazena automatická tlaková čerpací stanice, o průtoku Q = 1,0 l/s s výtlačnou výškou 40 m. Provoz je optimalizován na čerpání v nočních hodinách. [16]

f) Vodojem Vesce

Zemní vodojem 100 m³

Minimální provozní hladina: 647,10 m.n.m.

Maximální provozní hladina: 650,40 m.n.m.

Vodojem zajišťuje dodávku pitné vody pro místní část Vesce. Komunikační přístup je krátkou provozní cestou přímo ze silnice Počátky – Horní Vilímeč. Voda je do VDJ dopravována pomocí Čerpací stanice Vesce, která ji přivádí přímo z vodovodní sítě. [16]

Obrázek 4-7 - Výškové schéma vodovodu Počátky [16]

4.4 MĚRNÁ KAMPAŇ

Na vodovodu Počátky bylo zhotoveno měření tlaků ve vodovodní síti, pomocí dataloggerů. Měření bylo provedeno v termínu 28.10 – 6.11.2019, na 4 vybraných místech. Místa osazení dataloggerů se zvolila v závislosti na tom, zda bylo možné našroubovat tlakový senzor na vodovodní řad a osadila se na místa tak, aby byla pokryta velká část posuzované vodovodní sítě. Místo osazení se rovněž volilo podle výškové polohy, pro větší škálu tlakových poměrů, z které se dala posuzovat schopnost dodávky vody pro lokalitu okolo zvoleného místa. Při výběru míst pro měření se muselo dbát rovněž na to, aby bylo možné zabránit k odcizení měřících zařízení, vybrána tedy byla místa v budovách, či objektech, které jsou ve správě města. Při dodržení této myšlenky se vytipovala 4 místa měření. První datalogger se osadil na potrubí přiváděcího řadu do VDJ Počátky, kde byl osazen i druhý, na odběrném potrubí do spotřebiště. Zbývající dva měřiče se připojily na síť, v suterénu ZŠ Otokara Březiny a v městské ČOV. Lokalita osazených dataloggerů je lépe vystižena na obrázku 4-8.



Obrázek 4-8 - Místa měření

Dataloggery pro měření byly vybrány XiLog⁺ od firmy Primayer, s tlakovými čidly s rozsahem 0-10 Bar. Čidla měřila tlak po 5 minutách.

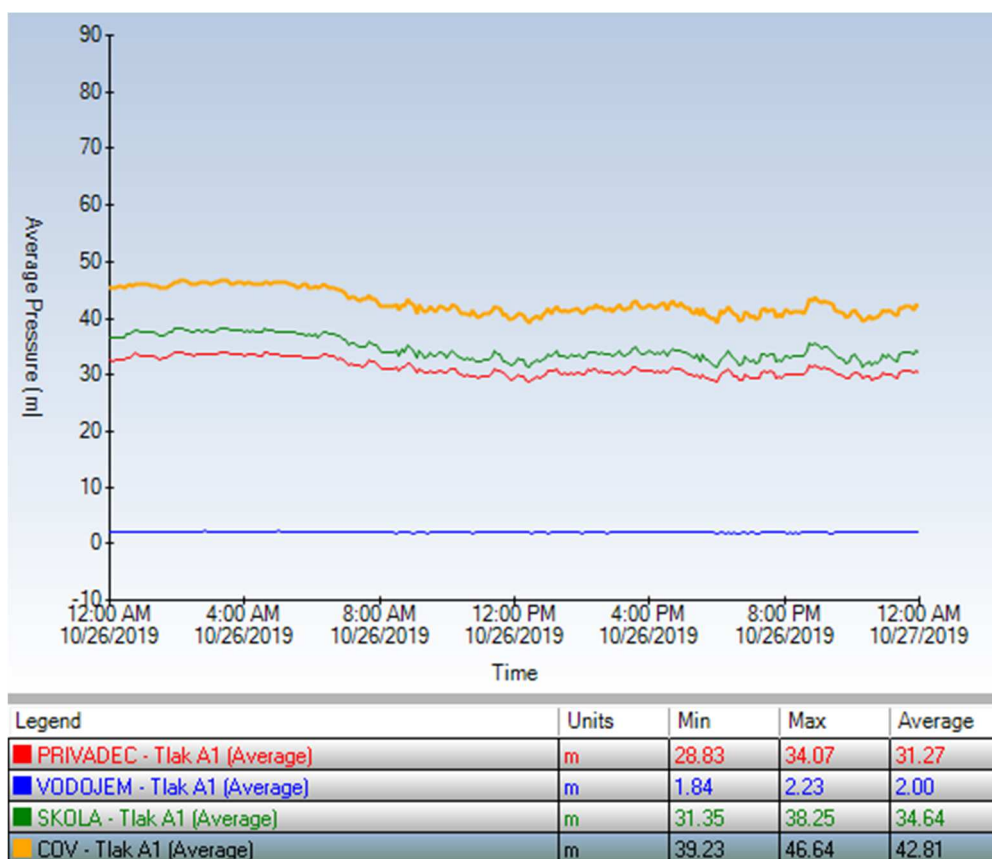
4.4.1 Vyhodnocení měření

Většina použitých dataloggerů byla osazena na prvním tlakovém pásmu, které je rozlohou největší. První z měřičů byl osazen v revizní šachtě na přivaděči, směrem na VDJ Počátky – nový, která se nachází zhruba 760 m od centra, na ulici Lázeňská, směr Jihlávka. Další datalogger s číslem 2, se napojil na začátek I. tlakového pásma, a to ve VDJ Počátky – nový. Pořadové číslo 3 měl datalogger připojený v místní Základní škole. Datalogger číslo 4 měřil tlak v Čistírně odpadních vod, která je zároveň nejnižším bodem na síti.

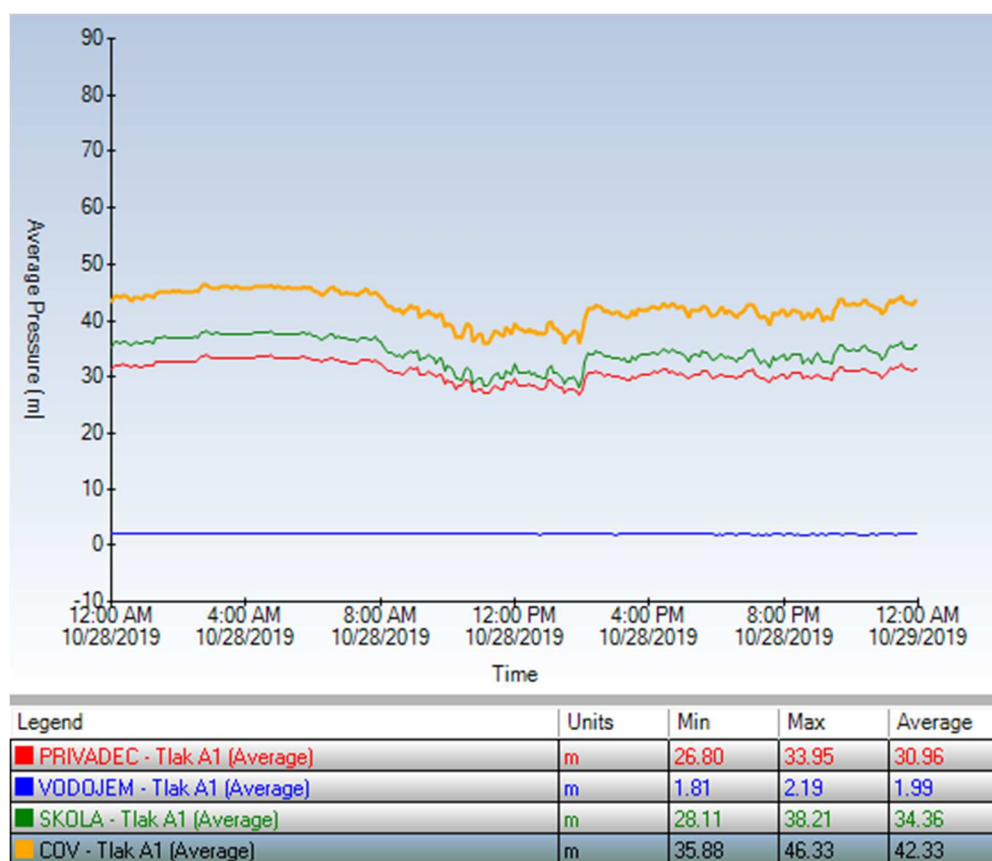
Z měření byly vybrány 4 dny pro stanovení minimální, maximální a průměrné hodnoty tlaku (viz. Tab. 1), v daných měřených místech, podle kterých se mohl zkalibrovat hydraulický model. Hodnoty se se odečítaly z grafu, z celého měřeného dne.



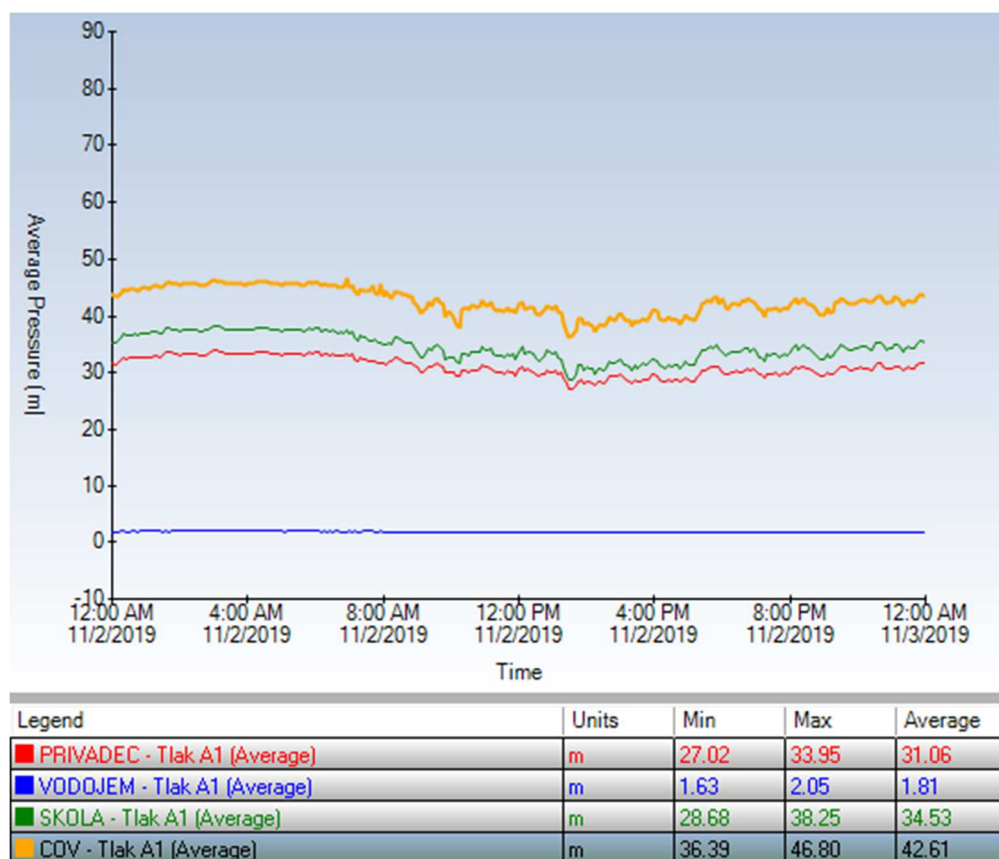
Obrázek 4-9 - Datalogger Xilog+, při zapojení [15]



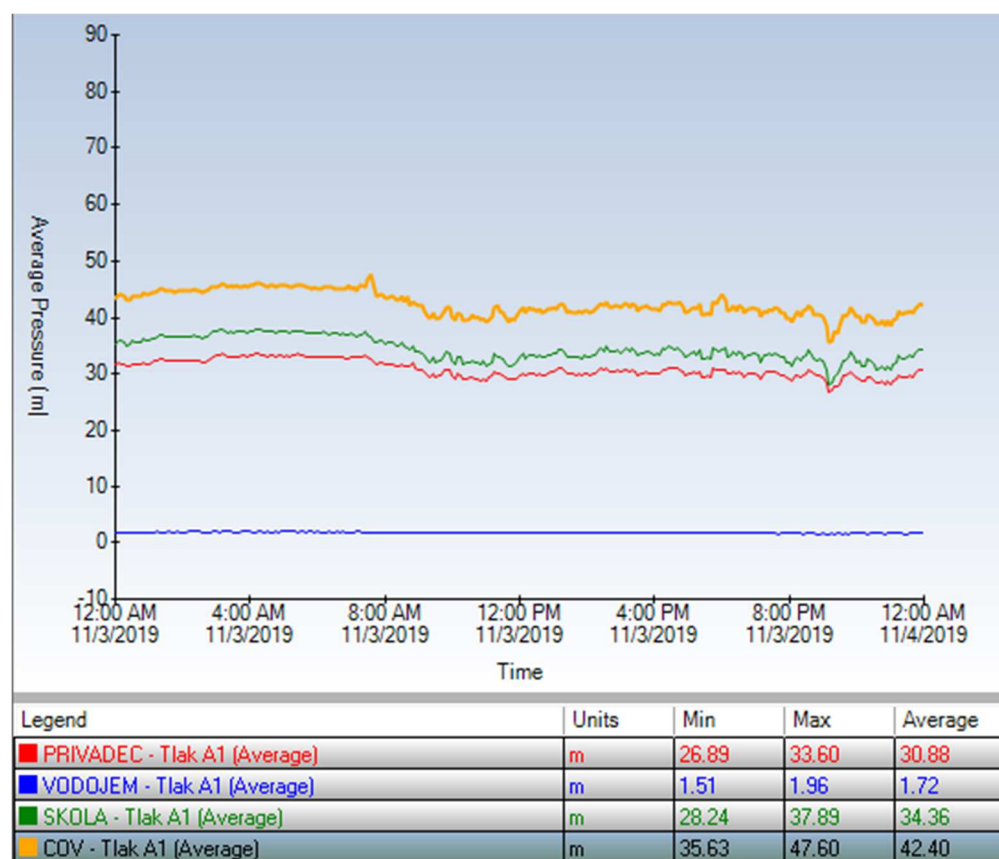
Obrázek 4-10 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 26.10. - 27.10.



Obrázek 4-11 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 28.10. - 29.10.



Obrázek 4-12 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 2.11 - 3.11.



Obrázek 4-13 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 3.11. - 4.11.

Tabulka 4-1 – Aritmetický průměr tlaků ze 4 měřených dnů

	Tlak [m.v.sl.]		
	Min	Max	Průměr
Přivaděč na VDJ Počátky - nový	27,39	33,89	31,04
VDJ Počátky - nový	1,70	2,11	1,88
ZŠ Otakara Březiny	29,10	38,15	34,47
Čistírna odpadních vod Počátky	36,78	46,84	42,54

Po vyhodnocení naměřených hodnot se průměrná hodnota tlaku, ve třech měřených částech vodovodní sítě, pohybovala kolem 3,1 bar až 42,5 bar. U VDJ Počátky – nový vycházela hodnota tlaku 1,9 bar, což je způsobeno výškou hladiny 2 m v nádrži a tlakovými ztrátami, případně menšími úniky vody. V I. tlakovém pásmu, které gravitačně zásobuje většinu města, se tlak, podle vyhlášky MZe č.428/2001 Sb., má pohybovat v rozmezí 0,15 MPa až 0,6 MPa (to odpovídá 1,5 bar až 6,0 bar). Závěr je takový, že tlak ve vodovodní síti je optimální a žádné měření se nepohybovalo pod minimální hodnotou tlaku 0,15 MPa a nepřekročilo maximální hodnotu tlaku 0,6 MPa, stanoveného vyhláškou [9]. Při měření nebyly zaznamenány žádné hydraulické rázy.

4.5 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

4.5.1 Stanovení drsnosti potrubí

Kvůli tomu, že se na síti objevuje různá škála materiálu, byly stanoveny hodnoty drsností pro daný typ materiálu. (tabulka 4.5.1). Hodnoty se stanovily na základě patřičných zkušeností a po konzultaci s vedoucím práce. Z důvodu toho, že se nedá určit stáří potrubí, bylo uvažováno s průměrnými hodnotami. Drsnosti jsou v mm, pro výpočet dle White-Colebrook.

Tabulka 4-2 - Drsnosti potrubí

Materiál	Drsnost – k [mm]
PVC	0,01
PE	
Litina	2
Azbest	0,4

4.5.2 Potřeba vody

Potřeba vody pro město Počátky, byla stanovena na hodnotu 350 m³/den. Tato hodnota se odvodila ze skutečnosti, že přesná spotřeba se nedala určit. Důvodem bylo, že přivaděč, který přivádí vodu na vodojem Počátky – nový, přivádí i vodu do sítě, takže se dá spotřeba určit odhadem na hodnoty mezi 340 – 360 m³/den. Proto byla vybrána mezní hodnota 350 m³/den. Protože problematiku řešíme statickou analýzou, byly určeny dva zatěžovací stavy (dále jen ZS), s každou samostatnou potřebou pro daný zatěžovací stav.

I.ZS

Průměrná denní potřeba vody Q_p 350,00 [m³/den]

II.ZS

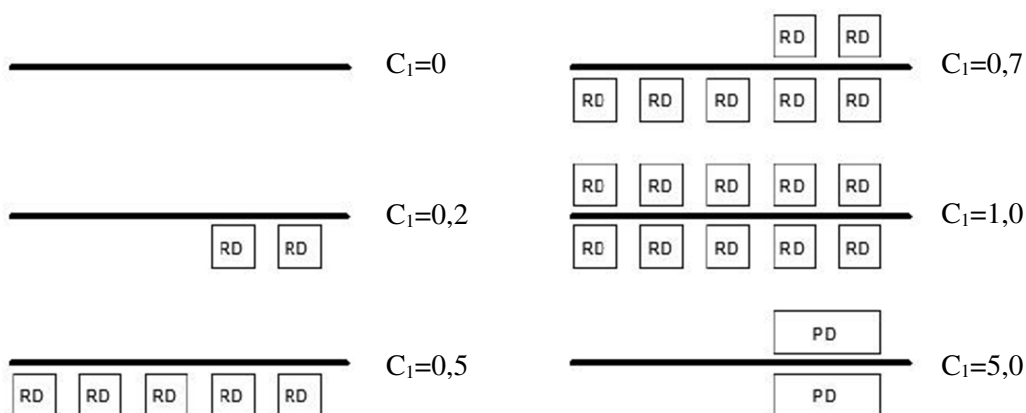
Maximální hodinová potřeba vody Q_m 826,50 [m³/den]

4.5.3 Zadávání odběrů

Zadání odběrů bylo řešeno pomocí bodových odběrů, které se spočítaly z celkové potřeby vody. Pro stanovení bodových odběrů byla použita metoda redukovaných délek. Tato metoda byla vybrána pro svou jednoduchost a dostatečnou přesnost. Postup pro výpočet byl už popsán v dřívější kapitole (kapitola 3.1.4) této seminární práce.

Koeficienty zástavby C_1

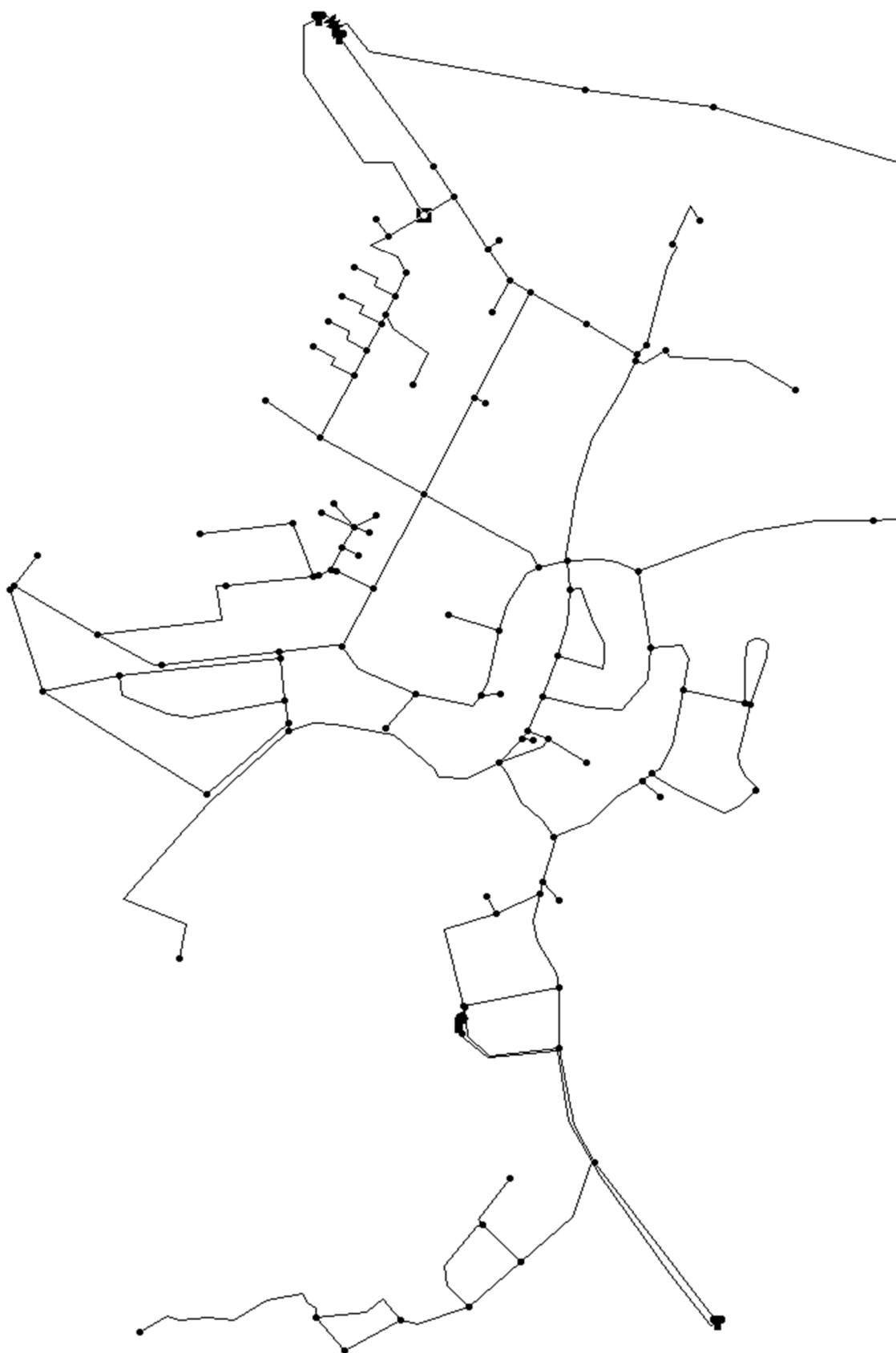
Volba koeficientu zástavby, pro jednotlivé úseky, je zobrazena níže na Obrázku 4-14, kde se vychází z nejčastějšího typu zástavby v obci. V tomto případě nejhojněji zastoupené jsou rodinné domy po obou stranách vodovodní sítě. Z toho důvodu byla tomuto typu zástavby přidělena hodnota 1,0. U typu zástavby s bytovými domy jen na jedné straně, bylo uvažováno s hodnotou 1,0.



Obrázek 4-14 - Koeficienty zástavby C_1

Jednotlivé úseky

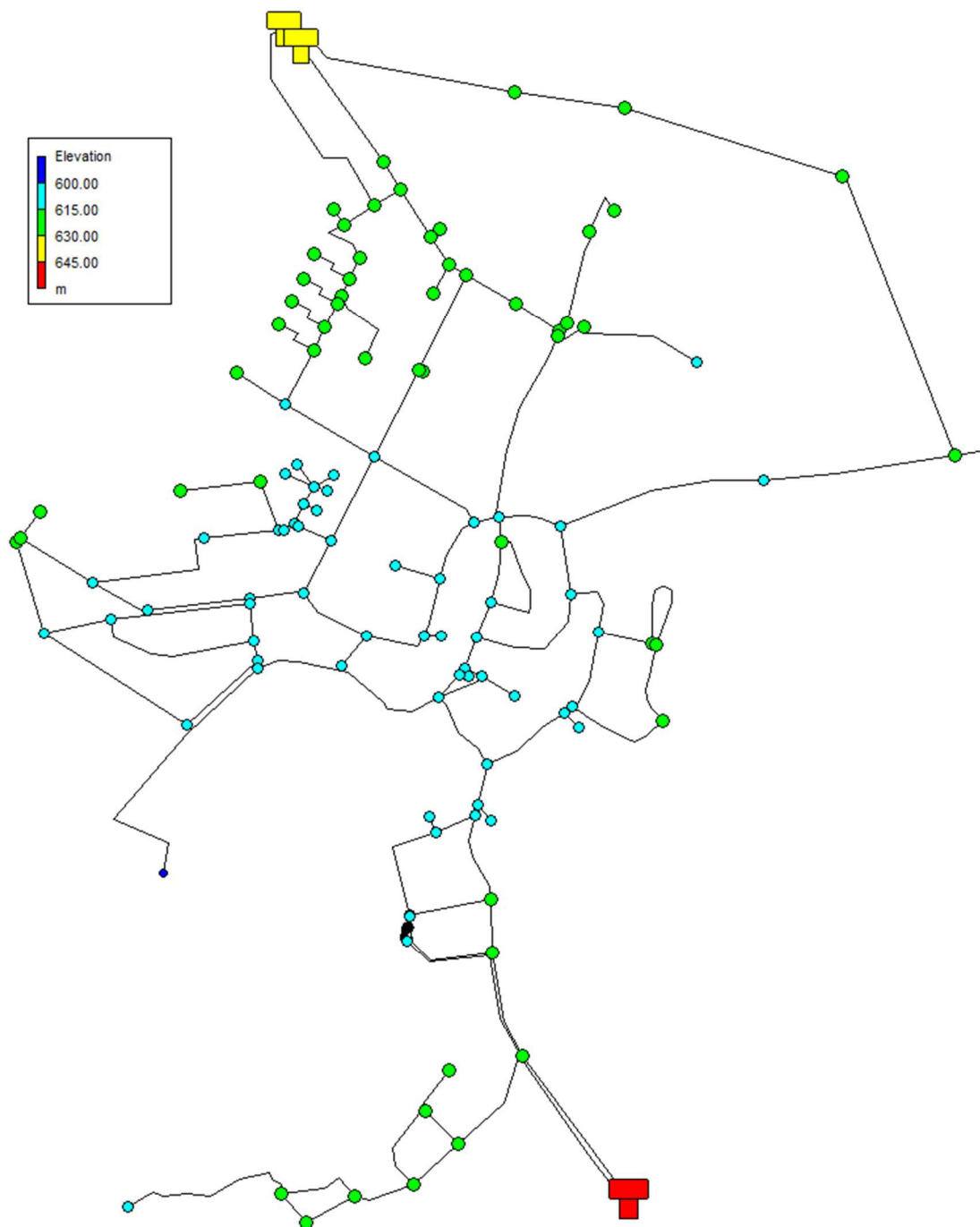
Celá vodovodní síť byla rozdělena na jednotlivé úseky. Při rozdělování sítě se postupovalo tak, že se nejdřív určily body, a mezi příslušnými body se vytvořily úseky (vodovodní potrubí). Body se osazovali na místa, kde docházelo k rozdělení řadů, nastala změna materiálu potrubí, případně délka úseku přesáhla délku 400 m. Názorný přehled rozdělení sítě na body a úseky je zobrazen na obrázku 4-15.



Obrázek 4-15 - Rozdělení vodovodní sítě Počátky na uzly a úseky

4.5.4 Výpočet tlaků a rychlostí na rozvodné vodovodní síti

Jak už bylo předem zmíněno, matematický model pro hydraulickou analýzu vodovodu Počátky, byl proveden v programu EPANET 2.0, který je volně stažitelný od firmy EPA (United States Enviromental Protection Agency). K vytvoření modelu bylo zapotřebí nastřádat potřebná data a to topologii řešené oblasti (údaje polohové, směrové, délkové a výškové), hydraulické parametry (světlost, hydraulická drsnost a materiál potrubí) a objekty na vodovodní síti (vodojemy, čerpadla atd.). Na závěr modelování se spočítaly jednotlivé odběry v síti. Po spuštění modelu, se vypočítané tlaky na síti zkalibrovaly pomocí měrné kampaně.



Obrázek 4-16 - Nadmořské výšky uzlů v 1.TP, 2.TP a 3.TP

5 HYDRAULICKÁ ANALÝZA

5.1 VSTUPNÍ DATA A STAVBA MODELU

Aby matematický model mohl fungovat, je zapotřebí do něj vložit vstupní data o dané vodovodní síti. V programu EPANET 2.0 je nutné znát vstupní data o uzlech, trubních úsecích, vodojemech, čerpadlech a dalších objektech na síti.

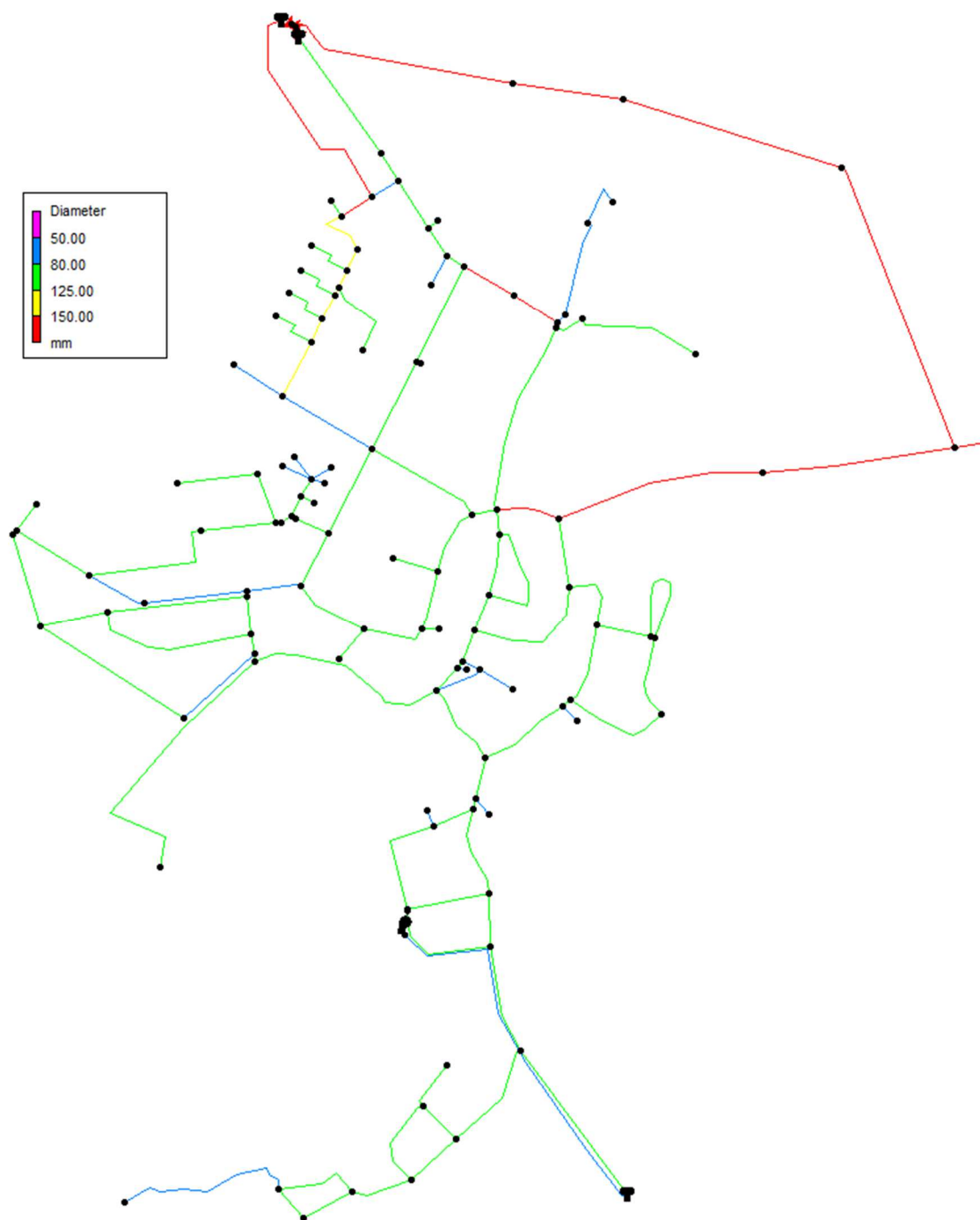
Podklady pro tvorbu modelu:

- Výkres vodovodní sítě, s popisem DN a materiálu potrubí, města Počátky s geodetickým zaměřením
- Provozní řád vodovodu Počátky
- Naměřené hodnoty tlaku na síti z měrné kampaně

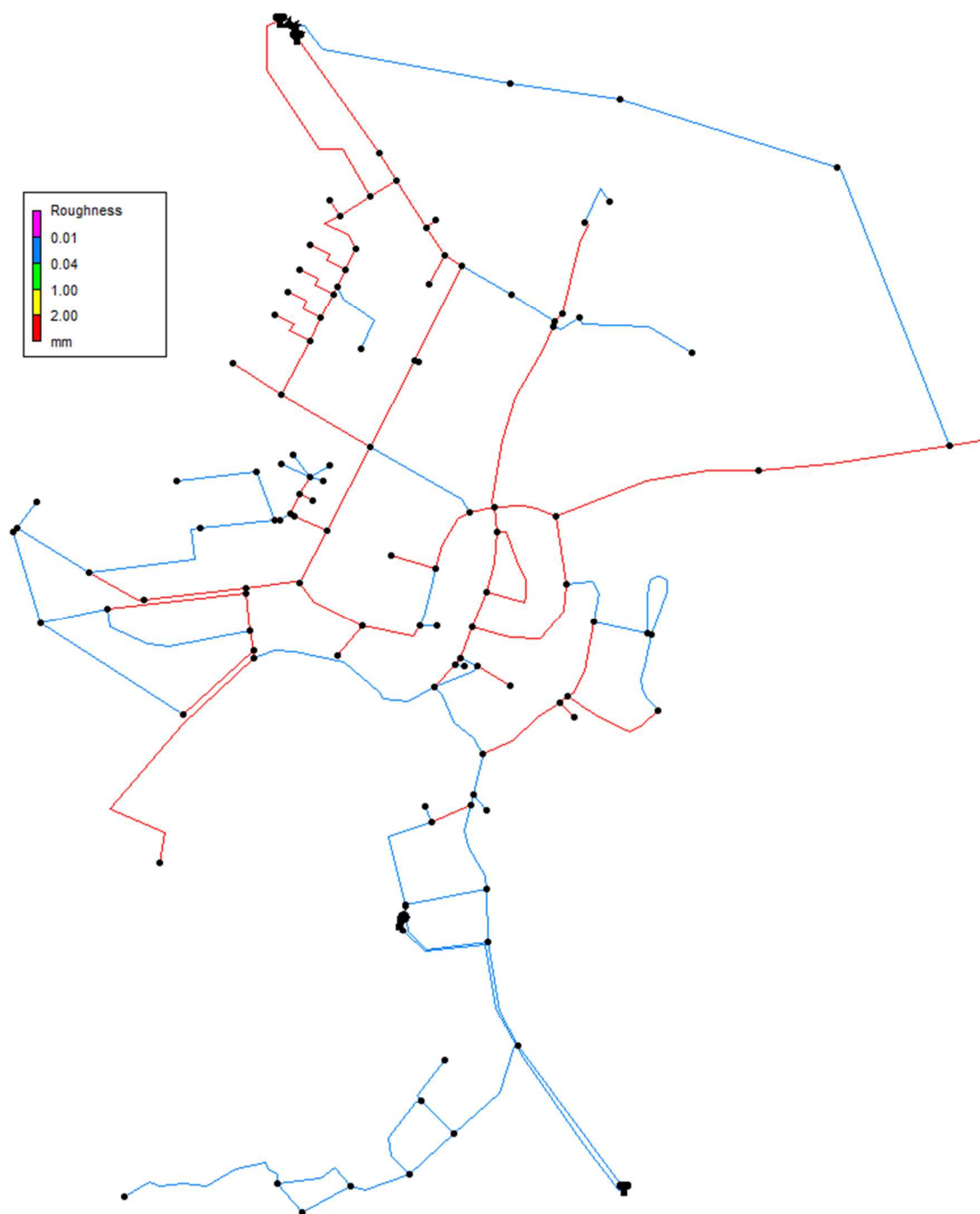
Všechny podklady byly poskytnuty společností Vodotechnické služby s.r.o., která je provozovatelem vodovodu Počátky.

Jedním z nejdůležitějších podkladů, se kterými se pracovalo na sestavení modelu, byl výkres vodovodní sítě Počátky ve formátu *.dwg. Na základě tohoto výkresu se nechal podložit v programu EPANET, kde se následně vykreslil model sítě. Při vytváření modelu se postupovalo takzvanou skeletonizací neboli rozdělením sítě na úseky a to tak, že se nejdříve vložily jednotlivé uzly. Uzly se vkládaly na místa, kde docházelo ke změně materiálu, či profilu potrubí, tam kde se křížily řady nebo v místě velkého odběru, jenž se mohl v tomto uzlu nasimulovat. Do uzlů se následně zadala jejich nadmořská výška, která se odečetla z výkresu. Po vložení všech uzlů, se dále pokračovalo vytvořením úseků, které se vytvořily spojením uzlů, při zachování stejné délky jako v reálu. Dbalo se také na to, aby žádný z úseků, z vodovodních řadů, nepřekročil hodnotu 300 m. Tímto byla zachována topologie sítě, souřadnic X a Y jednotlivých uzlů a skutečné délky úseků v m. Program EPANET 2.0 se nastavil na výpočet v jednotkách [l/s] a pro výpočet tlakových ztrát třením po délce vztah dle Darcy – Weisbacha.

Pro správné výsledky z modelu, bylo zapotřebí doplnit dimenzi profilu v mm a hydraulickou drsnost materiálu potrubí v mm. Dimenze potrubí byla odečtena z výkresu vodovodní sítě. Hydraulická drsnost se stanovila na základě druhů materiálu potrubí. Stáří není nikde evidováno, tudíž se dalo jen odhadovat, kdy byly dané řady položeny. Tím pádem byly stanoveny mezní hodnoty součinitele hydraulické drsnosti, nezávisle na stáří, které se využily pro výpočet dle vztahu Colebrook-White používaného pro vztah D-W. Znázornění dimenze potrubí je na obrázku 5-1 a hydraulická drsnost v jednotlivých úsecích na obrázku 5-2



Obrázek 5-1 - Dimenze potrubí ve vodovodní síti pro 1.TP, 2.TP a 3.TP



Obrázek 5-2 - Drsnost potrubí v 1.TP a 2.TP

Na závěr byly do modelu přidány vodojemy, u kterých se zadaly jejich minimální a maximální hladiny vody v nádrži, a čerpadla, s jejich výkonem, tedy čerpaným množstvím a výtlačnou výškou. Potřebné údaje byly zjištěny z Provozního řádu vodovodu Počátky.

Aby model korespondoval se skutečností, bylo zapotřebí zadat uzlové odběry. Ty byly vypočteny z průměrné denní spotřeby Q_C , kterou poskytl provozovatel Vodotechnické služby s.r.o. Při výpočtu jednotlivých uzlových odběrů se postupovalo pomocí metody redukovaných délek, která byla popsána v dřívější kapitole. Odběry byly spočteny pomocí programu Excel a následně byly zadány pro příslušný uzel, kam odběry náležely.

5.2 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Pro hydraulickou analýzu byly stanoveny tři zatěžovací stavy, které byly simulovány v programu EPANET 2.0.

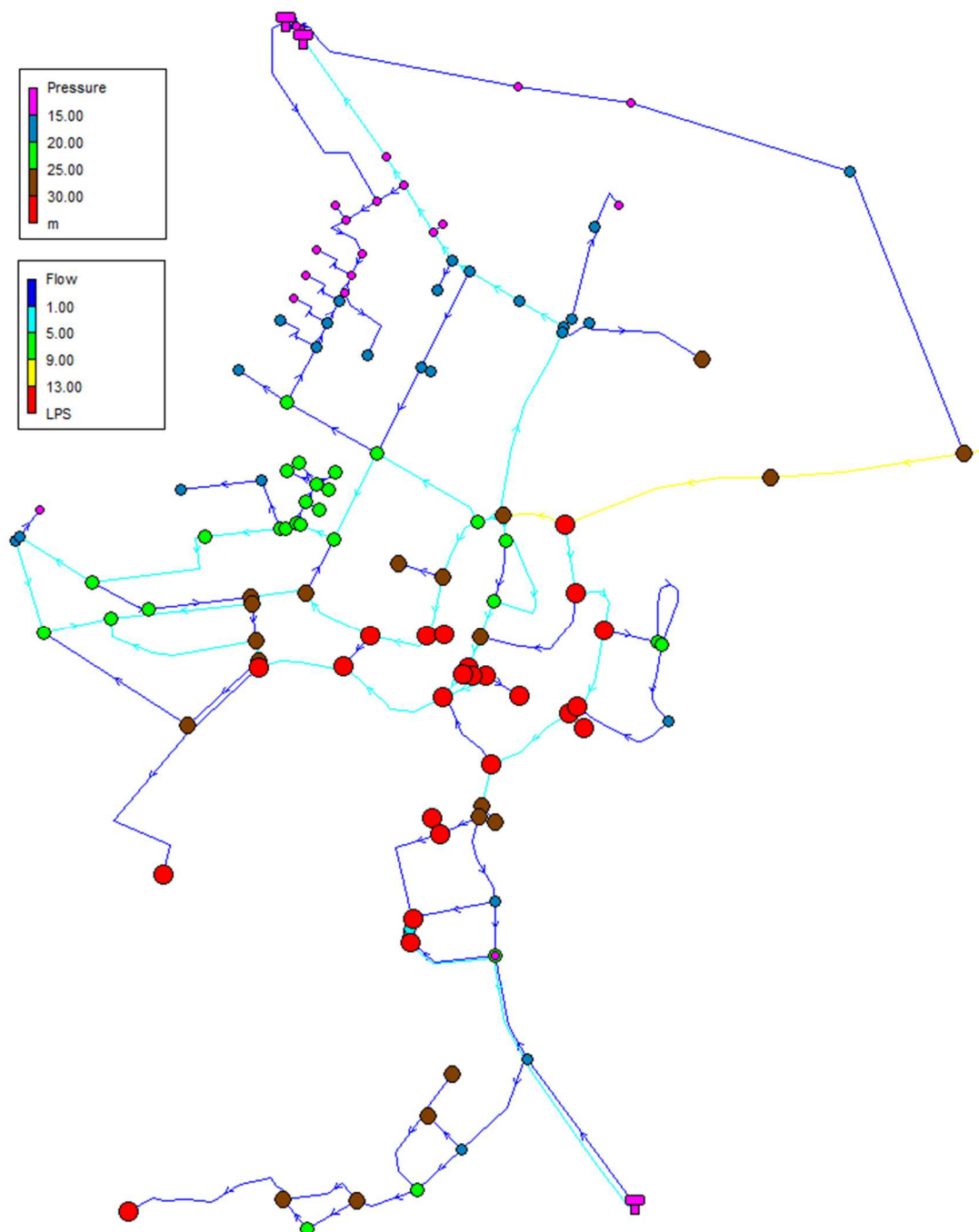
1. ZS: Průměrná denní spotřeba Q_p

Jak už bylo dříve zmíněno, průměrná spotřeba vody v síti činí 350 m³/den, kterou doporučil na základě dlouhodobých zkušeností z provozování městského vodovodu pan Ing. Zdeněk Kopecký z Vodotechnických služeb s.r.o. Tato hodnota byla navýšena na 395 m³/den, kdy tato hodnota se spočetla z měrné kampaně. K navýšení spotřeby, se přistoupilo z důvodu, aby simulované tlaky na síti, korespondovaly s naměřenými tlaky, z měrné kampaně.

$$Q_p = 395,00 \quad [\text{m}^3/\text{den}]$$

$$Q_p = 4,57 \quad [\text{l/s}]$$

Průměrná denní spotřeba vody



Obrázek 5-3 - Hydraulická analýza modelu z EPANETu pro 1.TP a 2.TP, při 1.ZS

2. ZS: Maximální hodinová potřeba Q_p

Jako druhý zatěžovací stav byla zvolena maximální hodinová potřeba vody. Ta se vypočetla z průměrné denní spotřeby, která se přenásobila koeficientem denní nerovnoměrnosti a koeficientem hodinové nerovnoměrnosti. Koeficienty se vybral z doporučených hodnot dostupných na webových stránkách www.vodovod.info, kdy koeficient maximální hodinové nerovnoměrnosti se zvolil v závislosti na konzultaci s provozovatelem vodovodní sítě. [7]

Koeficient denní nerovnoměrnosti $k_d = 1,35$ [7]

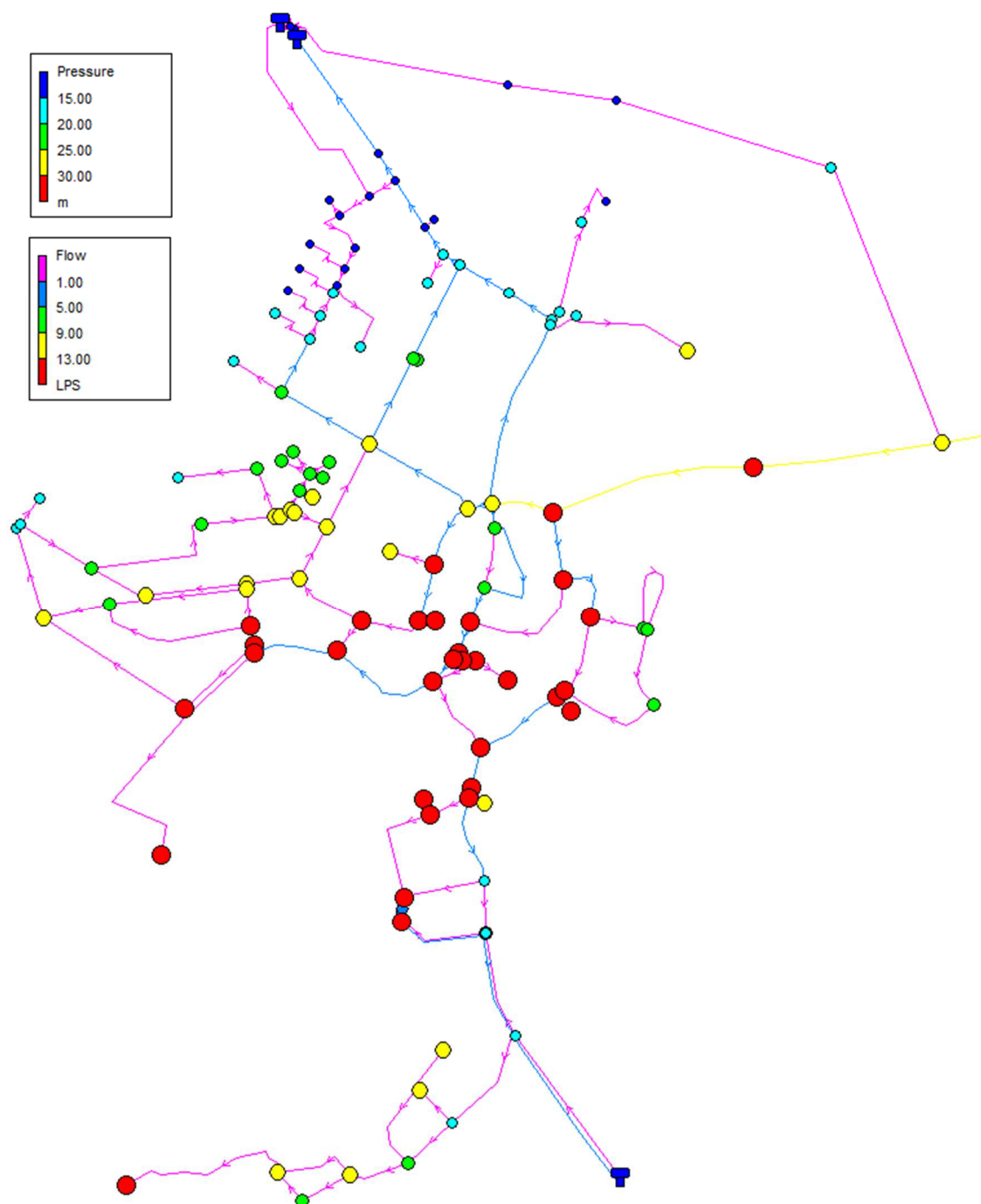
Koeficient hodinové nerovnoměrnosti $k_h = 1,75$ [7]

$$Q_h = Q_p \cdot k_d \cdot k_h$$

$$Q_h = 826,50 \quad [\text{m}^3/\text{den}]$$

Maximální hodinová potřeba vody

$$Q_h = 9,60 \quad [\text{l/s}]$$



Obrázek 5-4 - Hydraulická analýza modelu z EPANETu pro 1.TP a 2.TP, při 2.ZS

Pro tyto dva zatěžovací stavy byly zhotoveny modely, kdy každý ZS měl vlastní. Do modelů se zadaly uzlové odběry, které byly spočteny pro každý model zvlášť, pro daný průtok, který modelu náležel.

5.3 VERIFIKACE MODELŮ

Základním stavebním kamenem, správného výpočtu, hydraulické analýzy je kalibrace a verifikace. Té docílíme skutečnými hodnotami z měřících přístrojů na vodovodní síti. V tomto případě nám poslouží naměřené tlaky z dataloggeru použité při měrné kampani. Pro verifikaci byly použity hodnoty z dnů 26.10., 28.10., 2.11. a 3.11. Pro uvažované zatěžovací stavy byly pro kalibraci zvoleny minimální hodnoty na měřících. Protože uvažujeme, že v síti se voda rozvádí potrubím při maximálních průtocích, dostáváme tedy minimální tlaky. Ty nám vychází při simulaci 2.ZS. Minimální hodnoty z měření, kterými byl kalibrován model, jsou průměr ze součtu minimálních hodnot, změřených v dnech 26.10., 28.10., 2.11. a 3.11.

Tabulka 5-1 - Porovnání naměřených a simulovaných hodnot tlaků při 1.ZS

	Tlak [m.v.sl.]		
	Měření	Simulace	Rozdíl
Přivaděč na VDJ Počátky - nový	27,39	27,55	-0,17
VDJ Počátky - nový	1,70	2,00	-0,30
ZŠ Otakara Březiny	29,10	26,88	2,22
Čistírna odpadních vod Počátky	36,78	36,68	0,10

Tabulka 5-2 - Porovnání naměřených a simulovaných hodnot tlaků při 2.ZS

	Tlak [m.v.sl.]		
	Měření	Simulace	Rozdíl
Přivaděč na VDJ Počátky - nový	27,39	28,05	-0,67
VDJ Počátky - nový	1,70	2,00	-0,30
ZŠ Otakara Březiny	29,10	28,20	0,90
Čistírna odpadních vod Počátky	36,78	39,29	-2,51

Při porovnání modelů s naměřenými hodnotami z dataloggerů, se došlo k závěru, že model s 1.ZS má nedostačující tlaky na síti, které se neshodují se skutečností. Aby se s modelem dalo pracovat a uvažovat ho za vzorový model pro posouzení, musela by se zvýšit spotřeba pitné vody ve spotřebišti. Tím pádem se s tímto modelem neuvažuje pro další posouzení, v rámci navržených variant pro optimalizaci sítě. Oproti tomu, 2.ZS vychází s tlakovými poměry, které se shodují s naměřenými hodnotami, kdy odchylka nepřesáhne 1,00 m.v.sl., na třech měřených místech. Na měřícím místě, které se nacházelo na ČOV je odchylka 2,51 m.v.sl., což není málo, pro kalibraci však vyhovuje, neboť maximální hodnota naměřená na čistírně odpadních vod je 46,84 m.v.sl. Vypočtená hodnota se tedy pohybuje v rozmezí minima a maxima, takže při simulování navržených variant se z něj bude vycházet.

V úvahu se musí brát skutečnost, že verifikace byla značně zjednodušena. Na síti bylo osazeno málo míst na měření tlaku, když pro dosažení přesnější a objektivnější verifikace, by bylo zapotřebí osadit více dataloggerů, které by pokryly větší plochu sítě a umístily by se, pro objektivnější posouzení, do všech tlakových pásem.

Datalogger XiLog⁺, které se použily při měrné kampani, měří tlak v jednotkách [m.v.sl.]. Program EPANET rovněž pracuje v jednotkách [m.v.sl.], takže se nic nemuselo převádět.

Pro převod jednotek tlaku platí:

$$0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ Bar} = 10,1974 \text{ m.v.sl.}$$

5.4 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Při návrhu a provozu vodovodu se musíme držet právních norem, které stanovuje vyhláška MZe č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů. Maximální hydrostatický přetlak ve vodovodní síti každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa (tj. 61,18 m v. sl.) v odůvodněných případech 0,7 MPa (tj. 71,38 m v. sl.). Minimální hydrodynamický přetlak v rozvodné síti při zástavbě do dvou nadzemních podlaží musí být v místě napojení přípojky nejméně 0,15 MPa (tj. 15,29 m v. sl.). V případě zástavby nad dvě nadzemní podlaží nejméně 0,25 MPa (tj. 25,49 m v. sl.). [19]

5.5 POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VODOVODNÍ SÍTĚ MĚSTA POČÁTKY

Výpočet, provedený modelem při hydraulické analýze, stávající vodovodní sítě Počátky ukazuje, že tlaky na síti splňují standardy stanovené zákonem. V celé síti vyhovuje tlak v rozmezí 0,15 – 0,6 MPa, mimo lokalitu pod vodojemem Počátky, kde tlak v některých místech nedosahuje minimálního tlaku pro dvoupodlažní dům 0,15 MPa. Je to způsobeno tím, že lokalita pod vodojemem má nadmořskou výšku srovnatelně stejnou jako hladina vody ve VDJ (cca 9 – 10 metrů rozdíl ve výškách). Tato okolnost nemá tak tragický dopad, neboť skutečnost je taková, že domy v této lokalitě spadají do 2. tlakového pásma, a voda je zde přiváděna pomocí automatické tlakové stanice (ATS Počátky). Tím pádem se s vypočteným tlakem v modelu neuvažuje. Je třeba podotknout, že hydrodynamický tlak, v místech napojení přípojek, neklesnul pod minimální tlak, daný vyhláškou, ale hodnoty těchto tlaků se pohybovaly na hraně splnění této podmínky.

V 1.TP se hodnoty tlaků se posuzovaly při 2.ZS. V nejvyšším místě se pohybují kolem 14,00 m.v.sl., tedy 0,14 MPa a v nejnižším místě 39,30 m.v.sl., tedy 0,39 MPa. Tento minimální tlak 0,16 MPa nastal v ulici Žižkova, která se nachází pod vodojemem, kdy nadmořská výška potrubí byla vyhodnocena jako 622,31 m.n.m., kdy hladina ve VDJ Počátky – nový je 635,7 m.n.m. Při výpočtu byl zjištěn ještě menší tlak a to 13,16 m.v.sl., který se váže k přípojce na místní hřbitov v ulici Žižkova, kde voda slouží pouze k zalévání a tlak zde nemusí být 0,15 MPa.

V 3.TP se tlak pohyboval v rozmezí 0,19 MPa - 0,35 MPa, což splňuje legislativní požadavek. Minimální tlak v tomto pásmu je 18,77 m.v.sl., tedy 0,19 MPa, který byl naměřen na začátku městské části Vesce, na ulici Rudé armády. Nejvýše dosažený tlak byl naměřen hodnotou 34,65 m.v.sl., tedy 0,35 MPa a to v místě, kde stojí kravín, tedy za městskou částí Vesce.

Rychlosti ve vodovodní síti dosažené při výpočtu, nabývaly v některých úsecích hodnot, které nesplňují minimální povolenou rychlost v síti 0,3 m/s. V síti se objevila místa, kde rychlost v potrubí byla téměř nulová.

Diplomová práce se nezabývá otázkou problému s rychlostí v síti, ale zkoumá, jaké jsou tlakové poměry ve vodovodu. Zadavatel této práce a vlastník vodovodu Počátky kladl důraz na vymodelování hydraulické analýzy, která by za stávajícího stavu ukázala tlakové poměry na síti.

6 NAVRŽENÉ VARIANTY

Z měření a výpočtu se došlo k závěru, že vodovod vyhovuje v rámci splnění legislativních předpisů pro minimální a maximální hydrodynamický tlak, ale vyvstala zde otázka, zdali by nebylo výhodnější vodovodní síť Počátky zoptimalizovat. Pro odpověď na tuto otázku, byly zhotoveny 3 varianty a na ně následně proveden výpočet pro posouzení tlakových poměrů.

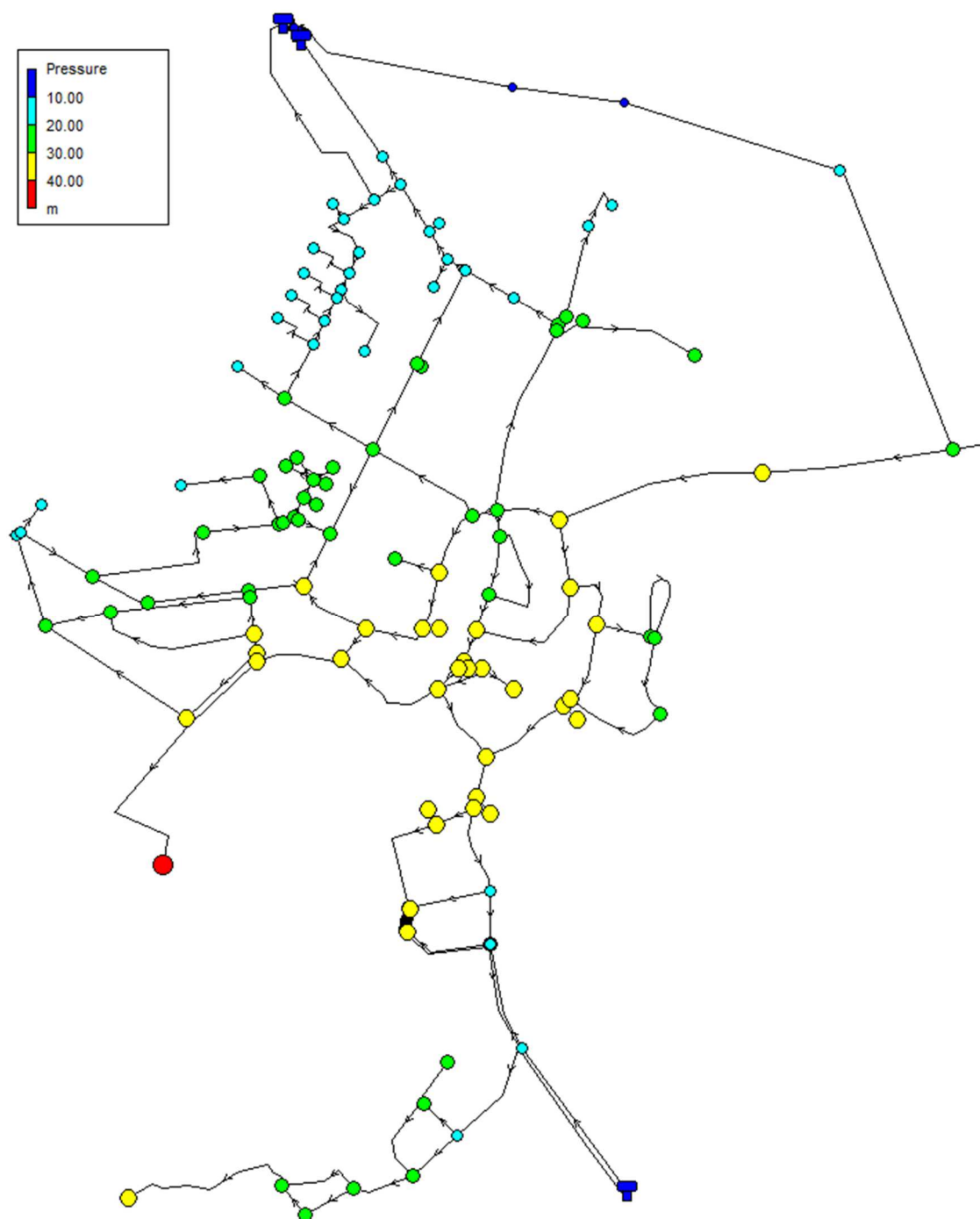
Varianta č.1 – zrušení VDJ Počátky – vyrovnávací

Varianta č.2 – zachování VDJ Počátky – vyrovnávací a uzavření přivaděče z Kateřinského lesa, které vede vodu přímo do vodovodní sítě

Varianta č.3 – zrušení VDJ Počátky – vyrovnávací a uzavření přivaděče z Kateřinského lesa

6.1 VARIANTA Č.1

Při variantě č.1 se uvažovalo s odpojením (zrušením) vodojemu Počátky- vyrovnávací, který slouží jako vyrovnávací. K této variantě se přistoupilo z důvodu, že oba vodojemy Počátky, jak nový tak starý (vyrovnávací), mají celkový zásobní objem nádrží 800 m³ pro nový vodojem a vyrovnávací má 150 m³, kdy VDJ Počátky – nový může bez problému pokrýt dodávku vody pro celé město. Dále se počítalo s tím, že se zachová přivaděč pitné vody z Kateřinského lesa, svádějící pitnou vodu z místních studen a zářezů, který částečně přivádí vodu na VDJ Počátky – nový a zároveň je napojen přímo na vodovodní síť města Počátky.

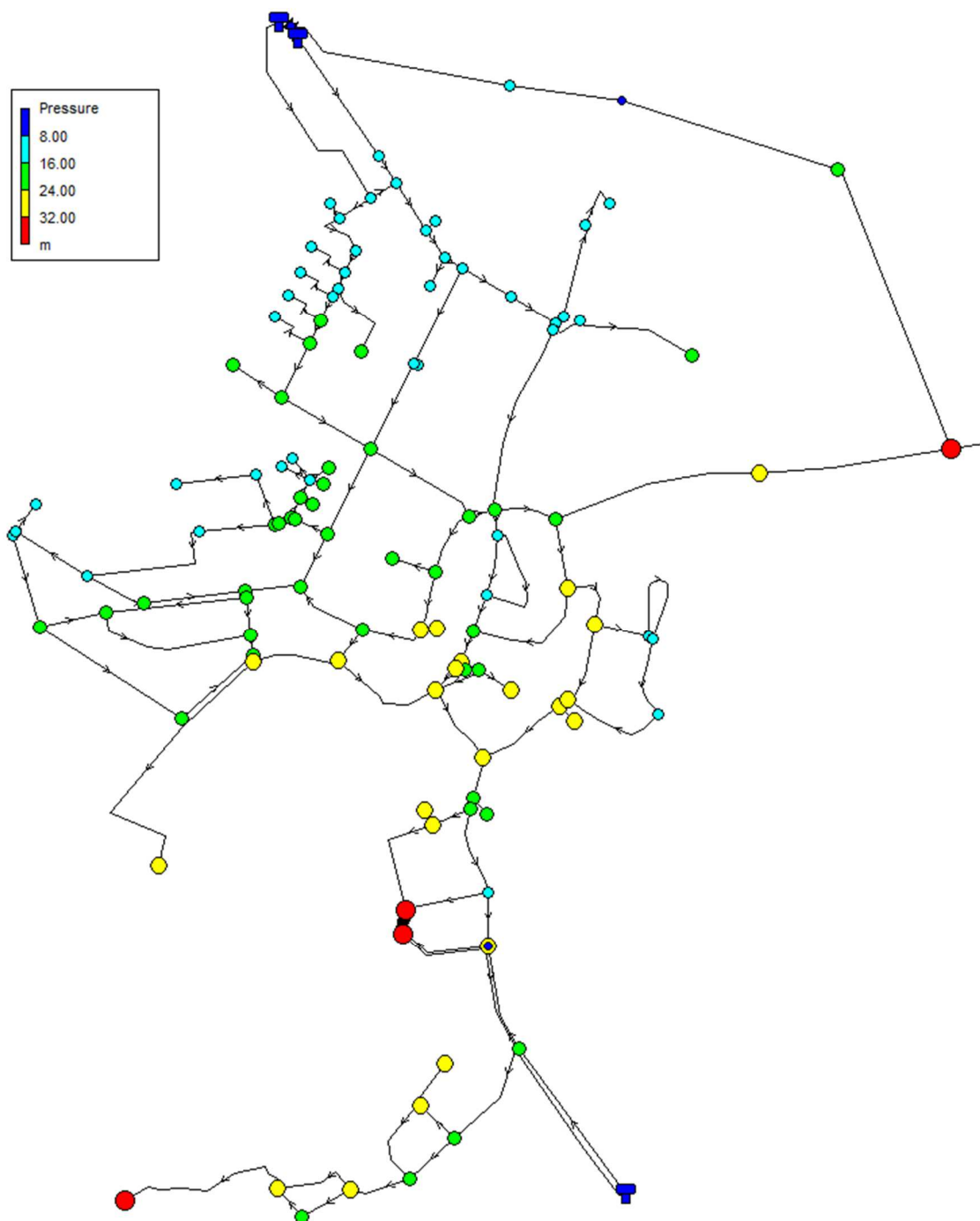


Obrázek 6-1 - Tlakové poměry v 1.TP, 2.TP A 3.TP, při 1. VARIANTĚ

Tlakové poměry, které nastaly při této variantě se liší od stávajícího stavu, zvýšením tlaku o 1 m.v.sl., tedy 0,01 MPa. Tento fakt se porovnával v místech, kde bylo provedeno měření pomocí měrné kampaně. Z modelu též vyplývá, že v místní části Vesce se tlakové poměry zvýšily v řádu 0,5 metru v.sl., což nám dává 0,005 MPa. Při výpočtu se směr ani rychlost proudění pitné vody v síti razantně nezměnily, ale nastala skutečnost, že směr proudění z VDJ Počátky – nový se otočil, tedy že voda z vodojemu neodtéká do spotřebiště, nýbrž že ze spotřebiště voda natéká do vodojemu. Tím pádem se z vodojemu zásobního stal vodojem vyrovnávací. Dalo by se tedy říci, že kdyby se odpojil VDJ Počátky – vyrovnávací, mohl by se odpojit i přivaděč na VDJ Počátky – nový, a to z toho důvodu, že by se veškerá pitná voda přiváděla přes spotřebiště.

6.2 VARIANTA Č.2

Další varianta č.2, která se naskytla, byla provedena s hydraulickou analýzou, kdy se uvažovalo při zachování VDJ Počátky - vyrovnávací a uzavření přivaděče z Kateřinského lesa, který vede přímo do spotřebiště. Tato varianta byla vybrána proto, že bylo třeba nasimulovat, jak by vypadaly tlakové poměry na síti, kdyby veškerá voda přiváděná do spotřebiště, šla přes vodojemy, kde by se s ní dalo lépe pracovat, případně i kontrolovat její kvalita.



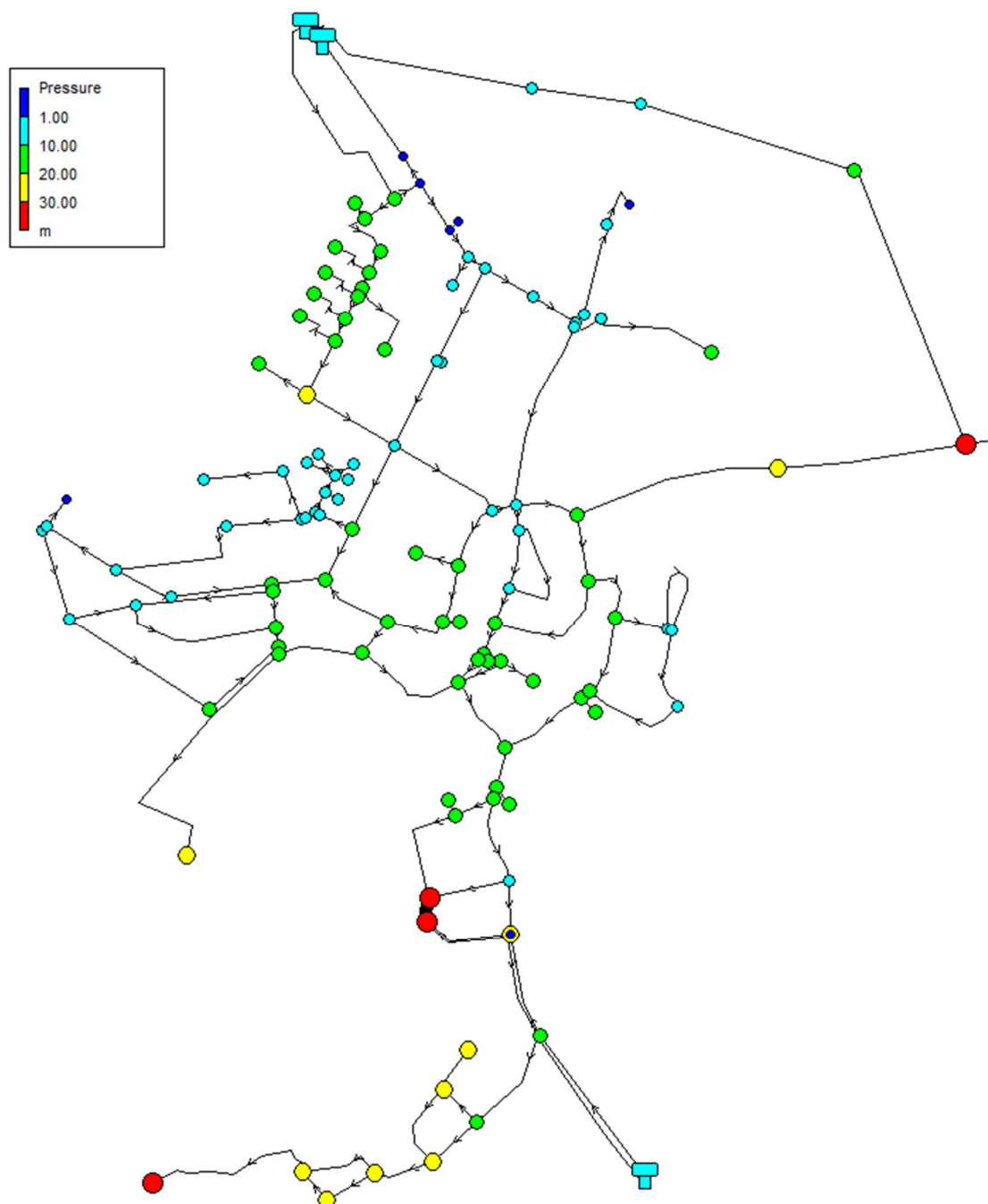
Obrázek 6-2 - Tlakové poměry v 1.TP, 2.TP a 3.TP, při 2. VARIANTĚ

Při uzavření přívaděče, model vypočítal tlaky na síť, které se už nepodobají tlakům, které se dosahují na síti při stávajícím stavu a které nastaly při variantě č.1. V problematickém místě v ulici Žižkova, kde je tlak velmi nízký, při modelovaném skutečném stavu, je minimální tlak pro zásobované nemovitosti 10,55 m.v.sl., tedy 0,11 MPa a tlak pro přípojku na hřbitov je pouze 8,41 m.v.sl., tedy 0,08 MPa. Tento tlak je velmi nízký a z dlouhodobého hlediska by pro zásobování pitnou vodou nevyhověl. Ostatní místa na síti, především v místech, kde byly zapojeny datalogery, se rázně snížily s hodnotami tlaků, o 8 m.v.sl. až 9 m.v.sl., tedy 0,08 MPa – 0,09 MPa, a v menším počtu to bylo až 10 m.v.sl., tedy 0,1 MPa. V místní části Vesce se tlak oproti stávajícímu stavu nezměnil.

Aby se zajistila dodávka pitné vody pro 1.TP musel by se znovu zapojit přívod vody na VDJ Počátky – vyrovnávací. Z modelu pro variantu č. 2 vyplývá, že posuzovaný vodovod by při navržené variantě neobstál, ba dokonce by to přispělo k horším tlakovým poměrům na síti a mohlo by se stát, že by se do připojovaných nemovitostí nemusela přivést pitná voda. V místní části Vesce by toto tvrzení neplatilo, protože tlaky jsou stále stejné jak ve skutečnosti, tak i při navržené variantě. Je to způsobeno tím, že změny, které by se provedly na vodovodu, nemají vliv na VDJ Vesce ani na ČS Vesce, která čerpá vodu do VDJ Vesce ze spotřebiště a to při stále spotřebě vody pro tuto místní část.

6.3 VARIANTA Č.3

Na závěr všech zkoumaných variant byl zhotoven poslední model pro variantu č. 3 a to jak pro možnost uzavření VDJ Počátky – vyrovnávací, tak i uzavření přivaděče z Kateřinského lesa, který přivádí pitnou vodu přímo do spotřebiště. Zde chci podotknout, že toto řešení varianty, kdy se uzavře vodojem a přivaděč, bylo vybráno pro optimálnější způsob dopravování pitné vody do spotřebiště a možnost zrušení nepotřebných objektů, které by ukázal model.



Obrázek 6-3 - Tlakové poměry v 1.TP, 2.TP a 3.TP, při 3. VARIANTĚ

Tlaky v této variantě č.3, jsou velmi nedostačující. V často už zmiňované ulici Žižkova, kde je při stávajícím stavu celé vodovodní sítě tlak nejnižší, je tlak pro napojované domy minimální 0,19 m.v.sl., tedy 0,002 MPa a tlak pro místní hřbitov je v záporných hodnotách, přesně -1,45 m.v.sl., tedy -0,05 MPa. Pro tuto ulici se tedy nedá uvažovat, že by při navržené variantě, byla zásobena pitnou vodou. V celém spotřebišti to není o nic lepší. Tlaky v 1.TP se průměrně propadly o 16 m.v.sl., tedy 0,16 MPa, což mělo za následek, že napojená místa výše položená, mají tlak v záporných hodnotách, tím pádem se k nim pitná voda nemůže dostat. Tlaky v 2.TP relativně zůstaly stejné, ve srovnání se stávajícím stavem, ale díky ATS pro sídliště, by jakákoliv změna neměla vážný problém. V 3.TP, které se nachází v místní části Vesce, jsou tlaky srovnatelně stejné jako u stávajícího stavu.

K této variantě se nedá nic jiného říci než, že z hlediska tlaků, které jsou stanovené legislativními předpisy i úsudkem, vycházejícím z praktických poznatků a zkušeností provozovatele vodovodu Počátky, by, při zvolené variantě, tlakové poměry na vodovodní síti neobstály a určité lokality ve spotřebišti by byly odštěpnuty od dodávky pitné vody. Důvod je ten, že VDJ Počátky – nový je položen níže než vodojemy a nádrže, které se nachází v Kateřinském lese, tudíž nemůže dodat potřebný tlak pro spotřebišť. Na základě poznatků z této varianty se nedoporučuje přistoupit k variantě č.3.

7 ZÁVĚR

Aby bylo možné správně pochopit fungování a systém samotný vodovodní sítě Počátky, byla potřeba si osvětlit základní pojmy a témata z vodárenství. Převážně byl kladen důraz na zásobování pitné vody ve spotřebišti, kdy se tato diplomová práce, touto problematikou, zabývala. Zprvu se popsal postup při rozdělení sítě z hlediska územní působnosti a jejich uspořádání, tedy typy vodovodů, které využíváme ve vodárenství. Dále rozdělení podle výškového uspořádání a nakonec akumulace pitné vody v síti. Další kapitola se zaměřila na popis hydraulické analýzy. Vysvětlilo se, jaké úkony předchází před vytvořením hydraulického modelu, tedy jaké podmínky musí být docíleny, aby hydraulický model fungoval. K tomu jsou zapotřebí vstupní data, poznatky o vodovodní síti a rozdělení odběrů ze spotřebišť, podle patřičných metod. Důležité je i to, aby se hned o začátku zvolil typ hydraulické analýzy, podle které se vodovodní síť bude posuzovat a zda jsou splněny základní podmínky hydraulické analýzy. K závěru této kapitoly byly popsány softwary používané ve vodárenství pro modelování a k analýze vodovodu, hlavně tedy EPANET 2.0, který umožňuje vymodelování vodovodu a je následně schopen hydraulické analýzy. Důkladnější popis uživatelského prostředí a co vše je software EPANET 2.0 schopen, bylo kvůli tomu, že pro posouzení vodovodní sítě Počátky, byl použit právě tento program. Správný model by se neobešel bez vstupních dat, získané z přímého měření. Proto se na závěr popsaly datalogery, které slouží k získávání dat, jako jsou průtok a tlak ve vodovodním potrubí, z měření na vodovodní síti.

Praktická část této diplomové práce se zabírala vymodelováním modelu vodovodní sítě Počátky, jenž se jeho pomocí provedla hydraulická analýza, a následně se tento model použil pro posouzení zájmového vodovodu Počátky. Aby bylo možné model zhotovit, bylo zapotřebí získat potřebné informace o vodovodní síti a to hlavně výškové a polohopisné parametry, průtokové a tlakové poměry v síti, materiál a světlost vodovodního potrubí, případně jeho staří, a charakteristiku posuzovaného území, tedy charakter zástavby a vodárenské objekty na síti. Jak byl model vytvořen, mohlo se přistoupit k samotné hydraulické analýze. Pro vodovod Počátky se uvažovalo se dvěma zatěžovacími stavy. Když model fungoval, tak bylo ještě nutné ho zkalibrovat. Kalibrovalo se pomocí naměřených hodnot z měrné kampaně, kdy se osadily 4 datalogery na síti, aby zaznamenaly tlaky v určitých místech na vodovodní síti. Díky kalibraci byl docílen shodný stav modelu vodovodní sítě Počátky, z hlediska průtoků a tlaků, se skutečným stavem. Po této skutečnosti se mohlo přistoupit k poslední fázi praktické části a to k samotnému posouzení vodovodu.

Pro posouzení se vycházelo z 2.ZS, neboť se jeho výpočtové hodnoty nejvíce shodovali, s naměřenými hodnotami z měrné kampaně. Z modelu pro 2.ZS se vytvořili tři varianty, které posuzovaly vodovodní síť, při jiných navržených opatřeních a změn od stávajícího stavu. V každé z variant se sledoval průběh tlaků na síti, kdy sledované úseky, převážně výše položené budovy a zástavby, musely dodržet požadavky dané legislativou. Tedy že musí splnit minimální tlak 0,15 MPa a maximální tlak 0,60 MPa ve vodovodním potrubí. Ne u všech variant, byla tato podmínka splněna. U první varianty, kdy se uvažovalo se zrušením vodojemu Počátky – vyrovnávací, nastala situace, že tlaky na síti se lehce zvýšili a z vodojemu Počátky – nový se stal vodojem vyrovnávací. Druhá varianta měla jiný průběh, kdy se uzavřením přivaděče z Kateřinského lesa, který přivádí pitnou vodu přímo do spotřebišť, tlaky na síti dostaly pod přípustnou hodnotu 0,15 MPa, které stanovuje legislativa, a tudíž se nedoporučuje přistoupit k této variantě, při optimalizaci vodovodu. Razantnější propad tlakových poměrů na síti byl docílen při 3. variantě, kdy zrušením vodojemu Počátky – vyrovnávací a uzavřením

přivaděče z Kateřinského lesa do spotřebiště, mělo neblahý dopad na zásobování pitnou vodou pro výše položené místa, kde vycházely tlaky i v záporných hodnotách.

Na závěr této diplomové práce vyplývá doporučení, kdy při možné optimalizaci vodovodní sítě města Počátky, by mělo být přistoupeno k variantě č.1, kde se docílilo k navýšení tlakových poměrů v síti, což může mít pozitivní vliv pro lokality, které jsou ve spotřebišti výše umístěné a voda se k nim dopravuje obtížně, třeba jako zástavba v ulici Žižkova. Ještě je důležité podotknout, že místní část Vesce, žádná z navržených změn nepostihne, neboť je odstřižena od spotřebiště Počátky, vlastním tlakovým pásmem, s vlastním VDJ.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav, BP003 Vodárenství, Přednáška č. 9 Hydraulická analýza vodovodů [online]. [cit. 2020-01-10] Dostupné z: https://water.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/8/2018/03/BP003_zad_09-Hydraulicka-analyza-vodovodu.pdf
- [2] KYNCL, Miroslav a Silvie HEVIÁNKOVÁ. Udržitelné systémy veřejných vodovodů a veřejných kanalizací [online]. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/skripta/10e_final_tisk.pdf
- [3] POROVNÁNÍ OBORŮ: Matematické modelování [online]. Dostupné z <https://www.vysokeskoly.cz/clanek/porovnani-oboru-matematicke-modelovani>
- [4] Matematické modelování. Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. (dále jen VRV a.s.) [online]. [cit. 2020-01-10] Dostupné z: <https://www.vrv.cz/sluzby-projektovani-vodohospodarskych-staveb-matematicke-modelovani-uniky>
- [5] KUČERA, Tomáš. Hydraulická analýza vodovodních sítí. Vodovod.info – vodárenský informační portál [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupný z <http://www.vodovod.info>. ISSN 1804- 7157.
- [6] INGEDULD, Petr a Jarmil VYČÍTAL. Matematické modelování vodovodních sítí, část III. SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací [online]. 1999, 1999(05) [cit. 2020-01-10]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/>
- [7] Potřeba vody – koeficienty nerovnoměrnosti. Vodovod.info – vodárenský informační portál [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/extra/tabulky/217-potreba-vody-koeficienty-nerovnomernosti#.XhTH4FVKjIU>
- [8] AQUION, S. R. O. [online]. verze <http://www.aquion.cz> [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.aquion.cz/software/7-siteflow/226-uvod-do-siteflow>
- [9] KYPIPE. Kypipe Overview [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://kypipe.com/kypipe>
- [10] DHI. DHI Software [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.water-simulation.com/wsp/2004/12/24/mike-net/>
- [11] BENTLEY. BENTLEY Systems [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.bentley.com/cs/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>
- [12] INNOVYZE, Innovyze for Sustainable Infrastructure [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.innovyze.com/products/testimonials/>
- [13] EPANET, Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems. United States Environmental Protection Agency (EPA) [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- [14] Kučera, Tomáš. EPANET 2.0 jako nástroj pro hydrotechnické posouzení vodovodu. Vodovod.info – vodárenský informační portál [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/clanky/402-epanet-2-0-jako-nastroj-pro-hydrotechnicke-posouzeni-vodovodu#.Xetu15NKhaQ>
- [15] Xilog⁺ Návod k obsluze. Primayer, Aqua technology solutions [cit. 2020-01-10].
- [16] Provozní řád vodovodu Počátky. Město Počátky, 2014.

-
- [17] Počet obyvatel v obcích. Český statistický úřad, 2019 [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91917344/13007219.pdf/deb188e2-72b4-4047-97e8-ae7975719db4?version=1.0>
- [18] Mapy.cz [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.1155661&y=49.2450310&z=10&source=muni&id=4945>
- [19] Vyhláška MZe č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3-1 - Koeficienty denní nerovnoměrnosti [7].....	14
Tabulka 4-1 – Aritmetický průměr tlaků ze 4 měřených dnů	29
Tabulka 4-2 - Drsnosti potrubí.....	29
Tabulka 5-1 - Porovnání naměřených a simulovaných hodnot tlaků při 1.ZS.....	39
Tabulka 5-2 - Porovnání naměřených a simulovaných hodnot tlaků při 2.ZS.....	39

SEZNAM OBRAZKŮ

Obrázek 2-1 - Obecné schéma místního vodovodu [2].....	4
Obrázek 2-2 - Obecné schéma oblastního vodovodu [2]	5
Obrázek 2-3 - Větvená vodovodní síť [2].....	5
Obrázek 2-4 - Okružová vodovodní síť [2]	6
Obrázek 2-5 - Kombinovaná vodovodní síť [2].....	6
Obrázek 2-6 - Gravitační vodovod s vodojemem před spotřebišťem [2]	7
Obrázek 2-7 - Výtlačný vodovod s vodojemem před spotřebišťem [2]	7
Obrázek 3-1 - Datalogger Xilog+ [14].....	17
Obrázek 4-1 - Schéma vodovodu města Počátky [16]	18
Obrázek 4-2 - Počátky, Česká republika [18]	19
Obrázek 4-3 - Počátky; okres Pelhřimov, kraj Vysočina [18]	19
Obrázek 4-4 - Rozvodná síť města Počátky.....	20
Obrázek 4-5 - Tlakové pásma vodovodní sítě Počátky.....	21
Obrázek 4-6 - Rozdělení vodovodní sítě dle materiálu potrubí	22
Obrázek 4-7 - Výškové schéma vodovodu Počátky [16].....	24
Obrázek 4-8 - Místa měření	25
Obrázek 4-9 - Datalogger Xilog+, při zapojení [15].....	26
Obrázek 4-10 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 26.10. - 27.10.....	27
Obrázek 4-11 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 28.10. - 29.10.....	27
Obrázek 4-12 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 2.11 - 3.11.....	28
Obrázek 4-13 - Naměřené hodnoty v časovém intervalu 3.11. - 4.11.....	28
Obrázek 4-14 - Koeficienty zástavby C_1	30
Obrázek 4-15 - Rozdělení vodovodní sítě Počátky na uzly a úseky	31
Obrázek 4-16 - Nadmořské výšky uzlů v 1.TP, 2.TP a 3.TP.....	32
Obrázek 5-1 - Dimenze potrubí ve vodovodní síti pro 1.TP, 2.TP a 3.TP.....	34
Obrázek 5-2 - Drsnost potrubí v 1.TP a 2.TP	35
Obrázek 5-3 - Hydraulická analýza modelu z EPANETu pro 1.TP a 2.TP, při 1.ZS	37
Obrázek 5-4 - Hydraulická analýza modelu z EPANETu pro 1.TP a 2.TP, při 2.ZS	38
Obrázek 6-1 - Tlakové poměry v 1.TP, 2.TP a 3.TP, při 1. VARIANTĚ.....	42
Obrázek 6-2 - Tlakové poměry v 1.TP, 2.TP a 3.TP, při 2. VARIANTĚ.....	43
Obrázek 6-3 - Tlakové poměry v 1.TP, 2.TP a 3.TP, při 3. VARIANTĚ.....	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ATS	automatická tlaková stanice
C_1	počet zásobovaných obyvatel, bytových jednotek, plocha zástavby
C_2	specifická potřeba na účelovou jednotku použitou v rámci C_1
ČOV	čistírna odpadních vod
ČS	čerpací stanice
ČSN	Česká technická norma
d	vnitřní průměr potrubí [m]
DN	jmenovitá světlost
D-W	rovnice dle Darcy-Weisbacha
g	gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
GIS	geografický informační systém
GPRS	(General Packet Radio Service) služba umožňující mobilních telefonů GSM přenos dat a připojení k Internetu
GSM	(„Groupe Spécial Mobile“) standard pro mobilní telefony
H	tlaková výška [m]
h	tlaková ztráta [m]; výška vodního sloupce [m]
H-W	rovnice dle Hazen-Williamse
k	odporový součinitel příslušného úseku
k_d	koeficient denní nerovnoměrnosti [-]
k_h	koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-]
L	skutečná délka úseku [m]
L	délka úseku [m]
L_r	redukováná délka úseku [m]
MZe	ministerstvo zemědělství
p	tlak [$Pa = N \cdot m^{-2}$]
p_N	hydrotechnický tlak naměřený
p_v	hydrotechnický tlak vypočítaný
PD	polyfunkční dům
PE	polyetylen
P_i	součin součinitelů C_1 a C_2 pro i -tý úsek [-]
PVC	polyvinylchlorid
RD	rodinný dům
Q	průtok
Q_c	celková potřeba spotřebiště [$m^3 \cdot h^{-1}$]
Q_h	maximální hodinový průtok [$m^3 \cdot h^{-1}$]

Q_i	odběr i-tého úseku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], průtok v i-tém úseku stanovený v posledním kroku řešení [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Q_i'	průtok v i-tém úseku stanovený v předposledním kroku řešení [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
$Q_{\max}$	maximální odběr [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]
$Q_{\min}$	minimální průtok
Q_p	průměrný denní průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{den}$]
q_f	specifická potřeba [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
SMS	(Short Message Service) služba krátkých textových zpráv
S_r	celková redukovaná délka sítě [m]
TP	tlakové pásmo
U.S. EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí USA (United States Environmental Protection Agency)
v	průřezová rychlost proudění při průtoku Q [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
VDJ	vodojem
ZS	zatěžovací stav
ZŠ	základní škola
λ	součinitel ztrát třením [-]
ρ	hustota vody při 4 °C [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
Σh	součet tlakových ztrát
ΣQ_i	součet odtoků a přítoků

SEZNAM PŘÍLOH

Hydrotechnické výpočty

1. Výpočty odběrů a měrná kampaň
2. Data EPANET 2.0

Situační výkresy – EPANET 2.0

3. Uzly
4. Úseky
5. 1.ZS
6. 2.ZS
7. 2.ZS – VARIANTA Č.1
8. 2.ZS – VARIANTA Č.2
9. 2.ZS – VARIANTA Č.3

SUMMARY

In order to properly understand the functioning and system of water supply network Počátky itself, it was necessary to shed light on the basic concepts and topics of water supply. Mostly, the emphasis was on the supply of drinking water in the consumption, when this issue dealt with. Initially, the procedure for the distribution of the network in terms of territorial scope and their organization, that is, the types of water mains we use in water supply. Furthermore, the distribution according to the height arrangement and finally the accumulation of drinking water in the network. The next chapter focused on the description of hydraulic analysis. It was explained what operations preceded the creation of the hydraulic model, ie what conditions must be achieved for the hydraulic model to work. This requires input data, knowledge of the water supply network, and distribution of consumption from the consumption, according to appropriate methods. It is also important to choose from the very beginning the type of hydraulic analysis according to which the water supply network will be assessed and whether the basic conditions of the hydraulic analysis are met. At the end of this chapter were described software used in water supply for modeling and analysis of water supply, especially EPANET 2.0, which allows modeling of water supply and is then capable of hydraulic analysis. A more detailed description of the user environment and what EPANET 2.0 software is capable of was due to the fact that this program was used to assess the origins of the water supply network. The correct model would not do without input data obtained from direct measurements. Therefore, in the end, dataloggers have been described which are used to obtain data, such as water flow and pressure, from measurements on the water network.

The practical part of this thesis dealt with the modeling of the Počátky water network model, which is carried out by hydraulic analysis, and subsequently this model was used to assess the water supply Počátky. In order to make the model, it was necessary to obtain the necessary information about the water supply network, especially height and planimetric parameters, flow and pressure conditions in the network, material and diametres of the pipes, or its old, and characteristics of the assessed area, on the network. As the model was created, the hydraulic analysis itself could proceed. Two load patterns were considered for the Počátky water supply. When the model worked, it was still necessary to calibrate it. It was calibrated using measured values from a measurement campaign, when 4 dataloggers were installed on the network to record pressures at certain locations on the water supply network. Thanks to the calibration, the initial state of the Počátky water supply model was achieved, in terms of flow and pressure, with the actual state. After this fact, it was possible to proceed to the last phase of the practical part and to assess the water supply itself.

The assessment was based on 2.LP, because its calculation values were most consistent with the measured values from the measurement campaign. The model for 2.LP with three variants, which assess the water supply system, in which measures and changes in the current situation were identified. In each of the variants, the course of pressures on the network was monitored, where the monitored sections, mostly the higher buildings and buildings, had to comply with the requirements given by the legislation. That is, it must meet a minimum pressure of 0.15 MPa and a maximum pressure of 0.60 MPa in the water pipe. Not for all variants, this condition was met. In the first variant, when it was considered to close the water tank Počátky - balancing there was a situation where the network pressures increased slightly and from the water tank Počátky - new became the balancing storage. The second variant had a different course, when closing the feeder from Kateřinský les, which supplies drinking water directly to the consumption, the pressures on the water supply network got below the permissible value of 0.15

MPa, which is stipulated by legislation and therefore it is not recommended to proceed to this option when optimizing water supply network. A more significant drop in the pressure conditions on the water supply network was achieved in the third variant, when by canceling the water tank Počátky - balancing and closing the feeder from Kateřinský les to the consumption, has had a detrimental effect on the supply of drinking water for higher-lying sites, where pressures have also been negative.

At the end of this thesis, while optimizing the water supply network of the city Počátky, should be approached option no.1, where it was achieved to increase the pressure conditions in the network, which can have a positive effect for sites located higher in the consumption and water is difficult to transport to them, for example as a built-up area in Žižkova street. It is also important to note that the local part of Vesce, none of the proposed changes, will not affect, because it is cut off by its own pressure zone, with its own water tank, from the consumption Počátky.