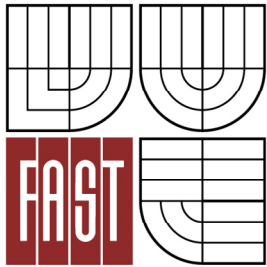




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# HYDRAULICKÁ ANALÝZA VODOVODNÍ SÍTĚ OBCE HNOJNÍK

HYDRAULIC ANALYSIS OF THE HNOJNÍK WATER SUPPLY SYSTEM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JANA NOVÁKOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JAN RUČKA, Ph.D.**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Jana Nováková


**Název** Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Hnojník

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Jan Ručka, Ph.D.

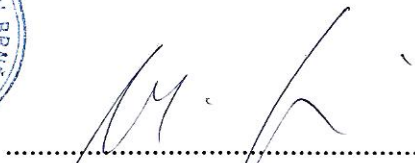
**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

  
.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- [1] INGEDULD, P., 2003. Modeling of Water Distribution Systems with MIKE NET, DHI Water & Environment, 2003
- [2] Rossman, A. L., 2000. EPANET 2 Users Manual, United States Enviromental Protection Agency US E.P.A., USA, 9/2000
- [3] National Research Council of the national academies, 2006. Drinking Water Distribution Systems – Assessing and reducing Risks, the National Academic Press, Wasington D.C., ISBN: 0-309-10306-1, 2006
- [4] Odborné články ze seminářů a konferencí

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci bakalářské práce bude vytvořen hydraulický model vodovodní sítě obce Hnojník v Moravskoslezském kraji. K tvorbě modelu budou využity simulační softwarové nástroje Epanet 2.0, resp. MikeNet či Mike Urban. Studentka provede simulaci vybraných zatěžovacích stavů, které charakterizují hydraulický režim vodovodní sítě a posoudí tlakové poměry ve spotřebišti.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



.....  
Ing. Jan Ručka, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na hydraulickou analýzu vodovodní sítě obce Hnojník. Práce je rozdělena na více částí. První část je zaměřena obecně na hydraulickou analýzu, možnostmi využití matematického modelování a typy analýzy, které lze ve vodovodní síti provádět. Další část obsahuje výčet a stručnou charakteristiku softwarových prostředků používaných pro hydraulickou analýzu. Pozornost je zaměřena na program EPANET 2.0, který byl použit pro sestavení modelu vodovodní sítě obce Hnojník. Třetí kapitola obsahuje údaje o řešené lokalitě a popis způsobu zásobování zájmové lokality pitnou vodou. V poslední části je popisována stavba modelu sítě, vstupní údaje použity pro modelování a vyhodnocení hydraulické analýzy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

hydraulická analýza, vodovodní síť, matematické modelování, softwarové prostředky pro hydraulickou analýzu

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis is focused on hydraulic analysis of Hnojník water supply system. The structure of this thesis is divided into several parts. The first part focuses on general hydraulic analysis, possibilities of using mathematic modeling, and types of analysis that can be performed in a water network. Next section contains a list and brief characteristics of software tools used for hydraulic analysis. Attention is focused on the EPANET 2.0 which was used to build a model of Hnojník water supply system. The last section describes the construction of the network model, input data used for modeling and evaluation of hydraulic analysis.

## **KEYWORDS**

hydraulic analysis, water supply system, mathematic modeling, softwares for hydraulic analysis

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

NOVÁKOVÁ, Jana. *Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Hnojník*. Brno, 2016. 52 s., 4 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Jana Nováková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za rady a připomínky, pomoc a trpělivost při zpracovávání práce a místostarostovi obce Hnojník Ing. Jaroslavu Heczkoovi za jeho spolupráci, vstřícný přístup a ochotu při získávání podkladů.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
1.1	STÁVAJÍCÍ STAV VODOVODU OBCE HNOJNÍK .....	3
1.2	CÍL PRÁCE .....	4
<b>2</b>	<b>MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍ SÍTĚ</b> .....	<b>5</b>
2.1	TYPY HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....	5
2.2	VSTUPNÍ DATA .....	5
2.3	PODMÍNKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....	7
2.4	METODY HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....	8
2.5	SCHEMATIZACE SÍTĚ .....	9
2.5.1	ZJEDNODUŠENÍ ODBĚRŮ.....	10
2.6	VERIFIKACE .....	12
2.7	SOFTWARE pro matematické modelování.....	12
2.7.1	EPANET 2.0 .....	12
2.7.2	DOPLŇKOVÉ SOFTWARE PRO EPANET 2.0.....	14
2.7.3	EPANET 3.0 .....	15
2.7.4	AQUIS .....	15
2.7.5	BENTLEY .....	16
2.7.6	KYPIPE.....	17
2.7.7	HydrauliCAD .....	18
2.7.8	INNOVYZE .....	19
2.7.9	DHI .....	22
2.7.10	PICCOLO.....	22
2.7.11	SiteFlow .....	23
<b>3</b>	<b>ŘEŠENÁ LOKALITA - OBEC HNOJNÍK</b> .....	<b>24</b>
3.1	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	24
3.2	Charakter zástavby .....	25
3.3	ZPŮSOB ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU .....	25
3.3.1	ZDROJ VODY - VD MORÁVKA .....	25
3.3.2	ÚPRAVNA VODY VYŠNÍ LHOTY .....	26
3.3.3	OSTRAVSKÝ OBLASTNÍ VODOVOD .....	26
3.3.4	ROZVODNÁ VODOVODNÍ SÍŤ OBCE HNOJNÍK .....	26
3.3.5	MAJETKOPRÁVNÍ VZTAHY .....	30

---

<b>3.4</b>	<b>JAKOST VODY VE SPOTŘEBIŠTI .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>HYDRAULICKÁ ANALÝZA.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>PRŮTOKOVÉ POMĚRY V MÍSTĚ NAPOJENÍ NA OOV .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>TLAKOVÉ POMĚRY V MÍSTĚ NAPOJENÍ NA OOV.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>STAVBA MODELU.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4</b>	<b>VÝSLEDEK HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....</b>	<b>38</b>
4.4.1	LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY .....	38
4.4.2	POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VODOVODNÍ SÍTĚ OBCE HNOJNÍK.....	38
4.4.3	DOPORUČENÍ.....	40
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>51</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>52</b>

# 1 ÚVOD

Matematické modely jsou v dnešní době důležitou součástí takřka všech vědních oborů bez ohledu na zaměření. Jsou využívány v ekonomice, farmacii, medicíně, meteorologii, v technických oborech jako je fyzika, mechanika, stavebnictví apod. [1]. Ve vodním hospodářství a hydraulice se modely používají především pro simulaci proudění vody ve vodovodní nebo kanalizační síti, pro simulaci proudění podzemní nebo povrchové vody v korytech řek, s tím souvisí i simulace šíření znečištění v těchto vodách, vyhodnocení jakosti vody, vlivu a dosahu znečištění, slouží pro návrh strategie sanace havarijních úniků znečištění do vodních toků nebo podzemních vod a pro sestavování manipulačních řádů na vodních soustavách [2, 3].

Modely jsou základem pro kvalitní návrh a provoz vodovodních sítí, u stávajících sítí se používají pro stanovení hydraulických poměrů, kdy posuzujeme především správnost návrhu a dodržení minimálních nebo maximálních hodnot hydrodynamického a hydrostatického tlaku, pro účely rekonstrukce stávající sítě a návrhu nových úseků připojovaných na stávající síť. Při posuzování stávajících sítí, je v podstatě možné zjistit tlakové nebo průtokové poměry přímým měřením na síti, jenže tento způsob je prakticky těžko proveditelný, protože vyžaduje velké množství manometrů, a to je z ekonomického hlediska velmi náročné.

Aby bylo dosaženo jisté míry kvality, je potřeba porovnat hodnoty vypočítané softwarem pro matematické modelování se skutečnými hodnotami naměřenými na strategicky zvolených místech v síti. Tím je zajištěna reálnost výsledků a dojde k verifikaci [3]. Model se následně kalibruje.

Simulace distribučního systému není snadný úkol; řešení nelze získat analyticky, to znamená, že nejsme schopni využít známé vztahy a postupné úpravy, ale musíme použít numerické metody. U větvených sítí může být řešení získáno použitím rovnice kontinuity, která vyjadřuje zákon zachování hmotnosti. Pouze větvené sítě bez okruhů se ale v praxi vyskytují zřídka. Analýza okruhových sítí je náročnější. V posledních desetiletích byla navržena celá řada metod pro řešení těchto sítí, např. metoda Hardy – Cross, metoda lineární teorie, metoda Netwon – Raphson, přístup zahrnující optimalizační metody nebo globální gradientní metoda. Kombinace metod vyústila v průběhu let k vytvoření desítek hydraulických simulátorů, mezi nejznámější patří Epanet 2.0, MikeNet, Finesse, H2Onet, WaterCAD [4]. Další softwarů jsou uvedeny v kapitole 2.7.

## 1.1 STÁVAJÍCÍ STAV VODOVODU OBCE HNOJNÍK

V obci Hnojník byl vodovod budován etapovitě bez souhrnné projektové dokumentace podle potřeb rozvíjející se zástavby. Není proto přesně známo stáří jednotlivých vodovodních řadů. V roce 2013 byl z iniciativy provozovatele vytvořen pasport stávající vodovodní sítě, který byl použit jako podklad pro vytvoření modelu. Obec nemá vlastní akumulaci pitné vody, je zásobována přívaděčem Ostravského oblastního vodovodu.

## 1.2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je posouzení tlakových poměrů ve spotřebišti Hnojník. V rámci práce bude sestaven hydraulický model vodovodní sítě obce Hnojník a budou simulovány vybrané zatěžovací stavy, které jsou charakteristické pro hydraulický režim spotřebiště. Pro vytvoření modelu bude použit simulační softwarový nástroj EPANET 2.0. Výsledkem práce je také zjištění dodržení podmínky minimálního hydrodynamického přetlaku nebo maximálního hydrostatického tlaku, který je stanoven vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. provádějící zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích.

## 2 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍ SÍTĚ

Nejčastěji řešenou úlohou v oblasti matematického modelování vodovodní sítě je hydraulická analýza a analýza kvality vody. Výstupem hydraulické analýzy je přehled o tlakových a průtokových poměrech zkoumané sítě, kvalitativní analýzu používáme pro určení koncentrací látek v systému, a to především dezinfekčních činidel na bázi chlóru, jehož maximální množství je stanoveno vyhláškou Ministerstva zdravotnictví (MZ) č. 252/2004 Sb., anebo pro trasování a dobu zdržení znečištění při hygienických haváriích v síti, kdy se do rozváděné vody dostanou nežádoucí látky, nejčastěji průsakem odpadních vod z kanalizace [5].

### 2.1 TYPY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

#### Statická analýza

Hydraulické parametry sítě se stanovují pouze pro jeden zatěžovací stav, při němž jsou stanoveny odběry v síti neměnné pro daný časový úsek [5].

#### Kvazi – dynamická analýza

Je to několik po sobě jdoucích statických analýz, mezi nimiž je shodný časový krok libovolné délky (minuty, hodiny). Analýza probíhá v delším časovém období (dny, týdny). V každém časovém kroku dojde ke změně hodnoty odběrů v síti, nebo změně např. úrovně hladiny vodojemu. Výstupy z předchozího časového kroku  $t$  jsou vstupy do dalšího časového kroku  $t+$  [5].

#### Dynamická

Je charakteristická tím, že časový krok mezi změnou průtokových a tlakových poměrů je velmi krátký a trvání analýzy je relativně krátké. Nejčastější využití je při zkoumání účinků vodního rázu [5].

### 2.2 VSTUPNÍ DATA

Aby bylo možné provést analýzu, je důležité znát a zadat parametry vodovodní sítě zahrnující i topologii sítě, která vyjadřuje vzájemné uspořádání a vztah jednotlivých prvků sítě [5]. Tyto informace nazýváme souhrnně parametry modelu a slouží jako okrajové podmínky pro soustavu diferenciálních rovnic použitých pro výpočet anebo popisují fyzikální vlastnosti složek modelu. Podle toho mohou být parametry modelu rozděleny na fyzikální veličiny, tj. profil potrubí, drsnosti materiálu a nadmožská výška uzlů, a provozní parametry – tj. poloha ventilů, počet otáček čerpadla a potřeba vody, které představují časově měnící se zatížení systému [6].

**Tab. 2.1 Klasifikace parametrů modelu [6]**

<b>Třída parametru</b>	<b>Časová změna</b>	<b>Popis</b>	<b>Příklady</b>
Fyzikální parametry sítě	Pomalou (měsíc až rok)	Fyzikální popis vlastností prvků sítě, kterými je potrubí, čerpadla, ventily a kontrolních zařízení. Tyto vlastnosti se obvykle v čase mění pomalu. Některé z nich nemůžou být přímo identifikovány a musí být kalibrovány. Příkladem je závislost vlastností materiálu na kvalitě vody, kdy vlivem vody a stářím potrubí, může dojít ke zvýšení drsnosti, tj. snížení vnitřního průměru vlivem inkrustace na povrchu materiálu.	Topologie sítě Profil, drsnost a délka potrubí Nadmožská výška Fyzikální vlastnosti uzávěrů a kontrolních zařízení
Dálkově kontrolované parametry provozního stavu	Rychle (mnohonásobně za den)	U provozních parametrů, se stejně jako u fyzikálních parametrů předpokládá, že jsou známe pro hydraulické síťové výpočty jako okrajové podmínky. Nicméně, nejsou konstantní, ale jsou neustále aktualizovány. Jejich stav je nepřetržitě zaznamenáván ve SCADA systému, tj. systém pro sledování a získání dat.	Poloha uzávěrů Stav čerpadla, rychlost čerpání Nastavené hodnoty a poloha dálkově ovládaných ovládacích zařízení Hladina vody vodojemu jako počáteční podmínka
Nedálkově kontrolované parametry provozního stavu	Středně (týden až měsíc)	Hodnoty nedálkově kontrolovaných parametrů provozního stavu jsou těžko odhadnutelné, protože jejich aktuální stav (poloha) se nepřenáší do SCADA systému, a proto je nutné tyto hodnoty aktualizovat ručně v modelu. Často nejsou tyto informace k dispozici.	Stav šoupátek, které jsou zavřené kvůli sanačním pracím
Zatěžovací parametry	průběžně	Obecně platí, že skutečná distribuce požadavek není znám. Uzlová potřeba vody v modelu je založena na občasné probíhající odečtech (měsíc až rok). Správný odhad uzlových požadavků má zásadní vliv na výsledky on-line simulace. U hydraulických výpočtů se běžně předpokládá, že potřeba vody musí být známa. Nicméně, v závislosti na druhu modelování může být potřeba vody použita jako pevný parametr (pro modely DDM: Demand Driven Modelling) nebo jako horní práh (PDM: Pressure - Dependent Modelling).	Potřeba vody domácností a průmyslu

## 2.3 PODMÍNKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Jedná se o podmínky vyjadřující základní fyzikální zákony, a jejichž dodržení je nutné pro správné provedení hydraulické analýzy [5].

### *Uzlová podmínka*

Vyjadřuje zákon zachování hmoty. Sumace všech přítoků, respektive vtoků, do každého uzlu, se musí rovnat sumaci odběrů, resp. Odtoků, z uzlu.

$$\sum Q = \sum O \quad (2.1)$$

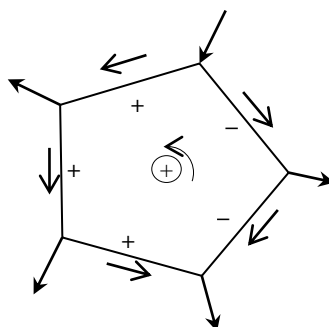
Q ... přítoky

O ... odběry

### *Okruhová podmínka*

Vyjadřuje zákon zachování energie. Součet tlakových ztrát přes všechny úseky tvořící nezávislý okruh musí být při zvolené okruhové orientaci roven nule.

$$\sum h = 0 \quad (2.2)$$



Obr. 2.1 Orientace tlakových ztrát v jednotlivých úsecích okruhu vodovodní sítě

### *Hydraulická podmínka*

Hydraulická podmínka je dána stavovou rovnicí udávající vztah mezi tlakovou ztrátou  $h$  a průtok  $Q$  v daném trubním úseku.

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

$h$  ... tlaková ztráta

$\lambda$  ... součinitel ztrát třením

$L$  ... délka trubního úseku [m]

- d...vnitřní průměr potrubí [m]
- v...rychlost proudící kapaliny [m.s<sup>-1</sup>]
- g...gravitační zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

Výše uvedená Darcy – Weissbachova rovnice platí pro kvadratickou oblast proudění vody v síti, což je oblast ve které součinitel tření lambda závisí pouze na relativní drsnosti potrubí.

D – W rovnice se dá po úpravě vyjádřit takto:

$$h = K \cdot Q^2 \quad (2.4)$$

K ... odporový součinitel daného úseku

Q ... průtok v trubním úseku [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]

## 2.4 METODY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Pro analýzu hydraulických poměrů v síti s tlakovým režimem proudění se využívají iterační a gradientní metody. Gradientní metoda je založena na platnosti hydraulických podmínek, jejími tvůrci jsou Todini a Pilati. Spočívá v provádění iteračního výpočtu, při kterém jsou hodnoty tlaku v jednotlivých uzlech sítě stanoveny maticově zapsanou soustavou nelineárních rovnic. Gradientní metoda je použita ve většině novodobých softwarů pro matematické modelování.

Podstatou iterační metody je splnění dvou hydraulických podmínek okruhových sítí a třetí je iterační metodou zpřesňuje. Jedná se o numerické řešení nelineárních rovnic sestavených na základě platnosti hydraulických podmínek [3, 5].

### *Metoda vyrovnání ztrátových výšek*

Podstatou této metody je odhad průtoků a jejich směru v celé síti, tak aby byla splněna uzlová podmínka. Z takto odhadnutých průtoků se spočítá ztrátová výška a následně je pro každý uzel vypočítán tzv. opravný průtok, kterým jsou upraveny průtoky v jednotlivých úsecích.

Právě způsob výpočtu a rozdělení opravného průtoku rozlišuje následující metody [5]:

#### **Newton I**

Principem metody je řešení soustavy nelineárních rovnic. Opravný průtok se počítá pro každý okruh ze soustavy lineárních rovnic.

#### **Lobačev – Cross**

Metoda odvozená od metody Newton I, principem je položení nediagonálních prvků rovno nule, čímž se systém lineárních rovnic rozpadne na jednotlivé rovnice o jedné neznámé. Výpočet opravných průtoků provádí a opravuje pro celou síť najednou.

## **Dubin – Cross**

Modifikace metody Lobačev – Cross spočívající v tom, že opravné průtoky počítají a opravují pro každý okruh zvlášť.

### ***Metoda vyrovnání průtoků***

Je založena na prvotním odhadu ztrátové výšky a směru proudění média tak, aby byla splněna okruhová podmínka a dodržena hydraulická podmínka. Z těchto odhadnutých ztrátových výšek se dopočítávají průtoky dle rovnice (2.4). Pro každý uzel je vypočítána opravná ztrátová výška, kterou se upraví ztrátové výšky v příslušných uzlech.

## **Newton II**

Princip metody je postaven na řešení nelineárních rovnic, vychází tedy z metody Newton I. Opravná tlaková ztráta se počítá pro každý úsek ze soustavy lineárních rovnic.

## **Hardy – Cross**

Vznikla zjednodušením metody Newton II, tak že nediagonální prvky v matici soustavy lineárních rovnic jsou položeny rovny nule. Opravná tlaková ztráta se počítá pro každý uzel sítě.

### ***Metoda vyrovnání odporových součinitelů***

Nejdřív se odhadnou průtoky, tak aby byla splněna uzlová podmínka, a ztrátová výška, tak aby byla splněna okruhová podmínka, a následně se iteračním postupem obě veličiny upřesňují stanovením opravných průtoků a opravných ztrátových výšek, kterými si prvotně odhadnuté veličiny opravují.

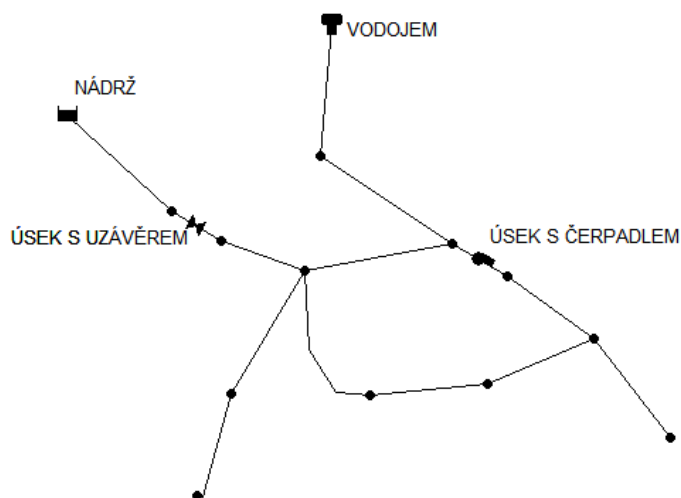
## **McIlroy**

Řešení metody vede na soustavu lineárních rovnic.

## **2.5 SCHEMATIZACE SÍTĚ**

Míra schematizace závisí na velikosti řešené vodovodní sítě, metodě hydraulické analýzy a na volbě uživatele. V případě výpočtu statické a kvazi – dynamické analýzy se síť rozděluje na uzly a úseky. Jako úsek se chápe kromě potrubí čerpadlo a uzávěr. Uzel je místo s předepsaným odběrem, vodojem nebo reservoár s konstantní hladinou a také obyčejný uzel, který slouží jako počáteční anebo koncový uzel příslušného úseku, charakterizovaného jednotným průtočným profilem a materiálem. Pro výpočet pomalu se měnícího proudění a vodního rázu se vytvářejí na každém potrubí výpočetní body, ve kterých probíhá výpočet tlaku a průtoku. Čerpadla a uzávěry jsou objekty mezi dvěma po sobě jdoucími výpočetními body, ve kterých rovnice příslušného objektu nahrazuje pohybové rovnice, nejsou to tedy samostatné úseky. V případě výpočtu parametrů kvality vody a transportu sedimentů lze zachovat schematizaci podobnou jako při výpočtu

ustáleného proudění, přesto se ale také jednotlivé potrubní úseky rozdělují na řadu pomocných sekcí, kde probíhá výpočet [7].



Obr. 2.2 Ukázka schematizace – pracovní prostředí EPANET 2.0

Na obrázku jsou vyznačeny příklady vyznačení uzlů a úseků, kdy úsek sítě je tvořen:

- potrubím, tj. trubní úsek
- čerpadlem, tj. úsek s čerpadlem
- uzávěrem, tj. úsek s uzávěrem.

Uzel vodovodní sítě může být vytvořen:

- uzlem s odběrem vody, tj. uzlový odběr
- uzlem s přítokem vody, tj. uzlový přítok
- vodojemem nebo nádrží

### 2.5.1 ZJEDNODUŠENÍ ODBĚRŮ

Zjednodušení odběrů, respektive schematizace odběrů, je nedílnou součástí procesu schematizace sítě, je to důležitý počín před započnutím analýzy. Jedná se o přesunutí jednotlivých malých odběrů domovními přípojkami do krajních uzlů. Důvod, proč zavádíme toto zjednodušení je ten, abychom v modelu neměli velké množství výpočtových uzlů, což by vedlo k nepřehlednosti modelu. Odběry přesouváme do uzlů, kde dochází ke změně profilu nebo materiálu potrubí, tam kde dochází k souběhu nebo rozdělení sítě, nebo kde jsou osazeny hydranty. Výpočtový uzel dále volíme na místě, kde jsou na rozvodnou síť napojeni velkoodběratelé, tj. průmyslové závody, zemědělská výroba, stavba občanské nebo technické vybavenosti, u kterých uvažujeme odběry vody významnějšího charakteru [5].

### **Metoda redukovaných délek**

Tato metoda spočívá v tom, že každému trubnímu úseku se přiřadí redukční součinitel  $C_1$ , jehož hodnota závisí na hustotě a výšce zástavby. Hodnota redukčního součinitele závisí na volbě zpracovatele analýzy. Dle jednoduchého vztahu získáme tzv. redukovanou délku daného úseku:

$$L_r = L \cdot c_1 \quad (2.5)$$

$L$  ... skutečná délka úseku [m]

Celková redukovaná délka sítě  $S_r$  se stanoví dle vzorce:

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{r,i} \quad (2.6)$$

Pro každý úsek se dále stanoví specifická potřeba vody  $q_r$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] :

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (2.7)$$

$Q_c$  ... celková potřeba vody ve spotřebišti [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Výsledný odběr z  $i$ -tého úseku  $Q_i$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] se vypočte dle vztahu:

$$Q_i = q_r \cdot L_{r,i} \quad (2.8)$$

### **Metoda dvou součinitelů**

Principem metody je přiřazení dvou součinitelů  $c_1$  a  $c_2$  každému odběrnému místu na základně počtu zásobovaných obyvatel, zásobované ploše zástavby, počtu zásobovaných jednotek nebo jiných. Používáme ji v případě, máme-li k dispozici podrobné informace o spotřebišti, resp. o odběrech.

$C_1$  ... součinitel počtu zásob. obyvatel, byt. jednotek, plochy zástavby

$C_2$  ... specifická potřeba na účelovou jednotku použitou v rámci součin.  $C_1$

Stanovíme hodnotu „souhrnného“ součinitele  $P_i$  pro každé odběrné místo:

$$P_i = c_1 \cdot c_2 \quad (2.9)$$

a hodnotu „souhrnného“ součinitele  $S_r$  pro celou síť:

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i \quad (2.10)$$

Specifická potřeba dopravované vody se stanoví dle vzorce (2.7). Výsledný odběr z  $i$ -tého úseku  $Q_i$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] se vypočte dle vztahu:

$$Q_i = q_r \cdot P_i \quad (2.11)$$

## 2.6 VERIFIKACE

Verifikace má za cíl ověřit správnost vstupních parametrů, tj. součinitele drsnosti potrubí, hodnoty odběrů v uzlech na základě řady statických hodnot tlaků a průtoků shromážděných v různých hodinách a za různých podmínek. Při verifikaci ověřujeme platnost vstupních parametrů pro další nezávislou sérii měřených hodnot a vstupních veličin a počátečních podmínek. Aby byla verifikace provedena správně, je nutné použít řadu hodnot tlaků a průtoků, na které byla provedena kalibrace matematického modelu. Porovnáním vypočtených a naměřených hodnot se zjistí, jak jsou si obě hodnoty rovny. Vzájemná odchylka hodnot se nejčastěji vyjadřuje v procentech. Posouzení maximálních odchylek mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami, tedy určení toho zdali je odchylka v normě nebo ne, závisí na uživateli, který takto určuje míru přesnosti kalibrace a verifikace. Velikost odchylky závisí na přesnosti měřícího zařízení a na přesnosti výpočtu hydraulických ztrát v potrubí. V případě velkých rozdílů mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je důležité hledat chybu [8].

## 2.7 SOFTWARE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ

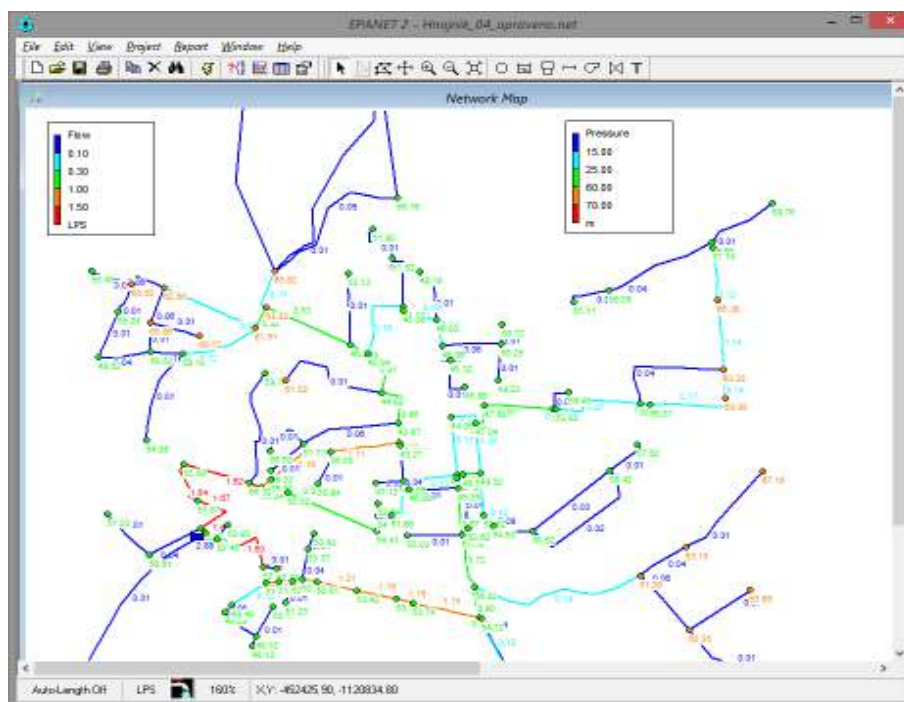
Pro potřeby matematického modelování byly vyvinuty softwarové aplikace umožňující simulaci proudění nebo šíření látek v kapalině v tlakovém i gravitačním režimu. Většina programů je založena na výpočtových vlastnostech programu EPANET 2.0, který byl vyvinutý agenturou U. S. EPA, a je volně dostupný na internetu ([www.epa.gov.com](http://www.epa.gov.com)). Hlavním požadavkem na tyto programy možnost poskytovat aktuální informace o dané síti zahrnující údaje o vzniku poruch, rekonstrukcích úseků, rozšíření sítě a jiných zásahů do provozu. Toho lze dosáhnout propojením s GIS (geografickým informačním systémem), který by měl být pravidelně aktualizován provozovatelem sítě [5].

### 2.7.1 EPANET 2.0

Jedná se o software vyvinutý Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států Amerických (U. S. EPA), který je od roku 2000 volně stažitelný na stránkách agentury ([www.epa.gov.com](http://www.epa.gov.com)). EPANET 2.0 umožňuje analýzu hydraulických poměrů v systémech s tlakovým prouděním. Využívá se pro statickou i kvazi-dynamickou hydraulickou analýzu, pro zjištění tlakových a průtokových poměrů ve zkoumaném spotřebišti, umožňuje sledování šíření znečištění v síti, změny koncentrací látek obsažených ve vodě a stáří vody. EPANET 2.0 je nevhodný pro modelování dynamických jevů v síti, tj. jevů, ke kterým dochází v krátkém časovém kroku.

Je matematický model řízený odběrem (tzv. DDM - Demand Driven Model) využívající pro výpočet globální gradientní metodu. Tato metoda je založena na platnosti uzlové, úsekové a hydraulické podmínky. Pro provedení výpočtu je možné zvolit z jednotek SI nebo US a pro stanovení tlakových ztrát třením po délce zvolit výpočtový vztah dle Hazen – Williams, Darcy – Weisbach nebo Chezy – Manning.

Software umožňuje analýzu trubicí sítě neomezené velikosti sítě s libovolným počtem uzlů a úseků, pro zahájení výpočtu je ale nutné zadat minimálně jeden přítok a odběr vody. Je možné nastavit procentuální odtok z daného uzlu do přilehlých uzlů, simulovat více typů uzlových odběrů s vlastním časovým průběhem a vytvářet pravidla pro automatické řízení systému. Dále je schopen zohlednit vznik místních tlakových ztrát, simulovat čerpadlo a regulační armatury nebo stanovit náklady na čerpání [5].



Obr. 2.3 Pracovní prostředí EPANET 2.0

### ***Možnosti řízení odběru***

Model řízený odběrem neboli DDM – Demand Driven Model (dále jen „DDM“) je hydraulický model, který je založen na tom, že se do uzlů zadávají odběry. To znamená, že známe průtokové množství v úsecích. Z průtoků v úsecích se dopočítávají tlakové ztráty, takže se dá následně stanovit i hydrodynamický přetlak v jednotlivých uzlech. Předpokládá se zjednodušení, že odběr bude realizován v plném rozsahu. Ve skutečnosti je průběh průtoků přímo úměrně závislý na průběhu tlaku. Klesne-li průtok, klesne i tlak. Při nesprávném nastavení modelu nebo zadání chybných vstupních dat může dojít k výskytu záporných hodnot tlaků, což ale není prakticky možné [9].

Model řízený tlakem neboli PDM – Pressure Driven Model, je model zohledňující pokles průtoku při poklesu tlaku. Nejdříve se v místech sítě určí tlak, z něj dále odvodíme odběry a průtoky v síti. V místech sítě, kde se nejdříve definoval tlak, se nadefinuje odběr, ke kterému dochází, pokud nedochází k poklesu tlaku. Pokud dojde k poklesu tlaku pod definované hodnoty, dojde k přímo úměrnému poklesu průtoku [9].

## Charakteristika modelu

EPANET 2.0 pro výpočet používá gradientní metodu, kterou hledá řešení soustavy rovnic sestavených z okružové a hydraulické podmínky. Odhadnuté průtoky nemusí nutně splňovat uzlovou podmínku, protože dochází opakovaně k iteračnímu výpočtu, kdy se hodnoty zpřesňují tolik, až dojde ke splnění obou podmínek. EPANET ukončuje výpočet ve chvíli, kdy je poměr součtu absolutních hodnot změn průtoků a součtu celkových průtoků menší než 0,001, dle rovnice (2.1) [5].

$$\frac{\sum_i (|Q'_{ij} - Q_{ij}|)}{\sum_i Q_{ij}} \leq 0,001 \quad (2.1)$$

$Q'_{ij}$  ... průtok mezi uzly  $i - j$  stanovená v předposledním kroku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$Q_{ij}$  ... průtok mezi uzly  $i - j$  stanovený v posledním kroku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

### 2.7.2 DOPLŇKOVÉ SOFTWARE PRO EPANET 2.0

EPANET 2.0 je program s otevřeným zdrojovým kódem, umožňuje tedy veřejnosti vývoj různých doplňkových softwarů, které práci s ním usnadňují, vylepšují a zvyšují tak sofistikovanost celého programu. Tyto nadstavby jsou volně stažitelné ze stránky [www.water-simulation.com](http://www.water-simulation.com)

#### EpaCAD

EpaCAD umožňuje konverzi souboru z formátu .dxf, exportovaného z AutoCADu, do formátu který lze nahrát do Epanetu. V AutoCADu nejdříve se vytvoří schéma sítě pomocí křivek. Uzly sítě jsou tvořeny počátkem a koncem křivky. Důležité je, aby byly prvky schématu ve stejné hladině. Při převodu jsou zachovány souřadnice x, y příslušného souřadného systému, a také z-tové souřadnice uzlů. EpaCAD tedy zachovává skutečné délky potrubí a skutečnou polohu [10].

#### EPANET Plus

Tato nadstavba umožňuje export map do formátu .dxf, který je možné dále upravovat v AutoCADu. Software umožňuje export mapy včetně vybraných identifikačních údajů úseků a uzlů a barevného rozlišení podle toho, jak byly nastaveny v EPANETu. Další možností je export vlastností daného prvku modelu. U úseků se vypíší informace o délce, profilu, rychlosti a ztráty. V uzlech se zobrazí odběr a hodnota přetlaku. Pro každý typ informace se vytvoří vlastní hladina, takže uživatel si může nechat v AutoCADu zobrazit pouze to, co chce [11].

#### WaterNetGen

WaterNetGen je rozšíření, které zachovává uživatelské rozhraní a umožňuje vytváření umělých modelů vodovodní sítě a jeho dimenzování na základě jednoduché heuristiky. Také umožňuje navrhovat síť na základně nejnižší ceny.

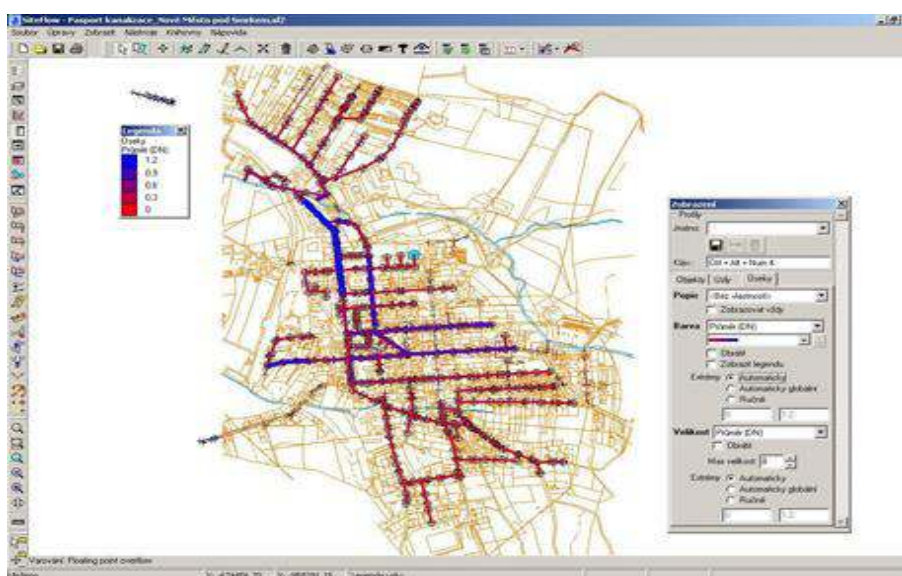
WaterNetGen umožňuje řízení odběrem DDM (Demand Driven Model) anebo tlakem PDM (Pressure Driven Model) [12].

### 2.7.3 EPANET 3.0

EPANET 3.0 je plánovaná aktualizovaná verze softwaru EPANET 2.0. Na jeho vývoji pracuje tvůrce předchozí verze Lewis A. Rossman. Program dosud nebyl oficiálně zveřejněn a není ani známo datum předpokládaného vydání. EPANET 3.0 bude mít zabudované některé z doplňků, které byly vytvářeny pro předchozí verzi. Bude dále umožňovat například modelování tlakových ztrát závislých na potřebě vody a více možností pro ovládání nastavení čerpadel a ventilů, které už nebudou do modelu vkládány jako úseky, ale jako uzly. Při analýze kvality vody vylepšení spočívá např. v tom, že do modelování bude zahrnut rozptyl látky v potrubí a zefektivnění procesu transportu částic v potrubí [13].

### 2.7.4 AQUIS

AQUIS je software používaný pro optimalizaci, návrh a provoz vodárenských systémů. Systém umožňuje pracovat s daty v off – line režimu, nebo režimu Real – time, čehož se využívá při provozu sítě. AQUIS umožňuje kromě modelování hydraulických poměrů a vodních rázů taky analýzu jakosti vody, je schopný detekovat a vyhledávat ztráty vody, předpovídat odběry apod. Systém řízení Real – time poskytuje dispečerovi aktuální údaje o stavu celé sítě. AQUIS je integrován s GIS a je napojen na systém SCADA, a data z těchto zdrojů je schopen kombinovat s údaji pro předpověď počasí a na základě výsledků lépe předpovídat potenciální potřebu vody. V modelu lze nasimulovat chování sítě v případě uzavření ventilů, puštění nebo vypnutí čerpadla a posoudit dopad těchto úkonů na spotřebu energie [14].



Obr. 2.4 Vzor pracovního prostředí AQUIS

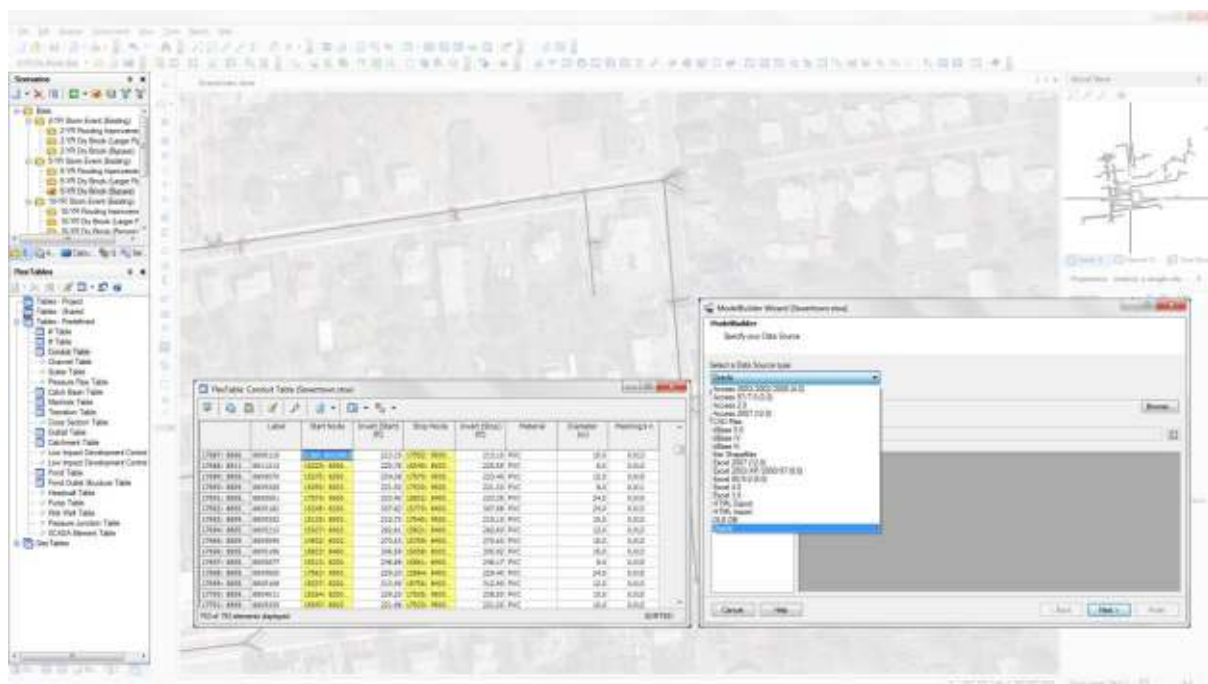
## 2.7.5 BENTLEY

Společnost Bentley se zaměřuje na poskytování softwarových prostředků pro navrhování infrastruktury – kromě inženýrských sítí jsou to dopravní stavby, letiště, mrakodrapy, průmyslová a energetická zařízení. Společnost nabízí své produkty na trhu od roku 1984 a pobočky má ve více než 50 zemích po celém světě. Více informací na: [www.bentely.com](http://www.bentely.com), kde jsou i další informace k níže uvedeným softwarovým prostředkům.

### WaterCAD

Software je určený pro výpočet ustáleného a kvazi – dynamického proudění a pro hydraulickou analýzu. Výpočtové jádro je založeno na principu EPANETu, je kompatibilní s produkty AutoDESK a MicroStation. Umožňuje vytvářet neomezeně velkou síť. Spadá pod skupinu WaterGEMS. Původně byl WaterCAD vytvořený firmou Heatad Methods, Inc., dnes jej distribuuje společnost Bentley.

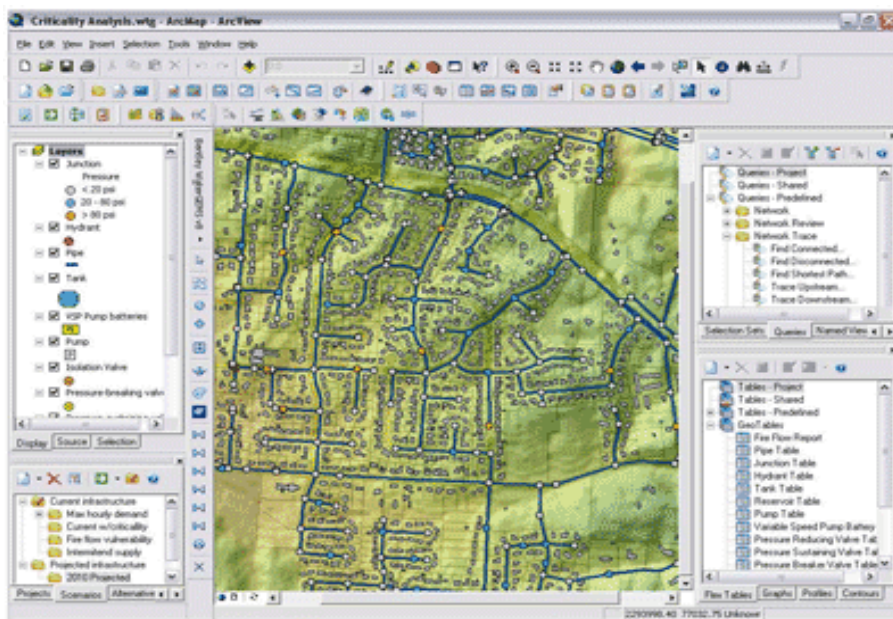
Nejnovější verze WaterCAD slouží kromě návrhu taky pro provozování vodovodní sítě. Umožňuje propojení s GIS a SCADA systémem.



Obr. 2.5 Ukázka pracovního prostředí WaterCAD

### WaterGEMS

Jeho vlastnosti a využití je obdobné jako u WaterCADu. Dokáže provádět analýzu potrubí a ventilů – hledá slabá místa v síti, identifikuje úniky vody, je vhodný pro simulaci a posouzení potrubí při požárních průtocích, používá se pro hydraulickou analýzu i analýzu kvality vody, pro návrh proplachovacích plánů a dokáže simulovat chování sítě v reálném čase. WaterGEMS pracuje jako samostatná platforma nebo jako součást AutoCADu, ARGISu nebo softwaru MicroStation.



Obr. 2.6 Vzor pracovního prostředí WaterGEMS

## 2.7.6 KYPIPE

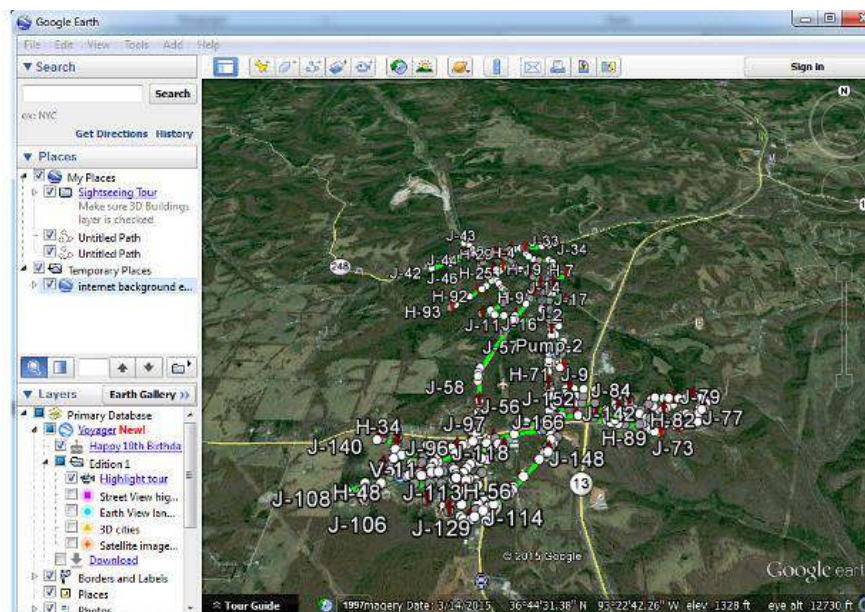
Výpočtový software pro provádění hydraulické analýzy a analýzy kvality vody, který byl vyvinutý před více než 40 lety na University of Kentucky. Model umožňuje automatickou optimalizaci celé řady parametrů jako například otáčky čerpadel, nastavení regulačních uzávěrů a vodojemů, průměr potrubí, součinitel hydraulické drsnosti, požárních průtoků. Výpočtové jádro je založeno na EPANETu [7, 15]. Více informací na: <http://kypipe.com/>.



Obr. 2.7 Logo KYPipe – verze Pipe2016

## Pipe2016

Je nejnovější verze produktu KYPipe a oproti předchozím verzím Pipe2014, Pipe2012 a starším obsahuje další aktualizace. Už verze z roku 2014 umožňovala propojení se SCADA nebo podložení mapy ve formátu .pdf anebo byla propojena s mapami Google a jejich údaji o nadmořských výškách, umožňovala taky prezentaci výsledků ve formátech .doc, .pdf, .ppt nebo HTML. Verze Pipe2016 nabízí krom těchto možností například vyinterpolování výšek v jakémkoli místě úseku modelu, mezi dvěma uzly se známými výškami nebo import/export výsledků do Google Earth.



**Obr. 2.8** Import/Export výsledků Pipe2016 do Google Earth

SW lze stáhnout na výše uvedených webových stránkách pouze v DEMO verzi, v rámci níž lze zadávat pouze 50 úseků, 1 čerpadlo, 1 aktivní ventil, maximální délka je 1500 m a je možné zadat pouze potrubí o průměru 25, 50 a 100 mm.

### 2.7.7 HydraulCAD

HydraulCAD je software pro navrhování vodovodních sítí, provádění hydraulické analýzy (statická a kvazi – dynamická) a nová verze HydraulCADu umožní i analýzu kvality vody, a to jak analýzu stáří vody v potrubí, tak zahrne i aspekty probíhajících chemických reakcí látek ve vodě, sedimentaci částic v potrubí a promíchávání vody ve vodojemech nebo nádržích. Jde o rozšíření samotného AutoCADu, takže jeho pracovní prostředí je shodné (viz obrázek 2.9). Jeho výpočtové jádro je založeno na EPANETu, výpočet tlakových ztrát probíhá dle rovnic Hazen – Williams, Darcy – Weissbach nebo Chézy – Manning.

HydraulCAD je produktem firmy AutoDESK, po registraci je trial verze dostupná ke stažení. Uživatelům je poskytnuta verze v závislosti na verzi AutoCADu, kterou vlastní, typu operačního systému počítače a verzi systému Windows.

Model je tvořen uzly, potrubím, čerpadly, ventily, vodojemy nebo nádržemi. Jednotlivé prvky modelu jsou charakterizovány stejně jako je tomu v EPANETu. HydraulCAD umožňuje analyzovat sítě libovolné velikosti. Další možností je, že uživatel může zadávat vstupní údaje v jiných jednotkách, než ve kterých budou prezentovány ve výstupech. Více informací na: <http://hydraulicad.com/>.



Obr. 2.9 Ukázka pracovního prostředí HydraulCAD

## 2.7.8 INNOVYZE

Innovyze je vývojář a dodavatel technologií pro modelování a simulaci proudění ve vodovodech i kanalizacích. Firma byla založena v květnu 1996 a má pobočky po celém světě. Poskytuje softwary značky H<sub>2</sub>O a InfoWorks pro modelování proudění povrchových i podzemních vod. Co se týče modelování trubních sítí Innovyze nabízí níže uvedené softwary, více informací o nich na: <http://innovyze.com/>.

### InfoWorks WS

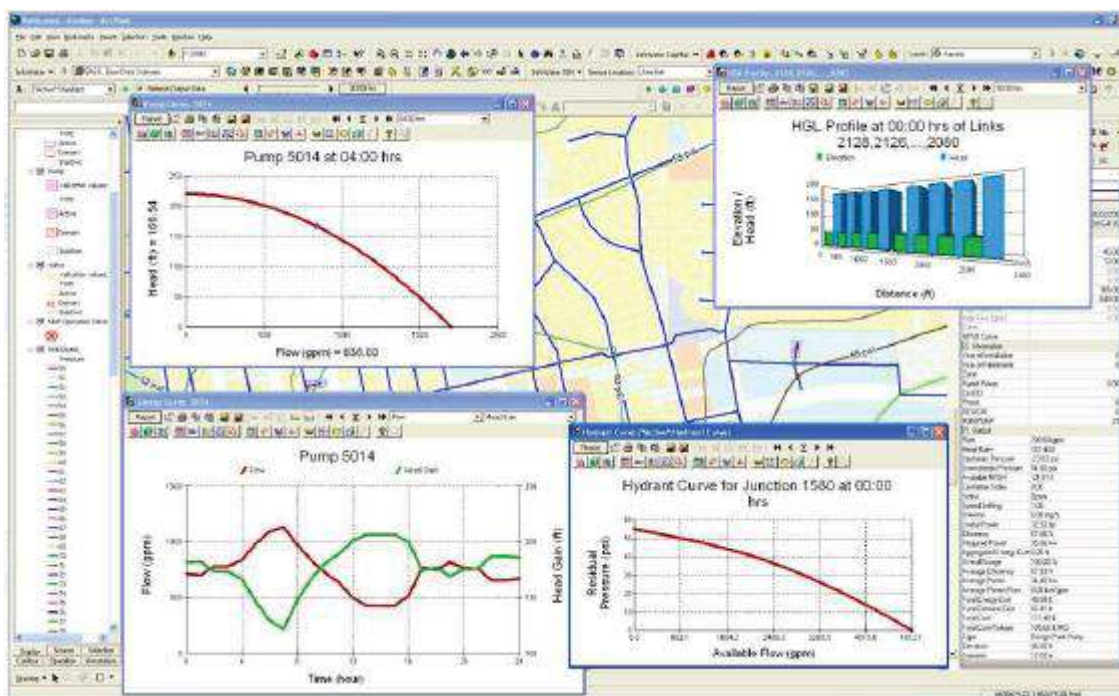
InfoWorks WS poskytuje komplexní řešení pro správu modelu, který umožňuje analýzu a řízení sítě distribučních modelů přesně a efektivně. InfoWorks WS funguje jako samostatná počítačová aplikace kompatibilní s GIS a zajišťuje vzájemné propojení a výměnu dat pomocí InfoWorks Open Data Import / Export, je napojen se systémem SCADA, což umožňuje snadnější kalibraci modelu. Příklady použití:

- Návrh a realizace plánů řízení v období sucha
- Kalkulace nákladů
- Analýza kritických míst a ztrát vody
- Plánování a analýza průtoků při požární potřebě vody
- Simulace znečištění, zhodnocení kvality vody a koncentrace chloru
- Analýza usazování částic, tvorby zákalu v síti a návrh proplachů

### InfoWater

InfoWater je vhodný pro modelování, analýzu, optimalizaci a řízení distribučních systémů vody. Jedná se o SW plně integrovaný s GIS, takže data o síti jsou automaticky aktualizována. Umožňuje taky rychlou tvorbu modelů distribuční sítě jako rozšíření ArcGISu, kterého je součástí. Výpočtové jádro je tvořeno EPANETem.

Kromě dále uvedených schopností se InfoWater využívá například k analýze rizik, optimalizaci řízení čerpadel a ventilů, nabízí několik nadstaveb se specifickými funkcemi.



Obr. 2.10 Logo a vzor pracovního prostředí InfoWater

### InfoWater MSX

Umožňuje analýzu kvality vody, konkrétně šíření nečistot a sedimentů, umožňuje modelovat složitější reakce mezi více chemickými a biologickými látkami v potrubí, a to jak v objemu potrubí, tak i na stěnách potrubí, umožňuje modelování změny koncentrace volného chlóru, tvorbu vedlejších produktů dezinfekce – vznik chloraminu, adsorpci látek na stěnách potrubí, simulaci časových změn v teplotě vody aj.

### InfoWater 2D

Používá se pro predikci rozsahu, dobu trvání, objemu a dopadu úniku vody.

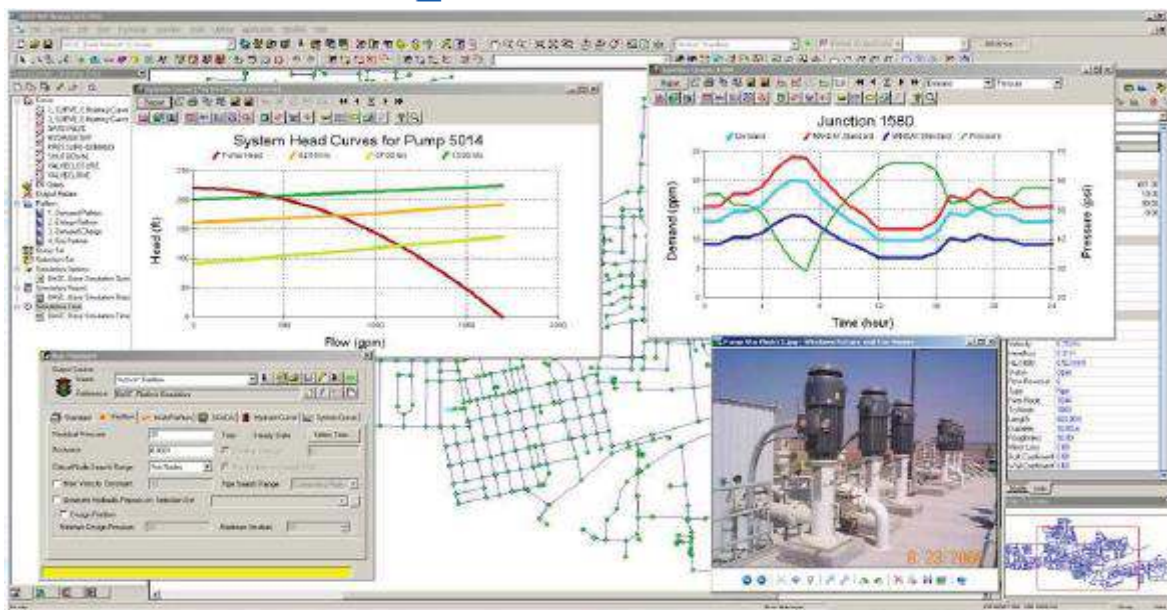
### InfoWater UDF

Jeho uplatňován při správě systematického proplachování vodovodní sítě pro obnovení hydraulické kapacity potrubí, umožňuje analyzovat stojaté (stagnující) vody v potrubí a s tím související vznik usazenin, dále kontrolu koroze a využití dezinfekce v síti.

### H<sub>2</sub>OMAP Water

Je to software pro modelování distribučních systému vody. Jedná se o samostatnou aplikaci integrovanou na GIS, jejíž výpočtové jádro funguje na principech EPANETu. Jeho využití je shodné jako využití softwaru H<sub>2</sub>ONET.

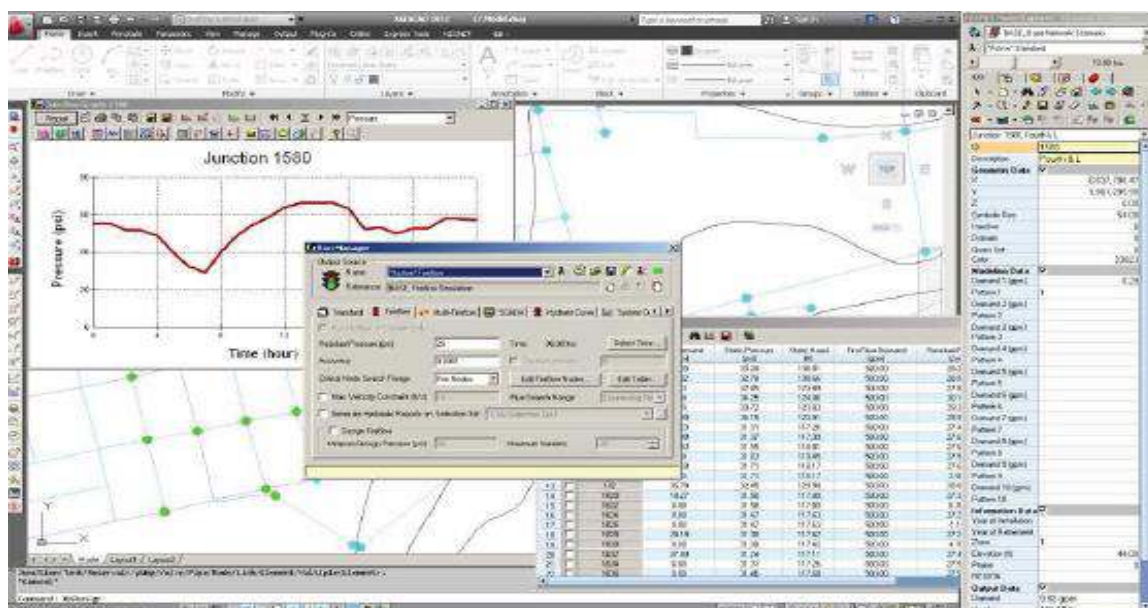
## H<sub>2</sub>OMAP Water®



Obr. 2.11 Logo a pracovní prostředí H<sub>2</sub>OMAP Water

### H<sub>2</sub>Onet

H<sub>2</sub>ONET je softwarový doplněk pro AutoCAD sloužící ke kompletnímu modelování, analýze a návrhu distribučních systému vody. Výpočtové jádro je založeno na EPANETu. Je napojen na SCADA systém. Umožňuje rychlou a komplexní analýzu kvality vody i hydraulických poměrů, simulaci a kontrolu v režimu Real – time, simulaci proudění při požárních odběrech, používá se k simulaci poruch na síti, vyhledávání poruch a netěsností, k modelování zákalu a pohybu usazenin, optimalizaci čerpadel a ventilů, atd. Více informací na <http://innovyze.com/>.





**Obr. 2.12 Pracovní prostředí a logo H2ONET**

## **2.7.9 DHI**

Společnost DHI je na českém trhu od roku 1990 a zabývá se distribucí softwarových prostředků pro řešení problémů v oblasti hydrologie, hydrauliky, distribučních systémech pitné vody, čistírenství i úpravárenství. Více na: <http://www.mikepoweredbydhi.com/>.

### **MikeUrban**

Je software používaný nejen na modelování distribučních systémů pitné vody ale i odpadní. Jeho předností je plná integrace s GIS, všechny licence a komponenty GIS jsou zahrnuty v licenci MikeUrban. Je dostupný ve 30 jazycích a mezi podporovaný jazyk patří i čeština. Výpočtové jádro je tvořeno EPANETem. Umožňuje provádět simulace pro modelování distribučních sítí pitné vody pro ustálené i neustáleného proudění, dále pro návrh, analýzu a optimalizaci tlakových poměrů, k analýze ztrát vody, průtoků při požárním odběru a k analýze rizik kvality vody. Model vytvořený v MikeUrban je automaticky kalibrován. V rámci analýzy kvality vody je zohledněno míchání vody z různých zdrojů, dá se modelovat stáří vody v systému, residuum chlóru nebo vývoj vedlejších produktů dezinfekce.

### **MikeNet**

Je to program, který umožňuje hydraulickou analýzu celé vodovodní sítě anebo jen její části. Dále se používá pro modelování kvality vody a pro trasování a usazování částic. Lze pomocí něj provádět statické a kvazi-dynamické simulace chování sítě. Umožňuje vstup i výstup z a do AutoCADu a taktéž MicroStation pomocí souborů ve formátu dxf. Program dovoluje i po importu topologie sítě provádět jakékoliv změny v síti pomocí grafického rozhraní. Numerické řešení je založeno na výpočtovém jádru EPANETu.

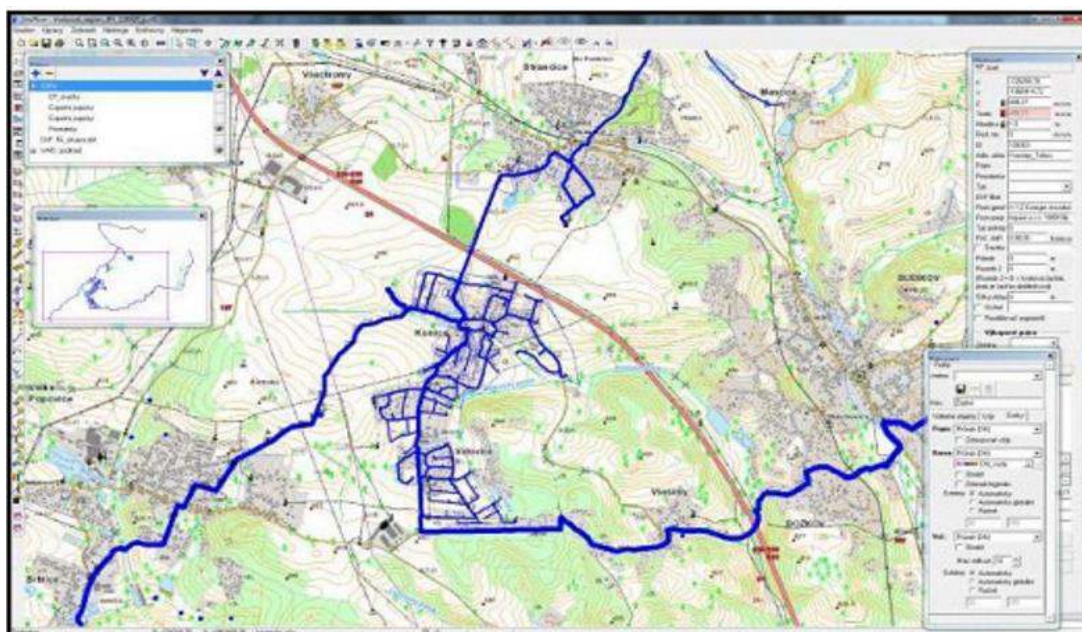
## **2.7.10 PICCOLO**

Jedná se o SW vytvořený firmou SAFEGE Consulting Engineers a je používána pro analýzu kvality vody a analýzu hydraulických poměrů v síti, pro simulování vodního rázu a šíření sedimentů ve vodní síti. Pro výpočet jsou použity metody Newton – Raphson a Node – Loop. Velikost sítě není nijak omezena [7].

Další informace na: <http://www.safege.com/>

### 2.7.11 SiteFlow

SiteFlow je program vyvinutý firmou Aquion, s.r.o., který je vhodný pro navrhování, projektování a posuzování vodovodních i kanalizačních sítí. Software využívá prostředky GIS, CAD, se kterým je kompatibilní ve formátu .dxf, umožňuje dále import a export tabulek ve formátu .xls. a jeho výpočtové jádro je založeno na EPANETu. SiteFlow umožňuje provádění statickou nebo kvazi – dynamickou analýzu pro určení průběhu tlaku, rychlosti nebo průtoku v síti, pomocí tohoto programu pak můžeme řešit i plnění a prázdnění vodojemů, simulovat vodovod v provozu, identifikovat ztráty nebo černé odběry, umožňuje modelování změny kvality vody ve vodovodu nebo stáří vody v síti, simulovat vliv uzavření části sítě a následky dopad na zbytek sítě. Více informací na: <http://www.aquion.cz/>.



Obr. 2.13 Vzor pracovního prostředí SiteFlow pro vodovodní síť

### 3 ŘEŠENÁ LOKALITA - OBEC HNOJNÍK

V rámci této bakalářské práce byl vytvořen model vodovodu obce Hnojník o celkové délce 20,313 km. V této kapitole je podrobněji popsán způsob dopravy pitné vody do obce a pak dále rozvodnou sítí k jednotlivým spotřebitelům.

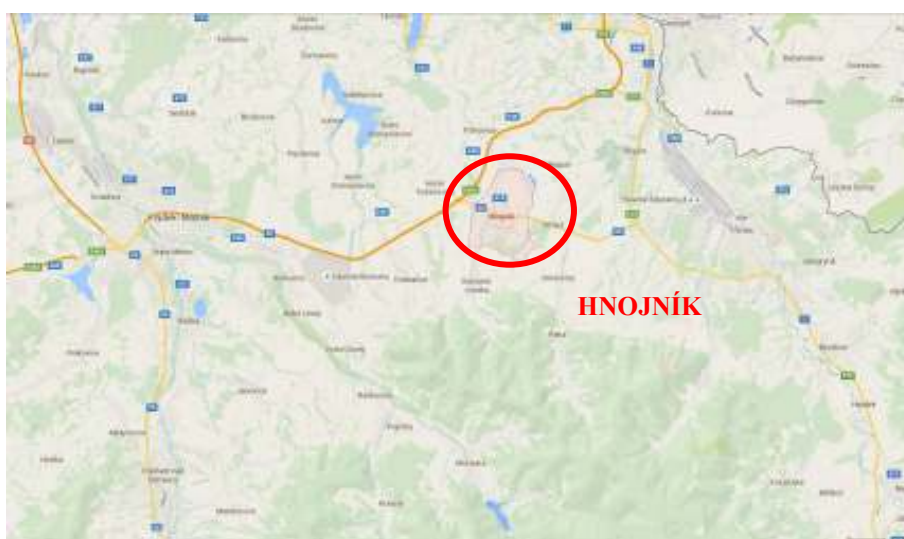
#### 3.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obec Hnojník se nachází v Moravskoslezském kraji, okres Frýdek - Místek, mezi městy Frýdek - Místek, Třinec a Český Těšín, přibližně 8 km od státních hranic s Polskem. Obcí s rozšířenou působností je město Třinec.

Počet trvale žijících obyvatel je 1472 (údaj platný k 1. 1. 2015). Obec se rozprostírá na území o velikosti 641 ha, z toho zastavěnou plochu zaujímá 17 ha. Obec se nachází v průměrné nadmořské výšce 365 m n. m. [16].



Obr. 3.1 Situace širších vztahu – poloha obce na území České republiky



Obr. 3.2 Situace širších vztahu - obec Hnojník, Moravskoslezský kraj

Východní částí obce protéká řeka Stonávka, na níž je mimo území obce vybudována vodní nádrž Těrlicko. Východní hranici se sousední obcí Střítež tvoří Černý potok, který mimo území obce ústí do řeky Stonávky. Oba tyto toky tvoří recipient povrchových vod dopadající na území obce.

Obcí prochází komunikace I. třídy I/68, která byla před vybudování D48 hlavní spojovací tepnou pro osobní i kamionovou dopravu se Slovenskem a železniční trať č. 322 Cieszyn – Český Těšín – Frýdek – Místek pro osobní i nákladní vlakovou dopravu.

### **3.2 CHARAKTER ZÁSTAVBY**

Charakter zástavby je specifikován jako venkovský. Zástavba je hustší v oblasti centra obce, tj. křižovatka silnic I/68 a II/474, kde se kromě rodinných domů nachází obchodní středisko, česká základní škola a mateřská škola (celková kapacita 530 žáků) včetně školní jídelny, bufet, hospoda, Dům pro seniory (kapacita 50 lůžek). Velká hustota osídlení je v části Hnojník – Novákovice, mezi silnicí I/68 a železniční tratí směr Frýdek - Místek. V obci je 8 podlažní panelový dům, bytové domy (3 - 6 pater), polská základní škola a mateřská školka (celková kapacita 150 žáků). Mezi významné spotřebitele pitné vody patří uvedené školy, Dům s pečovatelskou službou, firmy Optimont, s.r.o., Epos, s.r.o., Správa státních hmotných rezerv, Hostinec U Zajíce a Hotel Park.

### **3.3 ZPŮSOB ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU**

Obec Hnojník nemá vlastní akumulaci pitné vody. Pitná voda je do spotřebiště přiváděna Ostravským oblastním vodovodem (OOV) primárně z úpravny vody (ÚV) ve Vyšních Lhotách. Zdrojem vody pro úpravnu je vodní nádrž Morávka. Alternativním zdrojem vody pro obec Hnojník jsou všechny zdroje vody OOV, tj. vodní nádrž Šance, Kružberk a Slezská Harta, které primárně slouží pro zásobování Ostravska, Novojičína, Opavska a dalších. Přepojení je umožněno v uzlu Dobrá, odkud je dále voda čerpána na uzel Tošanovice, a pak dále gravitačně.

Rozvodná vodovodní síť obce je napojena na přivaděč OOV Tošanovice – Třinec, ocel DN 500, odbočkou PVC DN 150 na okraji intravilánu obce Hnojník u silnice č. 4761 směrem na Komorní Lhotku.

#### **3.3.1 ZDROJ VODY - VD MORÁVKA**

Vodní dílo Morávka se nachází, v katastrálním území Morávka, v pohoří Moravskoslezských Beskyd, mezi svahy vrcholů Travný a Slaviš, na stejnojmenném vodním toku Morávka. Dalším přítokem je potok Slavič, který stejně jako Morávka pramení na území CHKO Beskydy. V okolí nádrže je vybudováno pásmo hygienické ochrany (PHO) [17].

Odběr vody je možný ze tří horizontů a to v závislosti na kvalitě jímané vody související s ročním obdobím. Na ÚV Vyšní Lhoty je surová voda dopravována gravitačním

ocelovým přivaděčem DN 500,  $Q_{\text{kap}} = 300 \text{ l.s}^{-1}$  v celkové délce 9,5 km, který je v úseku Pražmo - Vyšní Lhoty zdvojen v profilu DN 800 [18].

### 3.3.2 ÚPRAVNA VODY VYŠNÍ LHOTY

Úpravná vody je navržena jako dvojlínková a kapacitní výroba pitné vody je  $450 \text{ l.s}^{-1}$ . Technologie je založena na principu jednostupňové koagulační filtrace. Při horších kvalitativních vlastnostech surové vody je na obou linkách možnost předúpravy chlorací a oxidací. Jako koagulant se používá síran hlinitý  $\text{Al}_2\text{SO}_4$ , po fázi koagulace a flokulace voda natéká na soustavu otevřených pískových rychlofiltrů. V rámci hygienického zabezpečení je voda alkalizována vápennou vodou a dezinfikována oxidem chloričitých  $\text{ClO}_2$  a plynným chlórem  $\text{Cl}_2$ . Vodárenský kal a voda z praní filtrů je usazován ve vertikálních válcových sedimentačních nádržích, kal je sušen v kalových polích, odkud je těžen a odvážen na skládku.

Upravená voda dosahuje vysokých kvalit. Koagulant se do upravované vody dává v malých dávkách, neboť už samotná surová voda dosahuje dobré kvality. Vodou z úpravní je zásobováno obyvatelstvo připojeno na část OOV a pivovar Nošovice. Provoz úpravní je zcela automatizován a je řízen z ÚV Nová Ves [18].

### 3.3.3 OSTRAVSKÝ OBLASTNÍ VODOVOD

Ostravský oblastní vodovod (OOV) byl vybudován v 50. letech 20. století a je tvořen dvěma částmi: Kružberský skupinový vodovod (KSV) a Beskydský skupinový vodovod (BSV). Byl vybudován v 50. letech 20. století. KSV je tvořený VD Slezská Harta, která je zdrojem vody VD Kružberk, s ÚV Podhradí, zásobující pitnou vodou levou oblast povodí Odry. BSV je tvořen VD Šance s úpravnou vody Nová Ves poblíž města Frýdlant, která je zdrojem pitné vody pro Ostravsko, Karvinsko, Novojičínsko a okolí města Frýdek - Místek. VD Morávka s úpravou vody ve Vyšních Lhotách zásobuje pitnou vodou Třinecko, Těšínsko a Havířovsko [19].

Z úpravní vody Vyšní Lhoty je veden přivaděč OOV Vyšní Lhoty - Tošanovice – VDJ Žukov, jedná se o ocelové potrubí DN 600 a přivaděč Vyšní Lhoty - Dobrá – VDJ Bludovice, ocel, DN 600. Na uzel Dobrá je napojen přivaděč Dobrá - VDJ Frýdek, ocel DN 500. Na uzel Tošanovice je napojen přivaděč Tošanovice - VDJ Nebory, ocel DN 500, na který je napojena rozvodná vodovodní síť obce Hnojník. Kapacita přivaděče je  $253,84 \text{ l.s}^{-1}$  [18].

### 3.3.4 ROZVODNÁ VODOVODNÍ SÍŤ OBCE HNOJNÍK

Rozvodná vodovodní síť (RVS) obce Hnojník je na OOV Tošanovice - Třinec, ocel DN 500 napojena odbočkou DN 150, na které je osazena vodovodní šachta o průměru 2 m. Odbočka je opatřena šoupátkem se ZS DN 100, indukčním vodoměrem DN 100 napojeným na data logger s 15minutovým časovým krokem záznamu. Redukční profily

DN 100/150 jsou osazeny mimo šachtu. Napojení je provedeno mimo trasu OOV. Na tuto šachtu je napojen řad "1" RVS obce Hnojník.



**Obr. 3.3** Napojovací šachta RVS Hnojník na OOV – šachta Š – pohled ze silnice 4761



**Obr. 3.4** Napojovací šachta RVS Hnojník na OOV – šachta Š8 – vstup



**Obr. 3.5** Vystrojení vodoměrné šachty Š8 – šoupě (vlevo), vodoměr, data logger (vpravo)

Vodovodní síť v obci byla budována etapovitě dle potřeby rozvíjející se zástavby od 50. let 20. století. Není zachována žádná původní projektová dokumentace. V roce 2013 byl vytvořen pasport vodovodní sítě, který byl použit jako podklad pro vypracování hydraulické analýzy. RVS obce je kombinací okružové a větvené sítě. Na vodovod je napojeno 90% obyvatelstva obce.

**Tab. 3.1** Přehled materiálů a délek RVS Hnojník

	DN 80	DN 100	d <sub>n</sub> 50	d <sub>n</sub> 63	d <sub>n</sub> 90	d <sub>n</sub> 110	d <sub>n</sub> 160	Celkem [m]
<b>OC</b>	878,6	865,3						<b>1 743,9</b>
<b>TLT</b>	94,7							<b>94,7</b>
<b>PVC</b>				4 880,9	2 424,5	1 006,8	2 828,8	<b>11 141,0</b>
<b>PE</b>			264,5	5 078,5	320,8		1 669,7	<b>7 333,5</b>
<b>Celkem [m]</b>	<b>973,3</b>	<b>865,3</b>	<b>264,5</b>	<b>9 959,4</b>	<b>2 745,3</b>	<b>1 006,8</b>	<b>4 498,5</b>	<b>20 313,1</b>

Všechna odbočení řadů jsou opatřena uzávěry. Na vodovodní síti jsou rozmístěny podzemní požární hydranty, u požární stanice je umístěn nadzemní hydrant [20].

Přehledné schéma vodovodu viz PŘÍLOHA 1.

**Tab. 3.2** Počet hydrantů RVS Hnojník

Druh hydrantu	Počet [ks]
Podzemní	31
Nadzemní	1



Obr. 3.6 Schéma materiálu a dimenzí

### **3.3.5 MAJETKOPRÁVNÍ VZTAHY**

Všechny části OOV, včetně ÚV Vyšší Lhoty jsou majetkem Severomoravských vodáren a kanalizací (SmVaK, a.s.), které jsou zároveň provozovatelem, IČO: 45193665, DIČ: CZ45193665, adresa: 28. října 169, 709 45 Ostrava. Rozvodná vodovodní síť obce Hnojník je majetkem obce Hnojník, která je také provozovatelem, IČO obce: 00296678, DIČ: CZ00296678, adresa: Hnojník 222, 739 53 Hnojník. Vlastníkem a provozovatelem vodní nádrže Morávka je Povodí odry, státní podnik, IČO: 70890021, DIČ: CZ70890021, adresa: Varenská 3101/49, 701 26 Ostrava.

### **3.4 JAKOST VODY VE SPOTŘEBIŠTI**

Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb. stanovuje v příloze č. 1 – limitní koncentrace vybraných mikrobiologických, fyzikálních a chemických ukazatelů v pitné vodě, a v příloze č. 4 – minimální četnost odběru vzorků pro kontrolu jakosti vody. Pro spotřebišť odpovídající velikosti obce Hnojník na 4x ročně odběr vzorku pro zkrácený rozbor, 2x ročně pro úplný rozbor. Četnost odběrů je dodržována. Z protokolů o rozboru je patrné, že jakost pitné vody v obci splňuje požadavky stanovené výše uvedenou vyhláškou. Lze tedy konstatovat, že průtok distribuční sítě nijak nenarušuje kvalitu vody. V tabulce 3.3 jsou uvedeny hodnoty ukazatelů na ÚV Vyšší Lhoty, ve vodojemu Nebory a RVS Hnojník, která se nachází na trase mezi těmito objekty OOV. Rozbory vzorků z těchto objektů jsou ze shodného období, v jakém byly prováděny rozbor jakosti pitné vody ve spotřebišti.

Tab. 3.3 Jakost vzorků pitné vody červen a prosinec 2014

Datum odběru			Červen 2014			Prosinec 2014		
Odběrné místo			ÚV Vyšní Lhoty	VDJ Nebory	RVS Hnojník	ÚV Vyšní Lhoty	VDJ Nebory	RVS Hnojník
Ukazatel	Jednotka	Mezní hodnota						
Teplota T	°C		8,3	8,3	16,0	7,9	7,9	13,0
Volný chlór	mg/l	0,3	0,29	0,15	0,08	0,32	0,14	0,11
Barva	mg Pt/l	20	< 1,5	< 1,5	< 2,0	< 1,5	< 1,5	4,0
Zákal	ZF (n)	5	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,5	< 0,5	0,2
Vodivost	mS/m	125	10,00	-	9,24	10,00	-	10,20
pH		6,5 - 95	8,30	8,10	8,00	7,95	7,75	8,10
CHSK <sub>Mn</sub>	mg/l	3	0,5	0,5	< 0,5	0,5	0,5	< 0,5
Dusičnany NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50	2,8	-	3,3	2,4	-	2,6
Dusitany NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,5	< 0,01	-	< 0,02	< 0,01	-	< 0,02
Amonné ionty	mg/l	0,5	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-	0,06
Fe	mg/l	0,2	< 0,050	< 0,050	0,024	< 0,050	< 0,050	0,019
Mn	mg/l	0,05	< 0,030	< 0,030	0,005	< 0,030	< 0,030	0,002
Al	mg/l	0,2	0,02	0,02	0,015	0,03	< 0,020	0,012
Fekální streptokoky	KTJ/100 ml	0	0	0	-	0	0	-
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	0	-	0	0	-	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	0	0	0	0	0
Počty kolonií při 22°C	KTJ/1 ml	200	0	-	18	0	-	0
Počty kolonií při 36°C	KTJ/1 ml	40	1	-	13	0	-	2
Celk. Počet organismů	org./ml	50	2	2	0	2	0	0
Živé organismy	org./ml	0	0	-	0	0	0	0

## 4 HYDRAULICKÁ ANALÝZA

Pro potřeby provedení hydraulické analýzy poskytla obec Hnojník data o vstupních průtocích a tlacích do sítě. Ve vodoměrné šachtě, kde se řad „1“ RVS Hnojník napojuje na OOV, je osazen indukční vodoměr DN 100, na který je napojen data logger Sebalog Dx, dodavatelem zařízení pro Českou republiku je firma Megger CZ s.r.o.. Sebalog Dx je logger s integrovaným GSM/GPRS modulem a bezdrátovým přenosem, který je využíván pro měření tlaků a průtoků ve vodárenské praxi. Logger je napájen bateriemi, takže nevyžaduje napojení na rozvod NN [21]. Data jsou z loggeru odesílána v 15minutových intervalech na FTP server, ke kterému mají přístup zástupci provozovatele RVS Hnojník a OOV. Čtení dat je umožněno SW SebaDataView.



Obr. 4.1 Data logger Sebalog Dx [21]

Pro sestavení modelu byly použity data z období 15. 1. 2016 – 4. 3. 2016.

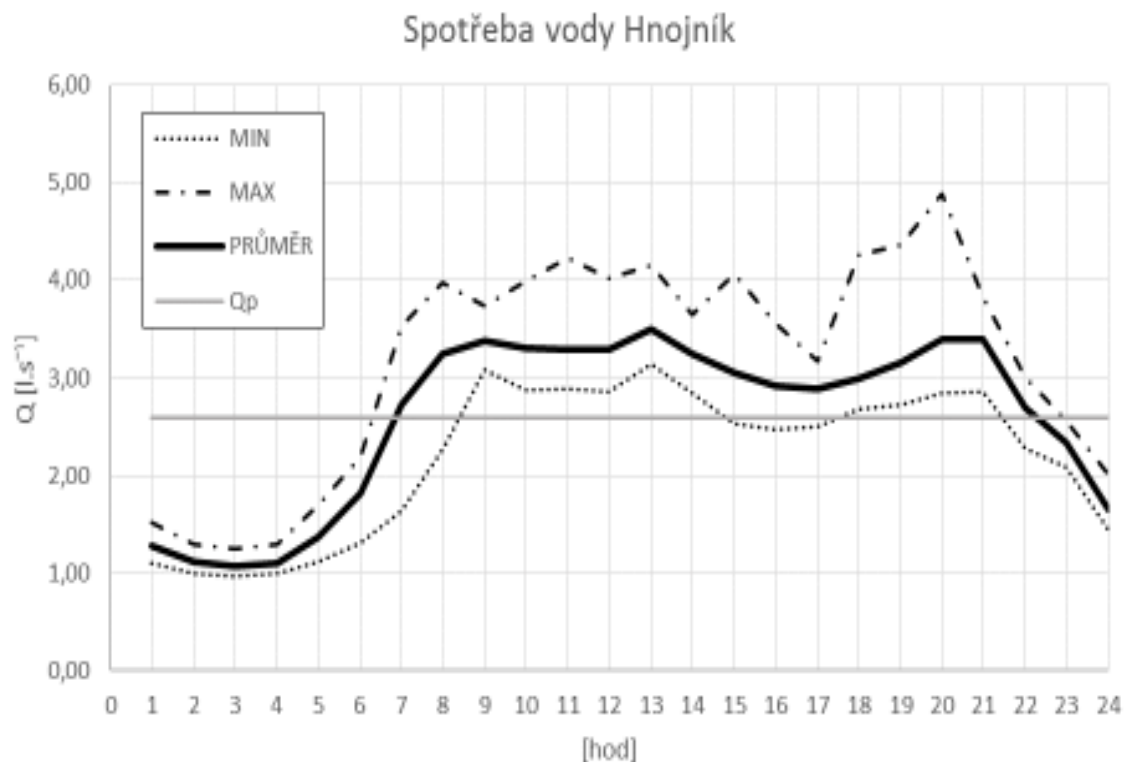
Tento interval byl vybrán z důvodu nejdelšího a nejaktuálnějšího bezporuchového provozu měřicí techniky.

### 4.1 PRŮTOKOVÉ POMĚRY V MÍSTĚ NAPOJENÍ NA OOV

Průtoky jsou v programu SebaDataView zaznamenávány v jednotkách [ $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ ], prvním krokem byl tedy převod na [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ], což jsou jednotky, se kterými pracuje EPANET. Dalším krokem bylo vytvoření hodinových průměrů z naměřených hodnot v 15minutovém intervalu. Příklad zpracovaných dat je na obrázku 4.2. Následně byla data statisticky zpracována. Z měřeného období byly pro jednotlivé hodnoty vybrány minimální, maximální průtoky a z celé datové řady byl vytvořen průměr v [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Statistická data jsou graficky zpracována v grafu 4.1.

Graf 4.1 Průběh spotřeby vody ve spotřebišti Hnojník



Uvedené křivky průtoků svým průběhem odpovídají běžné křivce odběru vody během dne. V nočních hodinách mezi 1. a 5. hodinou ráno jsou odběry ze sítě nejmenší. Průtoky během dne jsou relativně vyrovnané, k významnějším odběrům probíhá v dopoledních hodinách a kolem poledne, což vzhledem k charakteru spotřebišť (2 jídelny ZŠ, 1 jídelna MŠ, kuchyně Domu pro seniory a další 2 stravovacím zařízením v síti této velikosti) je očekávatelné, další významnější hodnoty odběru jsou mezi 20. a 21. hodinou.

Nejmenší průměrný odběr v síti nastává ve 3 hodiny ráno a jeho hodnota je  $1,069 \text{ l.s}^{-1}$ , největší průměrný odběr nastává ve 20 hodin a nabývá hodnoty  $3,394 \text{ l.s}^{-1}$ .

Výše uvedená data sloužila pro stanovení průměrné denní spotřeby vody  $Q_p$ , maximální denní spotřebě vody  $Q_m$ , maximální hodinové spotřebě vody  $Q_h$  a minimální spotřebě vody  $Q_{\min}$ .

Na základě těchto hodnot pak byly stanoveny koeficienty vyjadřující vliv nerovnoměrnosti spotřeby vody, a sice byl stanoven koeficient denní nerovnoměrnosti  $k_d$  a koeficient hodinové nerovnoměrnosti  $k_h$ .

**Tab. 4.1 Analýza průtoků spotřebiště Hnojník**

Souhrn
$Q_p [l.s^{-1}] = 2,592$
$Q_m [l.s^{-1}] = 2,751$
$Q_m [m^3.d^{-1}] = 237,73$
$Q_h [l.s^{-1}] = 4,888$
$Q_{min} [l.s^{-1}] = 0,969$
$k_h [-] = 1,78$
$k_d [-] = 1,06$

Koeficient hodinové nerovnoměrnosti se stanoví poměrem maximální hodinové spotřeby vody s maximální denní spotřebou vody. Hodnoty koeficientu se pohybují v našich podmínkách v rozmezí 1,5 – 2,5 a jeho hodnota závisí na tom, jestli se jedná o pracovní dny nebo dny pracovního klidu a taky na charakteru zástavby [5].

$$k_h = \frac{Q_h}{Q_d} \quad (4.1)$$

Koeficient denní nerovnoměrnosti se stanoví jako poměr maximální denní a průměrné denní spotřeby vody, jeho hodnota je závislá na velikosti spotřebiště. Platí, že se zvětšujícím se počtem odběratelů hodnota koeficientu klesá. Jeho hodnota se pohybuje v rozmezí 1,1 – 1,6 [5].

$$k_d = \frac{Q_d}{Q_p} \quad (4.2)$$

## 4.2 TLAKOVÉ POMĚRY V MÍSTĚ NAPOJENÍ NA OOV

Hodnoty tlaků jsou v SebaDataView zaznamenávány v jednotkách [bar], EPANET pracuje s jednotkami [m v. sl.] proto byly data před dalším zpracováním převedeny dle vztahu:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (4.3)$$

P ... tlak [Pa = N.m<sup>-2</sup>]

$\rho$  ... hustota vody při 4 °C [kg.m<sup>-3</sup>]

g ... gravitační zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

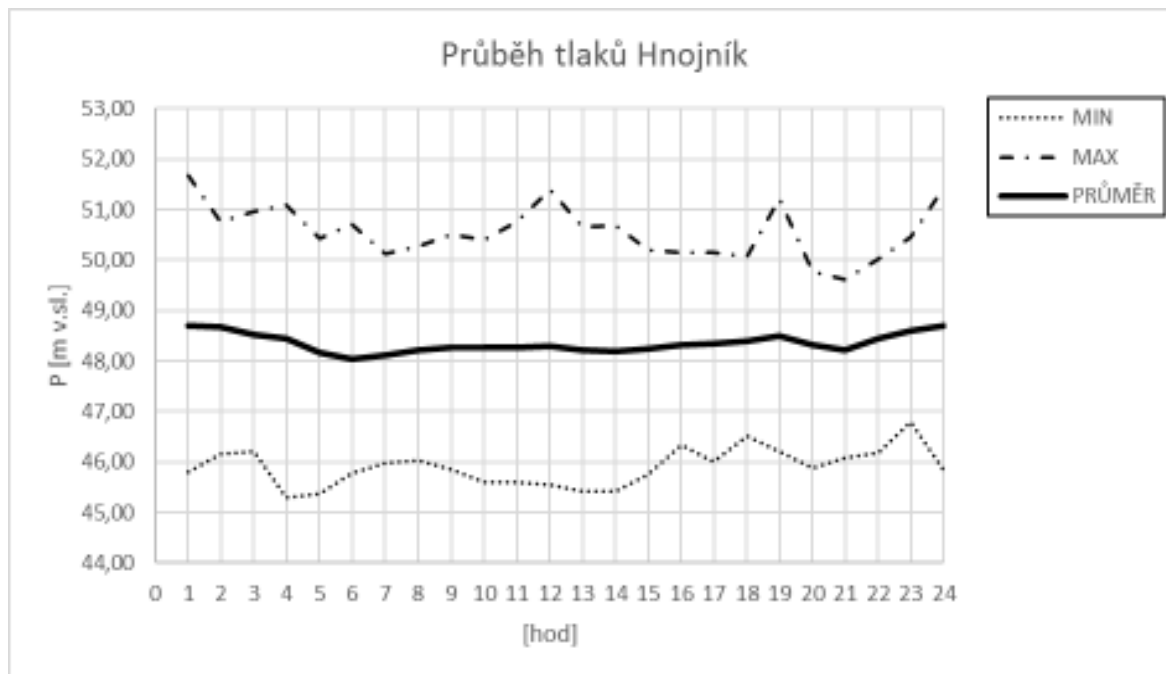
h ... výška vodního sloupce [m]

Přičemž platí:

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa} = 10,197 \text{ m v. sl.}$$

Po převodu byly ze sady 15minutových tlaků vytvořeny hodinové průměry pro celé sledované období a byly statisticky zpracovány stejně jako průtoky, to znamená, že byly stanoveny denní extrémy a průměrné hodnoty.

**Graf 4.2 Průběh tlaku během dne**



Graf 4.2 zobrazuje polohu tlakové čáry v místě napojení RVS Hnojník na OOV během dne. Plná čára označená jako PRŮMĚR zobrazuje průměrné kolísání tlaku během dne, data jsou způměrována za celé měření období (tj. od 15.1.2016 do 4.3.2016). Tečkovaná čára MIN zobrazuje minimální hodnoty, které byly ve sledovaném období naměřeny v jednotlivých hodinách, čerchovaná čára MAX zobrazuje maximální hodnoty. Body těchto dvou křivek jsou tedy tvořeny extrémními hodnotami, ke kterým došlo v jednotlivé hodiny ve sledovaném období. Z graficky zpracovaných průměrných hodinových hodnot jde vidět, že k nejvýraznějšímu nárůstu tlaku, a to až na hodnotu 48,701 m v. sl., dochází v noci kolem půlnoci a následně tlak klesá až na průměrnou minimální hodnotu 48,03 m v. sl., která nastává v 6 ráno.

Tlak na přítoku do sítě se denně pohybuje v intervalu 48,030 m v. sl. až 48,701 m v. sl.

Tyto údaje o kolísání tlaku na přítoku jsou důležité proto, že v modelu je na přítoku umístěn reservoár s časově proměnlivým horizontem, a právě pro jeho určení je potřebná čára zobrazující polohu tlaku.

### 4.3 STAVBA MODELU

Pro vytvoření modelu byly použity polohopisné a výškopisné údaje z dokumentace Pasport vodovodu Hnojník, který byl vytvořen v listopadu 2013, a který poskytuje mimo již zmíněná data i informace o materiálu a velikosti profilu potrubí dané rozvodné sítě.

Pasport je jediná dokumentace poskytující informace o polohovém a výškovém umístění, protože žádná původní projektová dokumentace z období realizace vodovodní sítě se nedochovala. Hloubka uložení potrubí je v pasportu označena jako orientační v toleranci dle ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání sítí technického vybavení. Takže výsledky analýzy jsou zatíženy nepřesností těchto údajů. Potřebné podklady poskytl OÚ Hnojník v elektronické podobě.

Pro účely analýzy byla síť schematizována – rozdělena na souboru úseků a uzlů, dle zásad uvedených v kapitole 2.5. Úseky byly vytvořeny potrubím o jednotném profilu, materiálu a stáří. V místech větvení sítě byly umístěny uzly. Uzly byly umístěny i do konců úseků a v místech hydrantů. Maximální délka úseku je v rozmezí 200 – 400 m.

Materiál potrubí je v modelu rozlišován součinitelem drsnosti  $k$ . Hodnota tohoto součinitele, je důležitá pro určení ztrát třením po délce. EPANET počítá ztráty pomocí rovnice Darcy – Weisbacha.

**Tab. 4.2** Hodnoty součinitelů drsnosti  $k$  [5]

Materiál	Součinitel drsnosti $k$
PE, PVC	0,25
Nové PE, PVC	0,01
OC	0,40
TLT	1,00

Převládajícím materiálem v síti je PE a PVC, pro tento materiál byl v rámci schematizace součinitel drsnosti stanoven na hodnotu 0,25 a to vzhledem ke stáří materiálu, hodnota 0,01 byla přiřazena k úsekům sítě, které jsou v pasportu označeny jako řad „Nová zóna“, a jehož stáří je výrazně kratší než stáří zbytku sítě, a který ještě nebyl uveden do provozu. Z litiny je vybudován pouze jeden úsek, pro potřeby výpočtu se předpokládá, že materiál je zrezivělý a lehce inkrustovaný. Ostatní úseky sítě jsou z ocelového potrubí s hodnotou 0,4, což odpovídá mírně zrezivělému, lehce inkrustovanému potrubí.

Kostra modelu byla vytvořena v programu AutoCAD, uložena do formátu .dxf a exportována do EPANETu. Přičemž byly zachovány polohopisné souřadnice. V EPANETu byly ručně doplněny výšky jednotlivých uzlů, a úsekům byly přiřazeny hodnoty vnitřní profilu potrubí a součinitelé drsnosti.

V rámci schematizace byly rozděleny průtoky, a to metodou redukovaných délek, která je podrobně popsána v kapitole 2.5.1.

Pro průběh kvazi – dynamické analýzy byly do EPANETu nahrány součinitele vyjadřující rozdělení průtoků a tlaku během dne.

Hodnota součinitele průtoku souč.  $Q$  byla stanovena poměrem průměrného hodinového průtoku a průměrného denního průtoku  $Q_p$ .

$$\text{souč. } Q = \frac{\text{PRŮMĚR}}{Q_p} \quad [-] \quad (4.3)$$

Hodnota součinitele tlaku souč. P byla stanovena poměrem průměrného hodinového tlaku a průměrného denního tlaku.

$$\text{souč. P} = \frac{\text{PRŮMĚR HODINOVÝ}}{\text{PRŮMĚR DENNÍ}} \quad [-] \quad (4.4)$$

Rozdělované množství v následující tabulce pro výpočet součinitele průtoku souč. Q je hodnota průměrné denní spotřeby vody  $Q_p = 2,595 \text{ l.s}^{-1}$ . Rozdělované množství pro výpočet součinitele tlaku souč. P je hodnota průměrného denního tlaku na přítoku, který nabývá hodnoty 48,355 m v. sl.

Tab. 4.3 Součinitele průtoku a tlaku do modelu

Rozdělované množství	2,592	48,355
Hodina	souč. Q	souč. P
1	0,49	1,007
2	0,43	1,006
3	0,41	1,004
4	0,42	1,002
5	0,53	0,996
6	0,70	0,993
7	1,05	0,995
8	1,25	0,997
9	1,31	0,998
10	1,28	0,998
11	1,27	0,998
12	1,27	0,999
13	1,35	0,997
14	1,25	0,997
15	1,18	0,998
16	1,13	0,999
17	1,11	1,000
18	1,15	1,001
19	1,22	1,003
20	1,31	0,999
21	1,31	0,997
22	1,04	1,002
23	0,90	1,005
24	0,64	1,007
<b>Průměr</b>	<b>1,00</b>	<b>1,000</b>

## 4.4 VÝSLEDEK HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Cílem hydraulické analýzy bylo získat přehled o průběhu tlaků a průtokových poměrech ve vodovodní síti obce Hnojník a stanovit, jestli tlaky, které během dne v síti nastávají, vyhovují požadavkům vyhlášky MZe č. 428/2001 Sb. provádějící zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

### 4.4.1 LEGISTALITVNÍ POŽADAVKY

Se správným návrhem vodovodní sítě souvisí splnění základních požadavků. Za prvé musí být dodrženy požadavky na přetlak, které jsou stanoveny ve vyhlášce MZe č. 428/2001 Sb. Tato vyhláška uvádí, že maximální hydrostatický přetlak na nejnižší místo vodovodní sítě je 0,6 MPa (tj. 61,18 m v. sl.) v odůvodněných případech 0,7 MPa (tj. 71,38 m v. sl.). Stanovuje také, že minimální hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být u zástavby do dvou nadzemních podlaží v místě napojení na vodovodní přípojku 0,15 MPa (tj. 15,29 m v. sl.) a v případě zástavby vyšší než dvě nadzemní podlaží je hodnota přetlaku minimálně 0,25 MPa (tj. 25,49 m v. sl.).

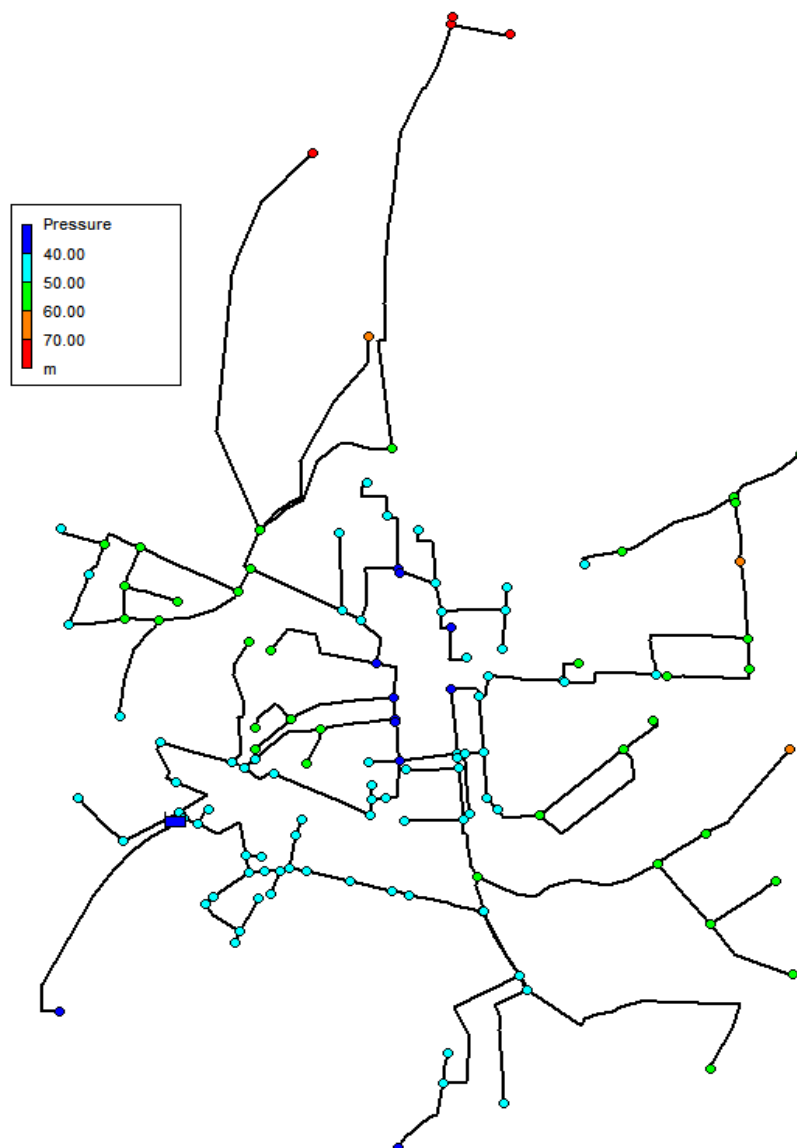
Z hlediska požární bezpečnosti, ČSN 73 0873 *Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou* říká, že u podzemního nebo nadzemního hydrantu musí být zajištěn hydrostatický přetlak minimální 0,20 MPa (tj. 20,39 m v. sl.) a při odběru by neměl klesnout pod hodnotu 0,05 MPa (tj. 5,10 m v. sl.).

### 4.4.2 POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VODOVODNÍ SÍTĚ OBCE HNOJNÍK

Výsledné tlakové poměry v síti jsou graficky znázorněny v přílohách 3 a 4 této bakalářské práce a na níže uvedených schématech.

Na obrázku 4.2 jsou schematicky zobrazeny intervaly minimálních hodnot tlaků, ke kterým dochází během celého dne v jednotlivých výpočtových uzlech. Podrobnější informace, s přesnými hodnotami, jsou zobrazeny v příloze 3 – Přehled minimálních tlaků v síti. Ze schématu 4.2 a Přílohy 3 je patrné, že hodnoty tlaku splňují požadavek na minimální hydrodynamický tlak, jsou větší než 0,25 MPa (tj. cca 25 m v. sl.). Minimální tlak v síti dosahuje hodnoty 36,20 m v. sl., celkově se minimální hodnoty tlaků pohybují v intervalu 40 – 60 m v. sl.. K překročení hodnoty 60 m v. sl. dochází na celkem sedmi místech sítě. Ovšem ve čtyřech výpočtových uzlech v severní části sítě (ve směru silnice Hnojník – Třanovice) jsou i minimální hodnoty přetlaku větší, než je přípustných 0,7 MPa.

Lze tedy konstatovat, že řady pojmenovány v Pasportu vodovodní sítě Hnojník řad „Nová zóna“ a řad „1-8“ nevyhovují a nesplňují požadavky vyhlášky MZe č. 428/2001 Sb. Je jasné, že tyto úseky nesplní požadavky již zmíněné vyhlášky i v případě maximálních tlaků na síti.

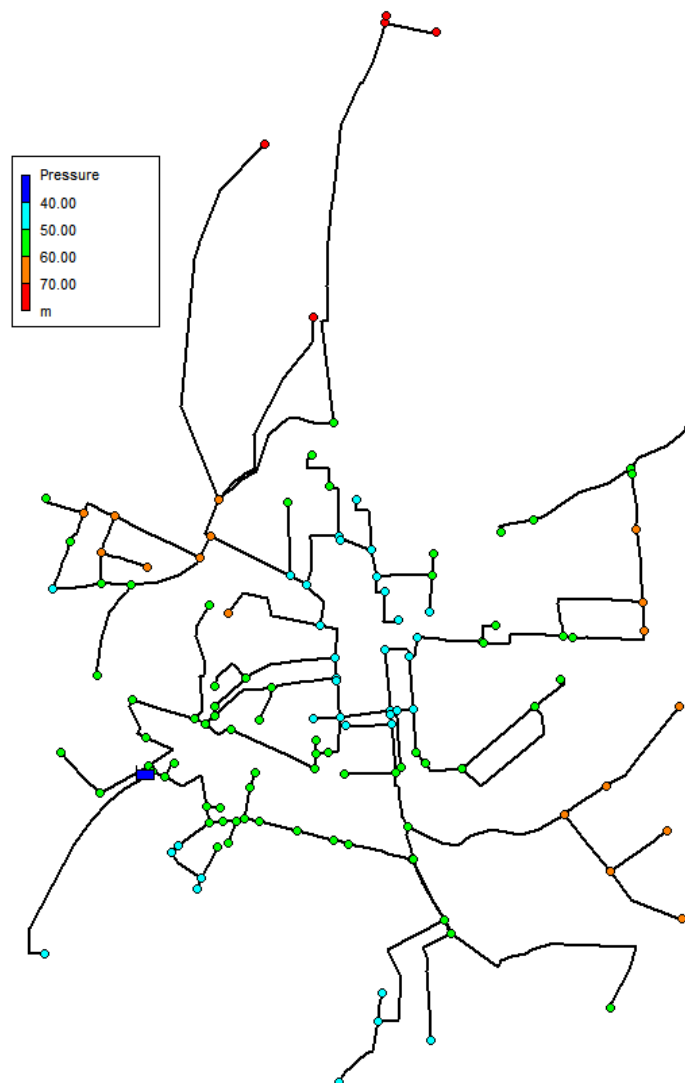


**Obr. 4.2 Schéma minimálních tlaků v síti**

Obrázek 4.3 zobrazuje, že přetlak větší než 70 m v. sl. byl dosažen i v koncovém uzlu úseku, který má dle Pasportu označení řad „1-7“. Příloha 4 – Přehled maximálních tlaků v síti zobrazuje přesné hodnoty vypočítaných tlaků.

Maximální tlaky se i v nejnvýše položených částech obce (tj. kolem kostela a Masarykovy ZŠ) pohybují v hodnotách 40 – 60 m v. sl. Jak už bylo zmíněno, požadavkům vyhlášky nevyhovují koncové uzly řadů „Nová zóna“, „1-7“ a „1-8“.

Výsledky mohou být zatíženy chybou a jsou pouze orientační. Model bude zobrazovat přesné hodnoty až po kalibraci.



Obr. 4.3 Schéma maximálních tlaků na síti

#### 4.4.3 DOPORUČENÍ

Aby byly splněny požadavky legislativy ve všech úsecích sítě, bude vhodné osadit na řad „1“ před tím, než dochází k větvení sítě, regulačním ventilem, který zajistí, že i v koncovém bodě řadu „Nová zóna“ nepřesáhne hodnota tlaku hranici 0,7 MPa.

## 5 ZÁVĚR

Hydraulická analýza je podkladem pro efektivní provozování vodovodního systému, protože díky ní získáváme informace o tlakových a průtokových poměrech provozované sítě. Správný provoz vodovodní sítě je podmíněn znalostí právě výše zmíněných údajů. Existence modelu poskytuje provozovateli údaje o tom, co se děje v síti za běžných provozních podmínek, ale lze jím simulovat i nestandardní situace, jako jsou poruchy nebo odstavení určitých částí sítě. Přestože tyto situace nemusí nikdy nastat, je dobré, aby provozovatel věděl, co v případě, že by k těmto situacím došlo, dělat, a jaký dopad to bude mít na ostatní prvky sítě.

V úvodní části práce je zjednodušeně a zkráceně popsána teorie matematického modelování proudění vody v tlakových systémech, což je případ vodovodních sítí. Jsou zde vyjmenovány zásady pro vytvoření modelu, podmínky, které musí být splněny, a je zde výčet potřebných vstupních podkladů. Na tuto část navazuje kapitola zaměřená na softwarové prostředky. Pozornost je věnována programu EPANET 2.0 a zkráceně jsou popsány i jiné softwarové nástroje. Po této kapitole následuje praktická část práce, v níž byl zpracováván hydraulický model sítě. Výsledky jsou podrobněji popsány v předchozích kapitolách.

EPANET 2.0 patří mezi nepoužívanější prostředky pro provádění analýzy hydraulických poměrů nebo analýzu kvality vody po celém světě, přestože je už poměrně zastaralý a uživateli neposkytuje takový komfort jako jiné, novější softwary. Nicméně existuje mnoho nadstaveb, které jsou v předchozích kapitolách také zmíněny, a které se snaží uživatelům práci usnadnit. Výstupy z těchto doplňkových SW ale také nejsou příliš uspokojivé. Většina těchto programů je vytvořena odbornou veřejností a jsou volně stažitelné. Fakt, že agentura U.S.EPA poskytuje EPANET 2.0 bezplatně, je jeho největší přednost a pravděpodobně důvod, proč je stále tolik oblíbený. Pokud by se ale projekční firma rozhodla nabízet mezi své služby i tvorby matematických modelů a hydraulickou analýzu sítě, myslím si, že EPANET 2.0 není nejlepší volba. Vyplatí se tedy investovat a zakoupit si licence k jiným softwarům. Vzhledem k nárokům, které jsou kladeny na komfort při práci, je EPANET nevyhovující. Neposkytuje uživateli například takovou základní funkci, jako je možnost vrácení kroku, tj. tlačítko „zpět“, což je jedna ze základních funkcí. Možností přiblížení nebo oddálení pohledu je možné jen přes funkční tlačítka a nikoli přes kolečko myši, jak jsme zvyklí. Posunování pohledu je možné jen po přepnutí funkce v nabídce a ne podržením kolečka myši a pohybem. Popisky a výpočtové hodnoty uzlů nebo úseků nelze individuálně přesouvat, takže v případě větší hustoty prvků se hodnoty překrývají a jsou nečitelné. EPANET 2.0 neumožňuje podkládat model mapami.

Objednatele analýzy zajímá především grafická interpretace výsledků. Takže pokud chceme mít kvalitní grafický výstup, je nutné výsledky exportovat pomocí nadstaveb například ve formátu .dxf, upravit je v AutoCADu, jelikož ani přímý výstup z nadstavby v tomto formátu není příliš vzhledný, a podložit mapovými podklady v AutoCADu. Podle

šikovnosti jsme tedy schopní poskytnout vhodný výstup, ale je to velmi časově náročné a snesitelné pouze u sítí malé velikosti. Nicméně výpočtové jádro EPANETu tvoří základ dalších obdobných softwarů, což svědčí o jeho kvalitě..

Ve výčtu dalších softwarů, které jsou v menší či větší míře používány po celém světě, se nachází několik, které splňují požadavky na kvalitu výstupů. Jsou stručně popsány a je u nich specifikováno použití.

Cílem této bakalářské bylo posoudit průtokové a tlakové poměry spotřebiště Hnojník pomocí matematického modelování v softwaru EPANET 2.0. Součástí výstupu jsou přílohy, z nichž jsou patrné výsledky analýzy. Podrobnější popis výsledků je obsažen v předchozích kapitolách. V přílohách práce jsou zobrazena místa sítě, které jsou, a která nejsou, v souladu s ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí, a které splňují požadavky vyhlášky MZe č. 428/2001 Sb. na požadovaný přetlak v síti. Tento cíl byl splněn.

Vytvořený model po kalibraci může sloužit jako podklad například pro analýzu ztrát vody, sestavení odkalovacího nebo proplachovacího plánu, vytvoření plánu obnovy vodovodní sítě a podobně. Všechny tyto činnosti budou přínosem pro provozovatele nebo spotřebitele, ať už tím, že dojde dalším zákrokem k omezení ztrát vody, nebo zlepšením kvality distribuované vody.

Kopie bakalářské práce bude předána zastupitelstvu obce Hnojník a může sloužit obci jako podklad při rozhodování o připojení dalších odběratelů nebo pro jiné činnosti spojené s provozováním a údržbou vodovodní sítě.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HŘEBÍČEK, Jiří, Zdeněk POSPÍŠIL a Jaroslav URBÁNEK. *Úvod do matematického modelování s využitím Maple*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-691-1.
- [2] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2815-5.
- [3] ŘÍHA, Jaromír. *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-214-0827-8.
- [4] PALUSZCZYSZYN, Daniel, Piotr SKWORCOW a Bogumil ULANICKI. Modelling and Simulation of Water Distribution Systems with Quantised State System Methods. *Procedia Engineering*. 2015, s. 554-563. ISSN 18777058. Dostupné také z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815025783>
- [5] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA, Jaroslav RÁCLAVSKÝ. *Vodárenství*. Brno: Vysoké učení technické, 2006.
- [6] DEUERLEIN, Jochen, Olivier PILLER, Idel Montalvo ARANGO a Mathias BRAUN. Parameterization of Offline and Online Hydraulic Simulation Models. *Procedia Engineering*. 2015, s. 545-553. ISSN 18777058. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815025771>
- [7] INGEDULD, Petr, Jarmil VYČÍTAL. Matematické modelování vodovodních sítí část I. *SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací*. Hostivice: Facom, 1999, roč. 8, č. 3, s. 1-3. ISSN 1210-3039.
- [8] INGEDULD, Petr, Jarmil VYČÍTAL. Matematické modelování vodovodních sítí část IV. *SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací*. Hostivice: Facom, 1999, roč. 8, č. 6, s. 8-10. ISSN 1210-3039.
- [9] ROSSMAN, A. L. EPANET 2 Users Manual. United States Environmental Protection Agency US E.P.A. 2000.
- [10] SALOMONS, Elad. EPACAD – AutoCAD to EPANET. [on-line]. [cit 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.water-simulation.com/wsp/2010/08/25/epacad/>
- [11] SALOMONS, Elad. EPANet Plus – improved map export to DXF. [on-line]. [cit 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.water-simulation.com/wsp/2011/04/21/epanet-plus-improved-map-export-to-dxf/>
- [12] SALOMONS, Elad. WaterNetGen – EPANET extension – pipe sizing. [on-line]. [cit 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.water-simulation.com/wsp/2012/01/22/waternetgen-epanet-extension-pipesizing/>

- 
- [13] ROSSMAN, A. L. An Overview of EPANET Version 3.0. Water Distribution Systems Analysis 2010. American Society of Civil Engineers, 2011, s. 14-18. DOI: doi:10.1061/41203(425)3. ISBN 9780784412039. Dostupné také z: [http://dx.doi.org/10.1061/41203\(425\)3](http://dx.doi.org/10.1061/41203(425)3)
- [14] ŠVEJNOHA, Jan. Schneider Electric CZ, s.r.o.:Aquis: efektivní řízení vodárenských sítí. *Vodní hospodářství*. Praha: Průmyslové vydavatelství. 2013, roč. 63, č. 12, s. 428. ISSN 1211-0760. Dostupné také z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz>
- [15] SCHMID, R. Review of modelling software for piped distribution networks. Working Papers on Water Supply and Enviromental Sanitation. SKAT. 2002.
- [16] Obec Hnojník [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.hnojnik.cz/>
- [17] BROSCHE, Otto. *Povodí Odry*. Ostrava: Anagram, 2005, 323 s. ISBN 80-7342-048-1.
- [18] APROVAK. Asociace provozovatelů vodovodů a kanalizací České republiky [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://www.aprovak.cz/data/files/Factsheet\\_SMVAK\\_upravna\\_lhotatiskova%CC%81%20data.pdf](http://www.aprovak.cz/data/files/Factsheet_SMVAK_upravna_lhotatiskova%CC%81%20data.pdf)
- [19] Multimediální učební texty zaměřené na problematiku úpravy a čištění vody. [on-line]. [cit 2016-03-30] Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka\\_2010/zpv.html](http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/zpv.html)
- [20] Pasport vodovodu obce Hnojník, listopad 2013
- [21] SebaKMT [online]. Dostupné z: <http://www.sebakmt.com/>

---

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Klasifikace parametrů modelu [6].....	6
Tab. 3.1 Přehled materiálů a délek RVS Hnojník .....	28
Tab. 3.2 Počet hydrantů RVS Hnojník .....	28
Tab. 3.3 Jakost vzorků pitné vody červen a prosinec 2014.....	31
Tab. 4.1 Analýza průtoků spotřebišť Hnojník.....	34
Tab. 4.2 Hodnoty součinitelů drsnosti k [5] .....	36
Tab. 4.3 Součinitele průtoku a tlaku do modelu.....	37

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Orientace tlakových ztrát v jednotlivých úsecích okruhu vodovodní sítě.....	7
Obr. 2.2 Ukázka schematizace – pracovní prostředí Epanet 2.0 .....	10
Obr. 2.3 Pracovní prostředí EPANET 2.0 .....	13
Obr. 2.4 Vzor pracovního prostředí AQUIS.....	15
Obr. 2.5 Ukázka pracovního prostředí WaterCAD .....	16
Obr. 2.6 Vzor pracovního prostředí WaterGEMS .....	17
Obr. 2.7 Logo KYPipe – verze Pipe2016.....	17
Obr. 2.8 Import/Export výsledků Pipe2016 do Google Earth .....	18
Obr. 2.9 Ukázka pracovního prostředí HydraulCAD.....	19
Obr. 2.10 Logo a vzor pracovního prostředí InfoWater .....	20
Obr. 2.11 Logo a pracovní prostředí H <sub>2</sub> OMAP Water .....	21
Obr. 2.12 Pracovní prostředí a logo H <sub>2</sub> ONET.....	22
Obr. 2.13 Vzor pracovního prostředí SiteFlow pro vodovodní sítě .....	23
Obr. 3.1 Situace širších vztahu – poloha obce na území České republiky .....	24
Obr. 3.2 Situace širších vztahu - obec Hnojník, Moravskoslezský kraj .....	24
Obr. 3.3 Napojovací šachta RVS Hnojník na OOV – šachta Š – pohled ze silnice 4761 ...	27
Obr. 3.4 Napojovací šachta RVS Hnojník na OOV – šachta Š8 – vstup .....	27
Obr. 3.5 Vystrojení vodoměrné šachty Š8 – šoupě (vlevo), vodoměr, data logger (vpravo) .....	28
Obr. 3.6 Schéma materiálu a dimenzí.....	29
Obr. 4.1 Data logger Sebalog Dx [21].....	32
Obr. 4.2 Schéma minimálních tlaků v síti .....	39
Obr. 4.3 Schéma maximálních tlaků na síti.....	40

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 4.1 Průběh spotřeby vody ve spotřebišti Hnojník .....	33
Graf 4.2 Průběh tlaku během dne .....	35

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

.doc...	formát dokumentu z aplikace Microsoft Word
.dxf...	formát exportovaný SW AutoCAD (Drawing Exchange Format)
.pdf...	univerzální formát pro přenos dokumentů (Portable Document Format)
.ppt...	formát prezentace z aplikace Microsoft PowerPoint
Al...	hliník
BSV...	Beskydský skupinový vodovod
CAD...	grafický program (Computer Aided Design), viz zkratka softwaru AutoCAD
$C_1$ ...	redukční součinitel [-] (metoda redukovaných délek)
$C_1$ ...	součinitel počtu zásobovaných obyvatel, byt. jednotek, plochy zástavby [-] (metoda dvou součinitelů)
$C_2$ ...	specifická potřeba na účelovou jednotku použitou v rámci součinitele $C_1$ [-] (metoda dvou součinitelů)
d...	vnitřní průměr potrubí [m]
DN...	jmenovitá světlost
$d_n$ ...	vnitřní průměr potrubí
DDM...	model řízený odběrem (Demand Driven Model)
Fe...	železo
FTP...	protokol pro přenos dat mezi počítači v síti (File Transfer Protocol)
g...	gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]
GIS...	geografický informační systém
h...	výška vodního sloupce [m]
HTML...	jazyk pro tvorbu webových stránek propojených hypertextovými odkazy
CHKO...	chráněná krajinná oblast
K...	odporový součinitel daného úseku [-]
$k_d$ ...	koeficient denní nerovnoměrnosti [-]
$k_h$ ...	koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-]
KSV...	Kružberký skupinový vodovod
L...	délka trubního úseku [m]
$L_r$ ...	redukovaná délka daného úseku [m]
$L_{r,i}$ ...	redukovaná délka i-tého úseku [m]
Mn...	mangan
MZe...	Ministerstvo zemědělství České republiky
MZ...	Ministerstvo zdravotnictví České republiky

---

OC...	ocel
OOV...	Ostravský oblastní vodovod
P...	tlak [Pa]
PDM...	model řízený tlakem (Pressure Driven Model)
P <sub>i</sub> ...	hodnota souhrnného součinitele [-]
Pe...	polyetylén
pH...	záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů
PHO...	pásma hygienické ochrany
PVC...	polyvinylchlorid
Q...	průtok v trubním úseku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>c</sub> ...	celková potřeba vody ve spotřebišti [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>i</sub> ...	výsledný odběr z i-tého úseku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q' <sub>ij</sub> ...	průtok v úseku mezi uzly i – j stanovený v předposledním kroku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>ij</sub> ...	průtok v úseku mezi uzly i – j stanovený v posledním kroku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>d</sub> ...	maximální denní spotřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ , $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>h</sub> ...	maximální hodinová spotřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ , $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>min</sub> ...	minimální hodinová spotřeba vody [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Q <sub>p</sub> ...	průměrný denní spotřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ , $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
q <sub>r</sub> ...	specifická potřeba vody [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
RVS...	rozvodná vodovodní síť
SI...	základní soustava jednotek
SCADA...	dispečerské řízení a sběr dat (Supervisory Control And Data Acquisition)
SmVaK...	Severomoravské vodárny a kanalizace
S <sub>r</sub> ...	celková redukovaná délka sítě [m] (metoda redukovaných délek)
S <sub>r</sub> ...	hodnota souhrnného součinitele pro celou síť [-] (metoda dvou součinitelů)
SW...	software – programové počítačové vybavení
T...	teplota [°C]
TLT...	litina
US...	angloamerická měrná soustava
U.S. EPA...	Agentura pro ochranu životního prostředí USA
ÚV...	úpravna vody
v...	rychlost proudící kapaliny [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
VD...	vodní dílo
VDJ...	vodojem
x, y, z...	souřadnice příslušného souřadnicového systému

ZS...	zemní souprava
$\lambda$ ...	součinitel ztrát třením
$\rho$ ...	objemová hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
$\Sigma Q$ ...	přítoky
$\Sigma O$ ...	odběry
$\Sigma h$ ...	tlaková ztráta

## **SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA 1 – SCHÉMA TOPOLOGIE VODOVODNÍ SÍTĚ

PŘÍLOHA 2 – NADMOŘSKÉ VÝŠKY VÝPOČTOVÝCH UZLŮ

PŘÍLOHA 3 – PŘEHLED MINIMÁLNÍCH TLAKŮ V SÍTI

PŘÍLOHA 4 – PŘEHLED MAXIMÁLNÍCH TLAKŮ V SÍTI

## **SUMMARY**

The aim of this thesis was to perform the hydraulic analysis of the water supply system, specifically Hnojník water supply system. The thesis includes description of the Hnojník area, information about the water supply system, such as information about its length, diameter and material of the pipe network, data used for the model and analysis results. It has been found out that some particular network locations do not satisfy the requirements of legislation.

The theoretical part of this thesis is focused on describing mathematical modeling of water supply system. There is a simplified and shortened description of the basic theory of mathematical modeling, physical laws related to mathematical modeling and hydraulic analysis. These laws are the basis for the progress of the hydraulic analysis.

The work includes a list of software products that enable network analysis from the hydraulic point of view and in terms of water quality monitoring. Listed softwares are also briefly described. There is a mention of their use, availability and links to more information. Attention is focused on Epanet 2.0 which was used to create the hydraulic model of Hnojník water supply system.