



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

## POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI OBCE ÚSTÍ

ASSESSMENT OF PRESSURE CONDITIONS IN THE WATER SUPPLY NETWORK OF THE  
MUNICIPALITY OF ÚSTÍ

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kuchař

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Ručka, Ph.D.

BRNO 2023

## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav vodního hospodářství obcí
Student:	<b>Jakub Kuchař</b>
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jan Ručka, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23
Studijní program:	B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor:	Vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

V rámci bakalářské práce bude vytvořen hydraulický simulační model vodovodní sítě obcí Ústí a Skalička u Hranic, který bude následně kalibrován a verifikován na základě měření hydraulických veličin na vodovodní síti. Student provede simulaci charakteristických provozních stavů vodovodu a následně také posouzení tlakových poměrů s ohledem na stávající i výhledový rozsah zástavby. Bude-li to relevantní s ohledem na výsledky hydraulické analýzy, bude v modelu také simulováno opatření, které umožní dosažení optimálních tlakových poměrů v celé vodovodní síti. V úvodu prací bude proveden podrobný terénní průzkum spotřebišť.

#### **Cíle a výstupy bakalářské práce:**

Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí, Olomoucký kraj

#### **Seznam doporučené literatury a podklady:**

- [1] Rossman, A. L., 2000: EPANET 2 Users Manual, United States Environmental Protection Agency USE.P.A., USA, 9/2000
- [2] 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

[3] CLARK, M. R. Modeling Water Quality in Distribution Systems, Second Edition. AWWA, 2012, ISBN978-1-58321-816-7

[4] WALSKI, T.M. Standards for Model Calibration. In Proceedings AWWA Computer Conference, 1995, Denver

[5] SAVIC, D., KAPELAN, Z. Quo vadis water distribution model calibration?. In Urban Water Journal,3/2009, DOI: 10.1080/15730620802613380

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 8. 11. 2022

L. S.

---

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

Ing. Jan Ručka, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se věnuje hydraulické analýze vodovodní sítě obcí Ústí, Skalička a osada Kamenec. Obec se nachází v okrese Přerov. V první kapitole je popsána teorie matematického modelování a základní vztahy pro výpočet v tlakových trubních systémech. Z naměřených tlakových hodnot vodovodní sítě byl vytvořen kvazi-dynamický hydraulický model celé oblasti. Posuzované hodnoty se zobrazily v simulačním programu EPANET 2.2. S ohledem na charakter zástavby v obcích byly s využitím výsledku posouzeny tlakové poměry v oblasti. Poslední část práce se věnuje navržení opatření k optimalizaci tlakových poměrů a výslednému dopadu na území.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Matematické modelování, hydraulická analýza, vodovodní síť, tlakové poměry, kalibrace, verifikace

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis is devoted to the hydraulic analysis of the water supply network of the municipalities of Ústí, Skalička and the settlement of Kamenec. The village is located in the Přerov district. The first chapter describes the theory of mathematical modeling and the basic relationships for calculation in pressure pipe systems. A quasi-dynamic hydraulic model of the entire area was created from the measured pressure values of the water supply network. The assessed values were displayed in the EPANET 2.2 simulation program. With regard to the character of the development in the municipalities, the pressure conditions in the area were assessed using the result. The last part of the work is dedicated to proposing measures to optimize pressure conditions and the resulting impact on the territory.

## **KEYWORDS**

Mathematical modelling, hydraulic analysis, water network, pressure conditions, calibration, verification

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Kuchař Jakub. *Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí Ing. Jan Ručka, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 6. 5. 2023

---

Jakub Kuchař

autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 5. 2023

---

Jakub Kuchař

autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za pomoc a dobré rady během konzultací. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

## OBSAH

ÚVOD .....	3
1. HYDRAULICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍHO SYSTÉMU.....	4
1.1 TLAKOVÉ PROUDĚNÍ V POTRUBÍ.....	4
1.1.1 UŽÍVANÉ ROVNICE.....	4
1.1.2 TLAKOVÉ ZTRÁTY .....	4
1.1.3 TLAKOVÉ SCHÉMA PŘI GRAVITAČNÍM ZÁSOBOVÁNÍ .....	6
1.1.4 DIMENZOVÁNÍ VODOVODNÍCH ŘÁDŮ.....	6
1.2 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ.....	7
1.2.1 TYPY HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....	7
1.2.2 VSTUPNÍ DATA .....	7
1.2.3 PODMÍNKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....	9
1.2.4 METODY HYDRAULICKÉ ANALÝZY .....	10
1.3 SOFTWARE PRO VYTVÁŘENÍ MODELU.....	11
1.3.1 EPANET 2.2 .....	11
1.3.2 DALŠÍ PROGRAMY .....	13
2. VODOVODNÍ SÍŤ – OBCE ÚSTÍ, SKALIČKA A OSADA KAMENEC.....	14
2.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	14
2.2 CHARAKTER ZÁSTAVBY .....	15
2.3 ZÁSOBOVÁNÍ VODOU V OBCÍCH .....	19
2.3.1 ZDROJ VODY .....	19
2.3.2 POPIS ZÁSOBOVACÍHO SYSTÉMU OBCÍCH .....	19
2.3.3 VODOJEM ÚSTÍ .....	21
2.3.4 TOPOLOGIE VODOVODU .....	22
2.3.5 MĚŘENÍ PRŮTOKŮ A TLAKŮ NA VODOVODNÍ SÍTI .....	23
2.3.6 PROVOZOVATEL VODOVODU .....	23
2.3.7 ANALÝZA SPOTŘEBY VODY .....	24
2.4 PRŮZKUM OBLASTI .....	27
2.5 MĚŘENÍ NA SÍTI .....	28
2.5.1 TYPY MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ.....	28
2.5.2 OSAZENÍ TLAKOVÝCH ČIDEL.....	29
2.5.3 POSTUP MĚŘENÍ .....	29
2.5.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	31
2.6 VYPRACOVÁNÍ HYDRAULICKÉHO MODELU .....	33



2.6.1	PŘEHLED VSTUPNÍCH DAT .....	33
2.6.2	POSTUP ZPRACOVÁNÍ DAT A SESTAVENÍ MODELU .....	34
2.6.3	TOPOLOGIE A VÝŠKOPIS SÍTĚ .....	34
2.6.4	UZLOVÉ ODBĚRY .....	35
2.6.5	KALIBRACE MODELU .....	36
2.6.6	VERIFIKACE MODELU.....	37
2.7	VÝSLEDKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY A POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE SPOTŘEBIŠTI.....	38
2.7.1	MINIMÁLNÍ HYDRODYNAMICKÉ TLAKY .....	38
2.7.2	PŘEKROČENÍ HYDROSTATICKÝCH TLAKŮ .....	40
2.7.3	ZHODNOCENÍ STAVU .....	42
2.7.4	NÁVRH OPATŘENÍ .....	44
3.	ZÁVĚR .....	47
	POUŽITÁ LITERATURA .....	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	51
	SEZNAM TABULEK .....	52
	SEZNAM GRAFŮ .....	52
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55
	SUMMARY .....	56

## ÚVOD

Voda je základní a také jedna z nejpodstatnějších složek životního prostředí, a proto se tato bakalářská práce věnuje hydraulické analýze vodovodní sítě obce Ústí, Skalička a přilehlé osady Kamenec. Na základě požadavků obce Ústí byl sestaven kvazi-dynamický hydraulický model, který byl následně kalibrován a verifikován dle získaných hodnot měření. Cílem bylo zjistit tlakové poměry ve vodovodní soustavě. Model byl vytvářen v softwaru EPANET 2.2. Výsledkem měření je úprava tlaku v systému a návrh řešení.

V posledních letech matematické modelování získává velký význam, zejména při výuce přírodovědných předmětů jak na univerzitách, tak na technicky zaměřených vysokých školách. Výpočetní technika pronikla do matematického modelování již od šedesátých let minulého století a dnes si nedokážeme představit matematické modelování bez využití informačních a komunikačních technologií (ICT). Požadavky na matematické výpočty, jako jsou symbolické a numerické výpočty, vysoká přesnost, maximální vizualizace a interaktivní komunikace s řešitelem, jsou stále vyšší. [1]

Metodika matematického modelování se v současné době hojně využívá nejenom ve vodním hospodářství, ale i dalších oblastech. Primární záměr vytváření modelů slouží k návrhům nových vodovodních sítí, rekonstrukcím, provozování sítí a sledování kvality pitné vody. Hydraulické modely jsou vytvářeny na základě měření z předem vytipovaných částí dané lokality. Vyhodnocená data z modelu jsou méně přesná než měření přímo na síti, ale díky transparentnosti jsou výrazně ekonomicky, a hlavně časově přístupnější.

## 1. HYDRAULICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍHO SYSTÉMU

Při analýze tlakových trubních systémů vodovodní sítě se využívá matematického modelování. Cílem hydraulické analýzy je získat informace o tlaku a průtoku v síti. Tato analýza je klíčová pro správu stávajících systémů, návrh nových rozvodů a plánování rekonstrukcí. Matematické modelování poskytuje nástroje pro získání informací a optimalizaci provozu vodovodní sítě. Měření přímo na síti poskytuje údaje o průtoku a tlaku na konkrétních místech, ale osazení měřicích zařízení po celé síti by bylo náročné z hlediska nákladů. [2]

### 1.1 TLAKOVÉ PROUDĚNÍ V POTRUBÍ

Proudění v potrubí můžeme rozdělit na tři typy dle vedení (proudění o volné hladině, tlakové proudění, proudění v paprscích). Rozdělit tlakové proudění v závislosti na čase můžeme na ustálené a neustálené proudění. V našem případě se budeme zabývat tlakovým průtokem potrubí při ustáleném režimu, protože při navrhování, posuzování dimenzí a vyšetřování tlakových poměrů se z tohoto režimu vychází. Při proudění v tlakovém potrubí vznikají ztráty, a to jak třením, tak místní. [3] [4]

#### 1.1.1 UŽÍVANÉ ROVNICE

Při praktických výpočtech tlakového průtoku v potrubí se zpravidla zanedbává rychlostní výška. Důvodem je, že při předpokládané rychlosti proudění kolem  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  má rychlostní výška pouze zanedbatelnou hodnotu, která nepřesahuje 5 centimetrů. [4]

Mezi základní užívané rovnice v tlakovém proudění patří průtoková rovnice, rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice.

##### 1.1.1.1 Průtoková rovnice

Rovnice, při které posuzujeme objem kapaliny. Počítá se zde s objemem, který proteče za jednotu času.

##### 1.1.1.2 Rovnice kontinuity

Při ustáleném proudění je ideální součin obsahu průřezu  $S$  a rychlosti proudu  $v$  v každém místě potrubí stejný. Jedná se o zákon zachování hmotnosti. [5]

##### 1.1.1.3 Bernoulliho rovnice

Za ustáleného pohybu ideální kapaliny je součet polohové, tlakové i pohybové energie stálý pro všechny průřezy. Vyjadřuje zákon zachování mechanické energie. [5]

### 1.1.2 TLAKOVÉ ZTRÁTY

V potrubí při proudění kapaliny vznikají tlakové ztráty. Celkové tlakové ztráty  $z$  jsou dány součtem ztrát třením ( $z_t$ ) a ztrát místních ( $z_m$ ). [4]

$$z = z_t + z_m \quad (1)$$

#### 1.1.2.1 Ztráty třením $z_t$

Ztráty třením vznikají třením kapaliny o stěny potrubí. Do výpočtu vstupuje druh materiálu (jeho drsnost), délka potrubí, průměr a průtočné množství (průtočná rychlost  $v$ ). Výpočet probíhá podle Darcyho – Weissbachovy rovnice. [4]

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

- kde  $\lambda$  . . . součinitel tření,  
 $L$  . . . délka úseku [m],  
 $d$  . . . vnitřní průměr potrubí [m],  
 $v$  . . . střední rychlost v profilu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $g$  . . . tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

Součinitel tření  $\lambda$  určíme pomocí vzorce White – Colebrook. Tento vzorec je univerzálně používaný pro vodovody. [4]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,71d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (3)$$

Kde  $Re$  – Reynoldsovo číslo se vypočítá:

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (4)$$

- kde  $\nu$  . . . kinetická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $k$  . . . absolutní drsnost potrubí [m]

### 1.1.2.2 Ztráty místní $z_m$

Mají původ v místních odporech potrubí vyvolávajících nadměrnou turbulenci. Místní ztráty ovlivňují zejména náhlé lomy, zúžení nebo rozšíření armatury. Mají význam pouze u hydraulicky krátkých potrubí. Mezi ně se řadí sací potrubí čerpadel, násosky, shybky a další. V daných armaturách platí: [4]

$$\frac{l}{d} \leq 1000 \quad (5)$$

- kde  $l$  . . . délka potrubí [m]  
 $d$  . . . světlost potrubí [m]

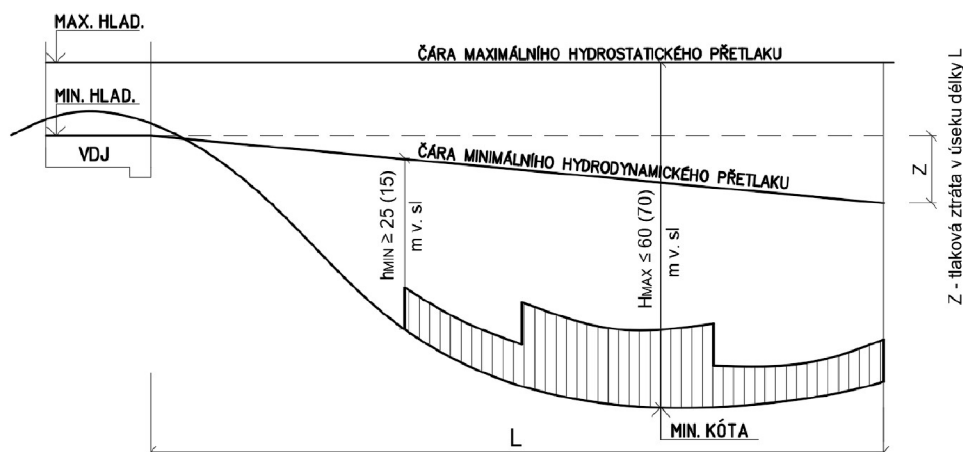
U hydraulicky dlouhých potrubí, kde platí, že poměr délky a světlosti je větší než 1000, tak místní ztráty můžeme zanedbat, protože jejich hodnota je ve srovnání se ztrátami třením nepodstatná. [4]

Místní ztráty se vypočtou ze vztahu:

$$Z_t = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

kde  $\xi$  . . . součinitel místní ztráty (najdeme v tabulkách)  
 $v$  . . . střední rychlost v profilu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $g$  . . . tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

### 1.1.3 TLAKOVÉ SCHÉMA PŘI GRAVITAČNÍM ZÁSOBOVÁNÍ



Obrázek 1. Tlakové schéma při gravitačním zásobení spotřebiště z vodojemu

Pro gravitační zásobování platí základní požadavky normy na tlakové poměry v místě spotřeby.

- Minimální hydrodynamický přetlak musí být zajištěn v místě připojení každé vodovodní přípojky v rozvodné síti. Pro budovy o maximálně dvou nadzemních podlažích je akceptovatelný minimální přetlak 0,15 MPa. U hydrantu pro odběr požární vody je nezbytné udržovat statický tlak nejméně 0,2 MPa a při odběru nesmí tlak klesnout pod 0,05 MPa. [4]
- V nejnižších místech vodovodní sítě v každém tlakovém pásmu by měl být dodržen maximální hydrostatický přetlak, který by neměl překročit 0,6 MPa. V některých oprávněných případech se však může tento přetlak zvýšit až na hodnotu 0,7 MPa.[4]

### 1.1.4 DIMENZOVÁNÍ VODOVODNÍCH ŘÁDŮ

Pro stanovení potřebného průřezu potrubí v určitém úseku sítě se zohledňuje stanovený návrhový průtok  $Q_n$ , volba materiálu potrubí (jeho drsnosti) a doporučené hodnoty rychlosti proudění vody v potrubí. Konkrétně se jedná o určení světlosti potrubí v daném úseku nebo řadě sítě. Doporučené rychlosti: [4]

- Sací potrubí  $v = 0,5 - 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Výtláčné potrubí  $v = 0,6 - 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Gravitační zásobní řady  $v = 1,0 - 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Rozvodná síť  $v = 0,8 - 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Pro tento vztah se používá základní průtoková rovnice:

$$Q = S \cdot v \quad (7)$$

Z této rovnice je možné vypočítat kruhový profil světlosti potrubí.

$$d = \sqrt{\frac{4Q_n}{\pi \cdot v}} [m] \quad (8)$$

Kde  $Q_n$  – návrhový průtok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$v$  – střední průtoková rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ]

Dané dimenzování se provádí dle tabulek nebo monogramů, které sestavili různí autoři. V tabulkách je zohledněna drsnost a materiál. Pro návrhový průtok  $Q_n$  a zvolený druh materiálu stanoví z tabulek nebo monogramu potřebnou DN a jí odpovídající střední rychlost  $v$  a současně i sklon čáry hydrodynamického tlaku. [4]

## 1.2 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ

Správný odhad a pravidelná aktualizace parametrů modelu je rozhodující pro aktuálnost matematického simulačního modelu reprezentujícího hydrauliku a kvalitu vody reálného fyzického vodovodního systému. Zejména když model běží online, nejistoty v parametrech modelu mohou vést k velkým nesrovnalostem mezi předpovědí modelu a chováním reálného systému. Proto musí být vyvinuty adekvátní techniky pro získávání dat, údržbu a aktualizaci parametrů modelu. [6]

### 1.2.1 TYPY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

#### 1.2.1.1 Statická analýza

Při provádění statické analýzy se posuzují hydraulické parametry pro specifické zatížení sítě, pro které jsou určeny odběry během konkrétního časového období. [7]

#### 1.2.1.2 Kvazi – dynamická analýza

Jde o analýzu, kde se postupně provádí několik statických analýz sítě, během nichž se postupně mění zatížení sítě. V každém kroku se mohou měnit odběry nebo hladina ve vodojemu. Celková analýza probíhá v delších časových intervalech, jako jsou dny nebo týdny. [7]

#### 1.2.1.3 Dynamická analýza

Dynamická analýza umožňuje zobrazovat změny tlakových a průtokových poměrů v krátkých časových krocích, v řádu sekund. Hlavním využitím této hydraulické analýzy je zobrazování tlakových rázů v systému. [7]

### 1.2.2 VSTUPNÍ DATA

Pro správný model je třeba správná vstupní data, včetně topologie, plánovaného rozvoje, objemové spotřeby, provozního řádu a celkových parametrů. Tyto parametry slouží jako východiskové podmínky pro výpočet soustavy rovnic a popis fyzikálních vlastností. Zahnují profil potrubí, drsnost materiálu, nadmořskou výšku uzlů a provozní parametry jako poloha ventilů, otáčky čerpadla a časově se měnící zatížení systému. [6]

Tabulka 1. Klasifikace parametrů modelu [6]

Třída parametru	Časová změna	Popis	Příklady
Fyzikální parametry sítě	Pomalou (měsíc až rok)	Fyzikální popis vlastností prvků sítě, kterými jsou 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, která jsou zavřena kvůli sanačním pracím
Zatěžovací parametry	průběžně	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 spotřeba vody použita jako pevný parametr (pro modely DDM: Demand Driven Modelling) nebo jako horní práh (PDM: Pressure - Dependent Modelling).	Potřeba vody domácností a průmyslu

### 1.2.3 PODMÍNKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Existují tři zásadní podmínky pro tvorbu hydraulických analýz okruhových sítí. Patří mezi ně uzlová, okruhová a hydraulická podmínka. [7]

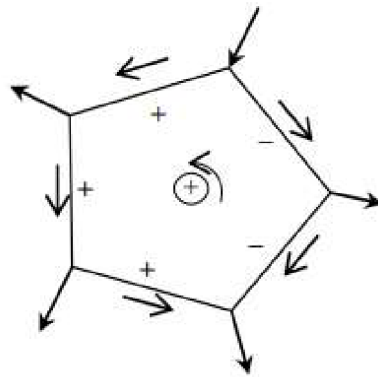
#### 1.2.3.1 Uzlová podmínka

Vyjadřuje zákon zachování hmoty. U uzlové podmínky použité v matematickém modelování platí, že součet všech přítoků do každého uzlu sítě se musí rovnat součtu odběrů z uzlu. [7]

$$\sum Q = 0 \quad (9)$$

#### 1.2.3.2 Okruhová podmínka

Okruhová podmínka říká, že celkový součet ztrát přes všechny úseky tvořící nezávislý okruh je roven nule. Vychází ze zákona zachování energie. Při zvolení okruhové podmínky volíme orientaci ve směru hodinových ručiček. Od zvoleného směru se odvíjí i kladnost ztráty. Pokud je zvolen směr proti hodinovým ručičkám, tak je tlaková ztráta záporná. [7]



Obrázek 2. Orientace tlakových ztrát v jednotlivých úsecích okruhu vodovodní sítě

$$\sum h = 0 \quad (10)$$

#### 1.2.3.3 Hydraulická podmínka

Jiným názvem stavová rovnice. Podmínka udává vztah mezi tlakovou ztrátou  $h$  a průtokem  $Q$  v daném úseku. [7]

$$h = \lambda \frac{L}{d} \frac{v_1^2}{2g} \quad (11)$$

kde  $\lambda$  ... součinitel ztrát třením,

$L$  ... délka úseku [m],



$D$  . . . vnitřní průměr potrubí [m],  
 $v$  . . . střední rychlost v profilu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $g$  . . . tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

Tuto podmínku lze matematicky vyjádřit pomocí Darcy - Weissbachovy rovnice. [7]

$$h = K Q^2 \quad (12)$$

$$K = 0,020678 \lambda \frac{L}{d^5} \quad (13)$$

kde  $K$  ... odporový součinitel daného úseku  
 $Q$  ... průtok v trubním úseku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

#### 1.2.3.4 Další podmínky

Mezi další podmínky hydraulické analýzy patří metoda vyrovnání ztrátových výšek, metoda vyrovnání průtoků a metoda vyrovnání odporových součinitelů. Tyto podmínky jsou vázány na různé metody výpočtu.

### 1.2.4 METODY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Pro hydraulickou analýzu používáme dvě základní metody. První z nich je metoda redukovaných délek a druhá je metoda dvou součinitelů. U obou těchto metod je nezbytné zadat jednotlivé odběry do jednotlivých uzlů v síti. Tyto metody pracují se zjednodušením, kde malé odběry, jako jsou přípojky rodinných domů, jsou sjednoceny do předem definovaných uzlů. [7]

#### 1.2.4.1 Metoda redukovaných délek

Použitím této metody přiřazujeme každému úseku redukční součinitel  $C1$  na základě hustoty a výšky zástavby. Pro každý úsek dále vypočítáme redukovanou délku  $L_r$ . [7]

$$L_r = C1 \cdot L \quad (14)$$

Kde  $L$  . . . skutečná délka úseku [m].

Stanovíme celkovou redukovanou délku posuzované sítě  $S_r$ .

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{i_r} \quad (15)$$

A pro každý úsek stanovíme specifickou potřebu dopravované vody  $q_r$ .

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (16)$$

Výsledný odběr  $i$ -tého úseku  $Q_i$  z celkové spotřeby  $Q_c$  se pak vypočte jako:

$$Q_i = q_r \cdot L_{ir} \quad (17)$$

#### 1.2.4.2 Metoda dvou součinitelů

Metoda dvou součinitelů je vhodná, pokud máme k dispozici podrobné informace o oblasti včetně odběrů. V rámci této metody přiřazujeme počet zásobovaných jednotek na základě každého odběrného místa, počtu obyvatel a plochy zástavby. Následně každému úseku přiřazujeme součinitele  $C_1$  a  $C_2$ . [7]

$C_1$  – počet zásobovaných obyvatel, bytových jednotek, plocha zástavby

$C_2$  – specifická potřeba na účelovou jednotku použitou v rámci  $C_1$

Stanovíme  $P_i$

$$P_i = C_1 \cdot C_2 \quad (18)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i \quad (19)$$

Specifickou potřebu dopravovaného média stanovíme podle rovnice specifické potřeby dopravované vody a výsledný odběr  $i$ -tého úseku  $Q_i$  ze vztahu:

$$Q_i = q_r \cdot P_i \quad (20)$$

Pro potřeby statické analýzy se rozdělí odběr  $i$ -tého úseku  $Q_i$  rovnoměrně do obou krajních uzlů, tedy  $0,5 \cdot Q_i$ .

### 1.3 SOFTWARE PRO VYTVÁŘENÍ MODELU

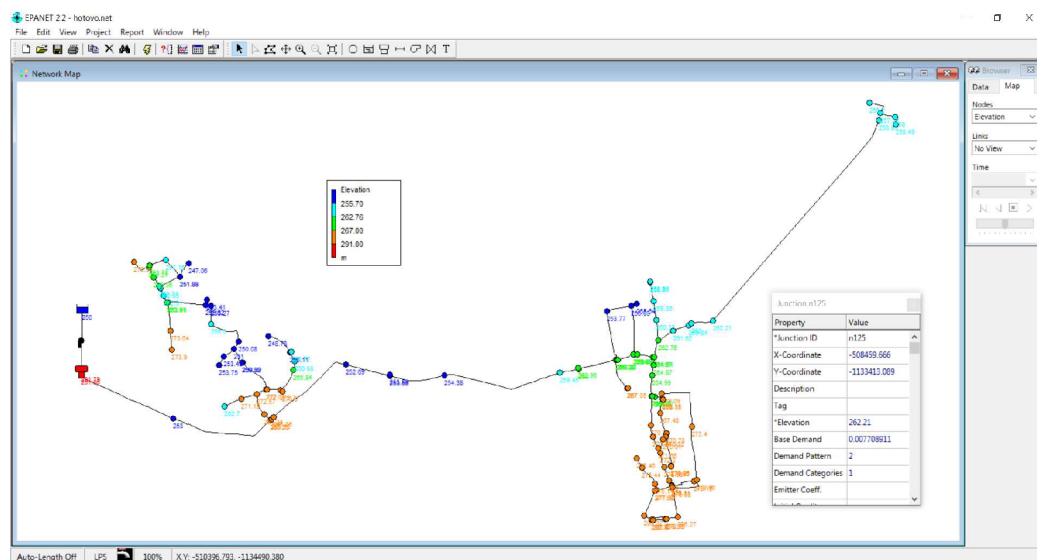
V dnešní době se pro hydraulickou analýzu trubních sítí často využívají specializované softwarové produkty. Především při práci s rozsáhlými sítěmi je klíčovým faktorem koncepční způsob zpracování a uchování dat o síti. Provozovatelé vodovodních sítí často využívají sofistikované GIS aplikace, které pravidelně aktualizují databázi o informace týkající se poruch na síti, provedených rekonstrukcích, nově budovaných řadách a geodeticky zaměřených úsecích. Exportování vstupních dat pro hydraulickou analýzu (matematický model) přímo ze aktualizované GIS databáze je výhodné a efektivní. [7]

#### 1.3.1 EPANET 2.2

EPANET je rozšířený software pro simulaci vodovodních sítí. Používá se k analýze, návrhu a optimalizaci vodárenských systémů. Inženýři a konzultanti ho využívají při navrhování nové infrastruktury, modernizaci existujících systémů, snižování spotřeby energie a řešení problémů s kvalitou vody. EPANET umožňuje také modelování hrozeb kontaminace a posuzování odolnosti proti bezpečnostním hrozbám a přírodním katastrofám. [8]

Program je volně ke stažení na stránkách společnosti. EPANET 2.2 slouží jako hlavní modelovací program pro analýzu vodovodní sítě obcí Ústí, Skalička a Kamenec. Základní data použitá jako vstupy byly získány od VaK Přerov. EPANET 2.2 je software, který umožňuje simulaci hydraulického chování tlakových potrubních sítí v průběhu časového úseku. Kromě toho dokáže také určit stáří vody a celkovou koncentraci látek ve vodě. Při simulaci může program využít statickou analýzu, která zobrazuje zatížení v konkrétním časovém bodě a kvazi-dynamickou hydraulickou analýzu, která sleduje časovou řadu následujících zátěžových stavů – obvykle v intervalu jedné hodiny.

Uživatelské rozhraní programu EPANET je vybaveno vizuálním síťovým editorem, který usnadňuje vytváření modelů potrubních sítí a úpravu jejich vlastností a dat. Pro interpretaci výsledků analýzy sítě poskytuje různé nástroje pro hlášení a vizualizaci dat. Ty zahrnují barevně kódované síťové mapy, datové tabulky, spotřebu energie, reakce, kalibraci, časové řady a grafy profilů a vrstevnic. Pracovní prostředí aplikace umožňuje zadávání dat a vytváření modelu pomocí podkladových map a schémat ve formátech bmp, emf a wmf v souřadnicovém systému X, Y. Dále umožňuje editaci dat, provádění simulací, vyhledávání ve výsledcích a prohlížení a export výsledků ve formě barevných map, grafů a tabulek. [8] [7]



Obrázek 3. Uživatelské rozhraní EPANET 2.2

Software EPANET 2.2 používá řízený model odběru, známý také jako demand driven model (DDM). Tato metoda začíná zadáním uzlových odběrů, což poskytuje informace o průtoku a tlaku v síti. Kontrolou správnosti hodnot je porovnání naměřených tlaků v uzlech s hodnotami získanými programem. Záporné tlakové hodnoty jsou nepřijatelné.

Existuje také několik doplňkových programů pro EPANET 2.2. Jedním z nich je EpaCAD, který umožňuje konverzi mezi programem AutoCAD a formátem .dxf do Epanetu. Dalšími doplňky jsou EPANET Plus a WaterNetGen. [8]

## 1.3.2 DALŠÍ PROGRAMY

Vývoji softwarových aplikací pro matematické modelování tlakových trubních systémů se ve světě věnuje několik specializovaných pracovišť. [7]

### 1.3.2.1 Mike Urban

Existuje komplexní programový nástroj pro výpočty vodovodních sítí. Tento nástroj umožňuje kompletní analýzu vodovodního systému za podmínek ustáleného nebo postupně se měnícího proudění pomocí globální gradientní metody. Podporuje také simulace týkající se kvality a stáří vody. Výpočty jsou prováděny s využitím výpočetního algoritmu Epanet 2.2. Tento program je založen na výpočtovém jádru EPANETu a to zejména jeho numerické řešení. Používá se taktéž pro hydraulickou analýzu vodovodní sítě a lze použít na posuzování kvality vody a usazování částic v systému. [7]

Mike Urban byl v roce 2020 vyřazen z provozu a nahrazen novou aktualizací tohoto systému Mike+. Nový Mike+ je novou generací a poskytuje zjednodušení v pracovním postupu a díky autokalibraci distribuce vody v modelu dokáže lépe přiřadit odběry do jednotlivých uzlů. Dokáže na základě předem definovaných specifických kritérií ve výsledcích optimalizovat charakteristiky trubní sítě. [9]

### 1.3.2.2 HYDRONet 4

Program HYDRONet 4 je specializovaný software, který slouží k zpracování komplexních projektů vodohospodářských sítí včetně stokových a vodovodních systémů. Poskytuje interaktivní návrh sítě a objektů, tvorbu podélných profilů stok a řad, vytváření tematických map, výpočty (pro stokové sítě) a matematické posouzení. Navíc generuje finální mapové výstupy a tabulkové reporty, které slouží jako kompletní dokumentace projektu. HYDRONet 4 je významným nástrojem pro efektivní a komplexní správu vodohospodářských projektů. [10]

HYDRONet 4 umožňuje převod dat do matematických modelů, jako je EPANET, MIKE URBAN a následné vyhodnocení výsledků simulací. Důležitou funkcí programu je automatická tvorba mapových situací dle ČSN a generování podkladů pro projektovou dokumentaci. Jeho programové prostředí kombinuje vlastnosti GIS a CAD systémů, využívá moderních informačních systémů s databází jako zdrojem a úložištěm dat, a umožňuje rychlou a kreativní práci. Spolupráce s moduly WINPLAN pak zajišťuje efektivní zpracování projektové dokumentace, včetně podélných profilů a prefabrikovaných šachet. [10]

### 1.3.2.3 Aquis

Aquis dodává přehled o tlaku, stáří a všechna data může posílat provozovateli. Informace, které program vyhodnotí jako chybové, tak mohou být zpřístupněny na call centrech pro podporu odběratelů. Model má přesnost kolem 1 %. Software je plně integrován se SCADA a pokud dojde k chybovým hlášením, tak může ihned odeslat záznam do systému. Systém umožňuje snadnější a rychlejší identifikaci úniků, krádeží anebo nedovolených odběrů. Novější verze, která je nyní na trhu, poskytuje svým zákazníkům přesnější plánování údržby, rekonstrukcí a také plánování nových odběrů. Díky této vlastnosti tak provozovatel může experimentovat a připravovat si pohotovostní plány. [11]

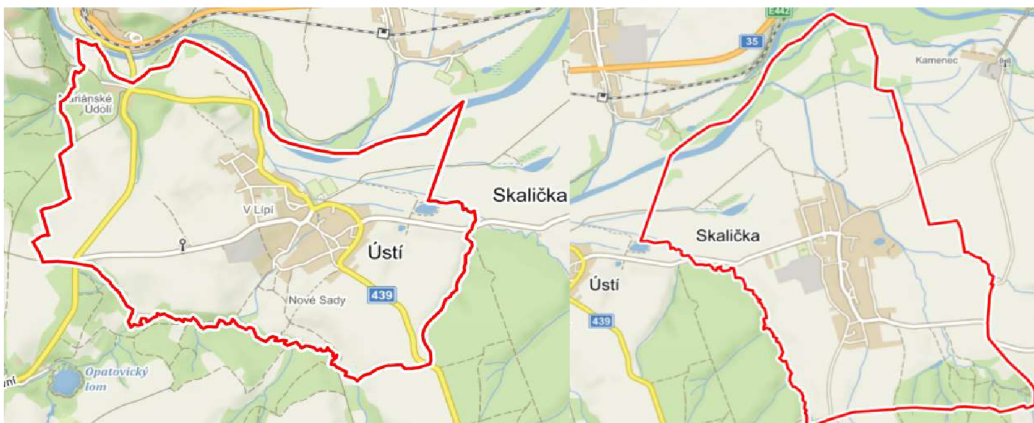
## 2. VODOVODNÍ SÍŤ – OBCE ÚSTÍ, SKALIČKA A OSADA KAMENEC

### 2.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obec Ústí se nachází v okrese Přerov, v jihovýchodní části Olomouckého kraje. K prvnímu lednu 2023 žilo v obci 546 obyvatel. Obcí prochází tři cyklotrasy, je zde naučná stezka a bruslařská dráha. [12] Obec Skalička a přilehlá osada Kamenec se nachází 1,5 kilometrů vzdušnou čarou od obce Ústí. K prvnímu lednu 2022 žilo v obci 669 obyvatel. Nejvýznamnějším vodním tokem je řeka Bečva, která protéká obcí Ústí. Obcí Ústí protéká Opatovický potok a v obci Skalička Hlubocký potok. Poloha obcí je znázorněna na obrázku X a X. Obce spadají do katastrálního území okresu Přerov o celkové rozloze obcí 7,45 km<sup>2</sup>. Průměrná nadmořská výška je zde 262,5 m n. m.



Obrázek 4. Poloha obcí

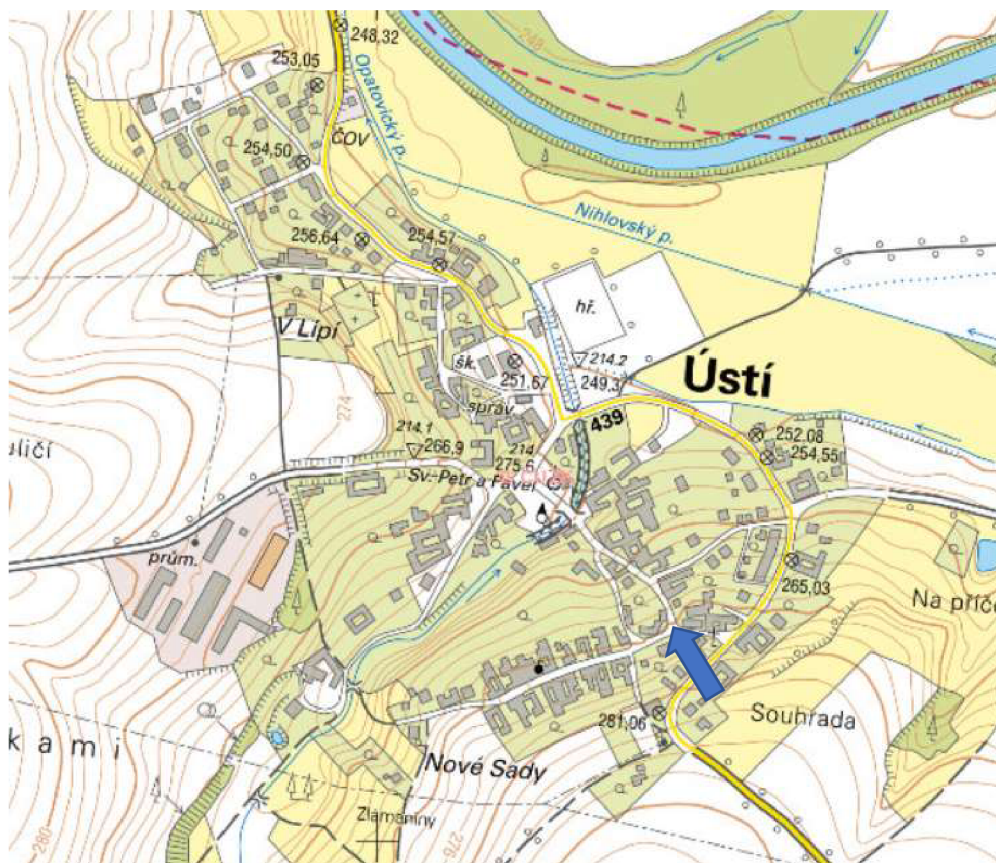


Obrázek 5. Vzájemná poloha obcí

## 2.2 CHARAKTER ZÁSTAVBY

Celkový ráz obce je vesnického typu a s tím souvisí i zástavba. Z převážné většiny v obci nalezneme rodinné domy s jedním nadzemním podlažím. Obě obce mají dohromady 351 domů vedených v katastru nemovitostí k roku 2021. Nachází se zde i penzion pro ubytování a jeden bytový dům se čtyřmi bytovými jednotkami. Obcí Ústí prochází silnice II. třídy číslo 439, která nadále pokračuje až do obce Kunovice. Dopravní infrastruktura skrze obec Skalička je zajištěna silnicí III. třídy. V obcích se nacházejí fotbalová hřiště, obchody, pohostinství s kulturními domy, sbory dobrovolných hasičů, mateřské i základní školy. Významným místem na tomto území je zámek Skalička, který slouží jako psychiatrický ústav.

V osadě Kamenec se nachází pouze jeden obydlený dům. Z ostatních domů se před pár lety všichni obyvatelé odstěhovali a jejich pozemky byly odkoupeny. Stalo se tak z důvodu plánované výstavby vodního díla Skalička.



Obrázek 6. Základní mapa obce Ústí



*Obrázek 7. Pohled do ulice v obci Ústí*



*Obrázek 8. Výškový pohled na obec Ústí*



Obrázek 9. Základní mapa obce Skalička

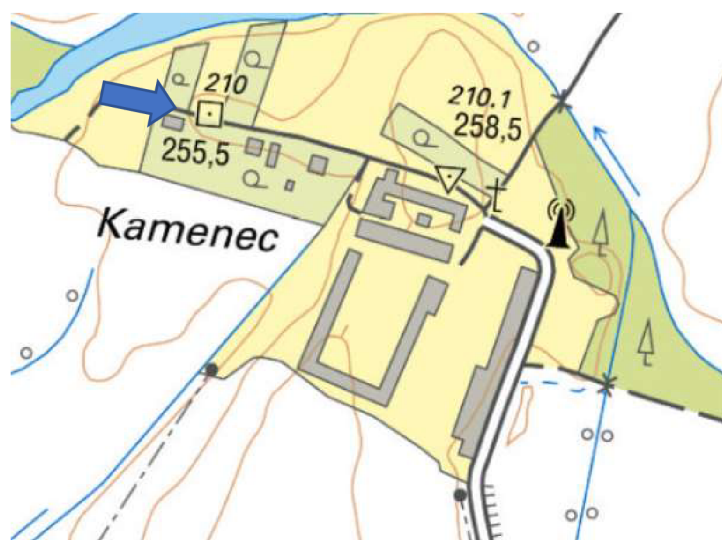


Obrázek 10. Pohled do ulice v obci Skalička





Obrázek 11. Výškový pohled na obec Skalička



Obrázek 12. Základní mapa osady Kamenec



Obrázek 13. Pohled do ulice v osadě Kamenec

## 2.3 ZÁSOBOVÁNÍ VODOU V OBCÍCH

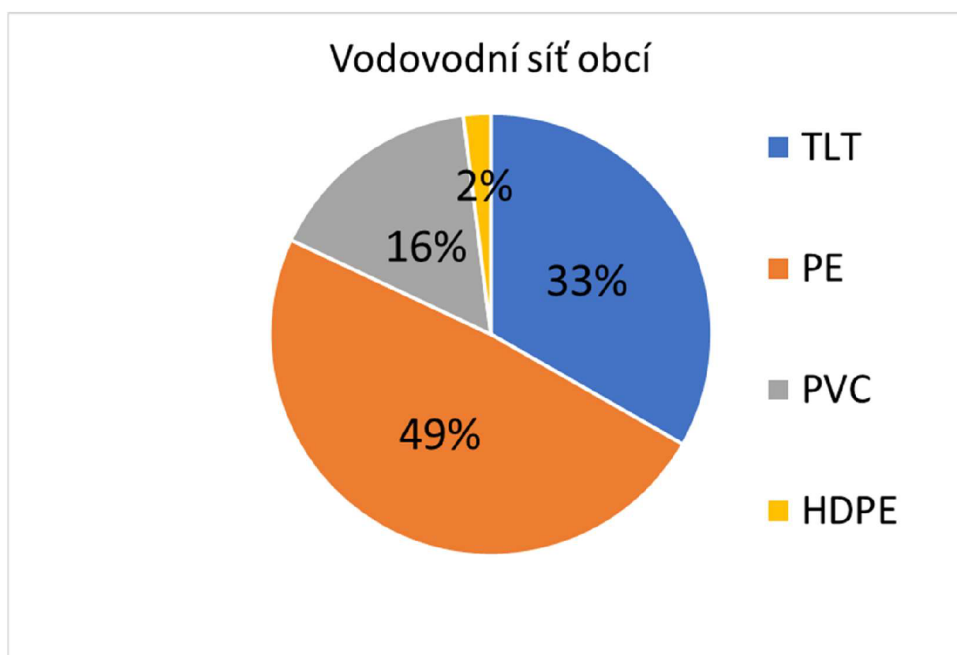
Obce Ústí, Skalička a osada Kamenec jsou zásobovány gravitačně. Vodovod byl instalován v roce 1976. V roce 2010 prošel vodovod kompletní rekonstrukcí a v současné době je jeho stav dobrý. [13] [14]

### 2.3.1 ZDROJ VODY

Jedná se o skupinový vodovod Záhoří, se zdrojem prameniště Ústí, odkud se voda čerpá do věžového vodojemu Ústí, obsahu 100 m<sup>3</sup>, max. hladina 321,20 m n.m. Před načerpáním vody do vodojemu je voda upravena v úpravně vody, která se nachází na severní hranici katastrálního území obce Ústí. V řešeném období se neuvažuje s výstavbou nového vodovodu, rekonstrukcí, či rozšířením vodovodu. V případě přerušení dodávky vody budou obyvatelé zásobeni individuálně z přistavených cisteren a balenou vodou. Minimální množství vody v době krizového zásobování pro obec Ústí je na první dva dny 2,8 m<sup>3</sup>/den a na další dny je to 8,4 m<sup>3</sup>/den. Pro obec Skalička je stanoveno na první dva dny 3,0 m<sup>3</sup>/den a na další dny je to 9,0 m<sup>3</sup>/den. [13, 14]

### 2.3.2 POPIS ZÁSOBOVACÍHO SYSTÉMU OBCÍCH

Stávající systém zásobování obce pitnou vodou je vyhovující a zůstane zachován i do budoucna. S výstavbou, či rozšiřováním vodovodní sítě se v řešeném období neuvažuje. V dalších letech se počítá s výstavbou infrastruktury pouze v případě odkupu pozemků od stávajících vlastníků, které jsou v územním plánu zahrnuty do výstavby RD v obci. [13] [14]

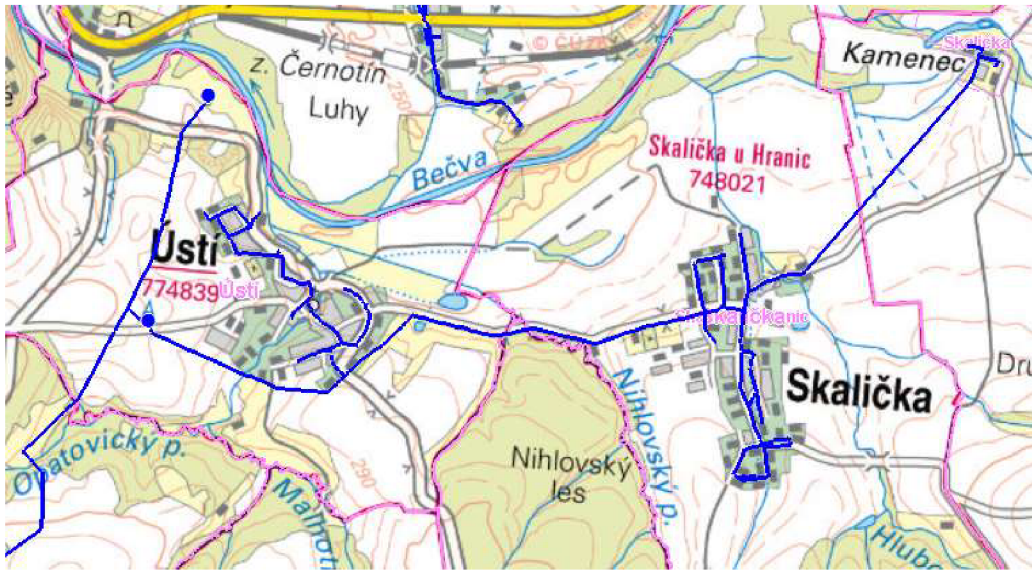


Graf 1. Přehled materiálů dle délky potrubí

Celá vodovodní síť v obcích je velmi rozvrstvená a v některých částech okružová. S větším množstvím okruhů se můžeme setkat v obci Skalička. Vodovod byl v průběhu let stavěn z několika materiálů, ale z důvodu rekonstrukce v roce 2010 byla velká část i vyměněna. Gravitační systém zásobování zajišťuje dostatečný tlak v celé vodovodní síti a díky tomu, že celá soustava vodovodu je napojena na skupinový vodovod Záhoří, který zásobuje 18 obcí, toho se obce Ústí a Skalička nepotýkají s nedostatkem vody v letních měsících. Je to i z důvodu, že se nacházejí hned na začátku skupinového vodovodu.

Tabulka 2. Dimenze a materiál v síti

Materiál dimenze [mm]	Délka [m]	%
TLT 100	3839	33
PE 100	3319	29
PVC 100	1842	16
HDPE 80	231	2
PE 80	1787	15
PE 63	515	4
Celková délka	11533	100



Obrázek 14. Mapa stávajícího vodovodu

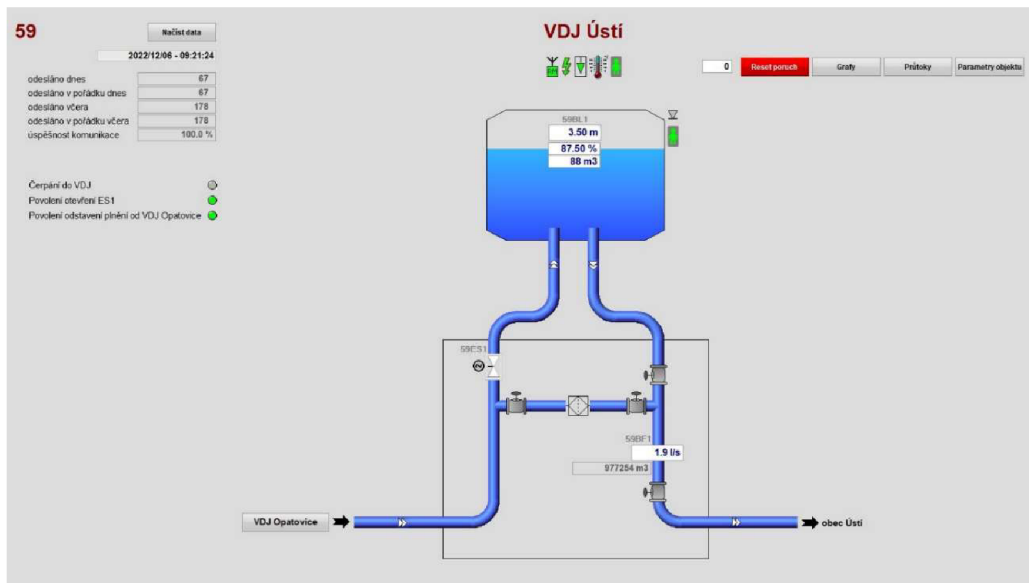
### 2.3.3 VODOJEM ÚSTÍ

Věžový vodojem Ústí, typ Hydroglobus, má obsah  $100 \text{ m}^3$  a je dalším vodojemem tohoto typu v systému Skupinového vodovodu Záhoří. Vlastní vodojem se skládá z nádrže kulového tvaru, válcového nosného dřívku, šesti kotevních lan zajišťujících stabilitu a jeho výška je cca 28 metrů. Nádrž je tepelně izolovaná, výstavbu a montáž provedla firma Vodohospodářské stavby Brno, n.p. v roce 1974. Vodojem je umístěn na k.ú. Ústí u silnice Ústí – Opatovice ve vzdálenosti cca 500 od zástavby obce Ústí. Výškově je umístěn tak, aby zajistil dostatečný tlak a množství vody pro obce Ústí, Skalička a Kamenec. Osazen je na těchto kótách: maximální hladina vodojemu je 321,00 m n. m., minimální hladina je 316,00 m n. m. a terén má 293,5 m n. m. V roce 2005 byla provedena generální oprava celého vodojemu a stavbu provedla fi. Akvael Brno s.r.o. [15]

U vodojemu se nachází i řídicí stanice, která je vidět na obrázku níže. Vodojem je kontrolován společností VaK Přerov a.s. a v poslední době nedošlo k žádné havárii. V budoucnosti je plánována výstavba nového vodojemu.



Obrázek 15. Pohled na věžový vodojem

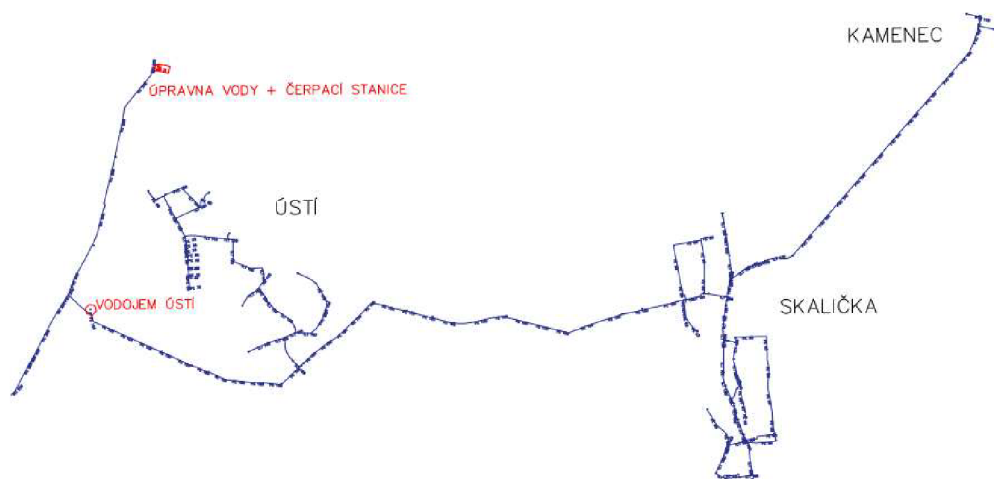


Obrázek 16. Schéma vodojemu Ústí

### 2.3.4 TOPOLOGIE VODOVODU

Bakalářská práce se zabývá analýzou tlakových, průtokových a rychlostních poměrů ve vodovodní síti obce Ústí, Skalička a Kamenec. Vzhledem ke gravitačnímu systému a

výškovému rozdílu by nový vodojem, který bude budován v následujících letech, neměl mít vliv na celkovou analýzu. Analýza je zaměřena přímo na oblast od vodojemu Ústí k nejbližší oblasti Kamenec. Dle níže umístěného schématu je patrné, že na vodovodní síti se nachází hydranty, šoupátka a odběrná místa. Primární zaměření hydrantů v současné době na protipožární ochranu a proplachy sítě. Proplachy jsou aktuálně prováděny neefektivně a nesystematicky.



Obrázek 17. Schéma rozvodné sítě vodovodu v obcích

### 2.3.5 MĚŘENÍ PRŮTOKŮ A TLAKŮ NA VODOVODNÍ SÍTI

Měření na vodovodní síti probíhá nepřetržitě, a to v kontrolní budově u vodojemu a tyto hodnoty jsou zasilány provozovateli, kterým je VaK Přerov a.s.

### 2.3.6 PROVOZOVATEL VODOVODU

Společnost Vodovody a kanalizace Přerov, a.s., je provozovatelem vodovodního systému. Byla založena 1. listopadu 1993 v rámci privatizace původního státního podniku Vodovody a kanalizace Přerov. Jejím hlavním závazkem je poskytovat nepřetržitou a spolehlivou dodávku vysoké kvality pitné vody pro zákazníky v regionu. Společnost také provádí odvodňování a čištění odpadních vod s vysokou účinností. Ochrana životního prostředí je jednou z hlavních priorit, proto sleduje stav hladiny podzemních a povrchových vod a jejich kvalitu v širším okolí míst, kde se odebírá voda. Používá moderní technologie pro úpravu vody a pravidelně monitoruje její kvalitu od zdroje až po konečného spotřebitele. Zajišťuje také údržbu, opravy a rekonstrukce vodovodních sítí. [16]

V rámci své činnosti společnost VaK Přerov, a.s. uskutečnila a dokončila v polovině roku 2009 projekt s názvem "Zlepšení kvality vod v oblasti soutoku řek Bečvy a Moravy". Tento projekt byl také finančně podpořen prostřednictvím fondů Evropské unie. Společnost Vodovody a kanalizace Přerov, a.s. má implementovaný integrovaný systém řízení jakosti a systém řízení ochrany životního prostředí dle norem ISO 9001 a 14001. V listopadu 2017 byla společnost úspěšně certifikována certifikační společností Lloyd's Register Quality Assurance. [16]

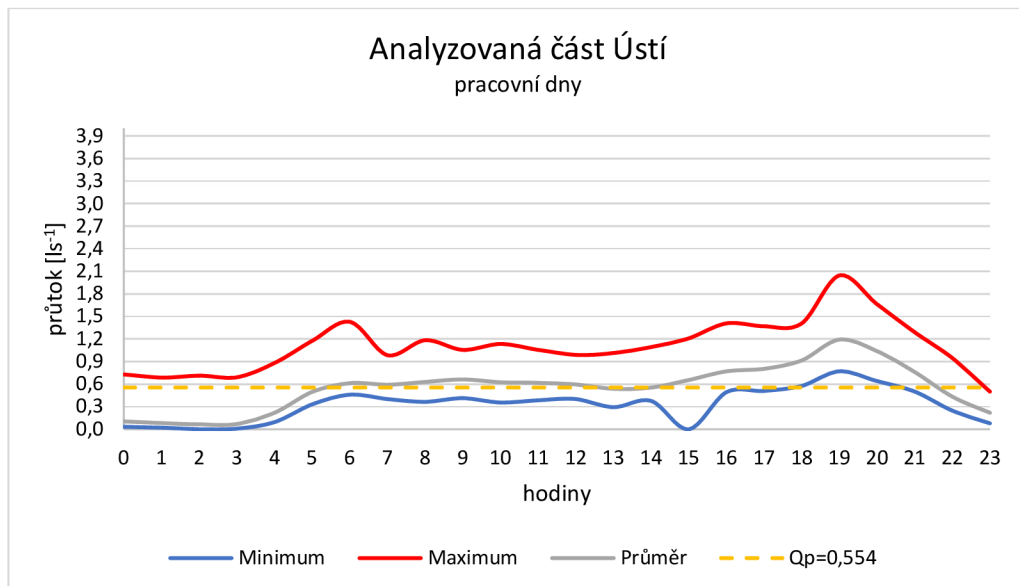
### 2.3.7 ANALÝZA SPOTŘEBY VODY

Od provozovatele byly poskytnuty jako podklady ke zpracování průtoky pro období od 1. 1. 2021 do 6. 12. 2022. Tyto hodnoty jsem zanalyzoval pro obce Ústí a Skaličku zvlášť, a to z důvodu rozdělených základních hodnot od VaK Přerov a.s. Vodovod zásobuje necelých 1100 připojených obyvatel a průměrná denní spotřeba vody 126,4 m<sup>3</sup>. Díky této hodnotě je možné vypočítat výslednou hodnotu SPVVR, která vyšla 114,9 l. os<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

Poskytnutá data od provozovatele jsou označována jako "surová data" a jsou určena k dalšímu zpracování. V rámci této analýzy byla provedena klasifikace surových dat na pracovní a nepracovní dny, včetně víkendů a státních svátků. Dále byly z těchto dat, které byly shromažďovány v pětiminutových intervalech, vypočteny konkrétní hodnoty. Hodnoty použité do výpočtů jsou z období června, července a srpna roku 2022.

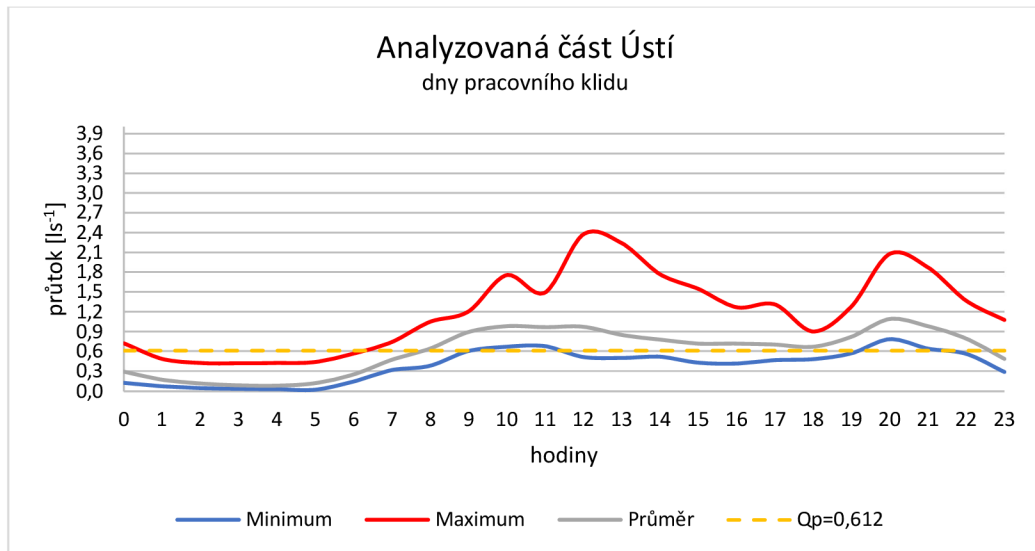
#### 2.3.7.1 Spotřeba vody obce Ústí

*Spotřeba vody – pracovní dny*



Graf 2. Průběh spotřeby vody v pracovních dnech – Ústí

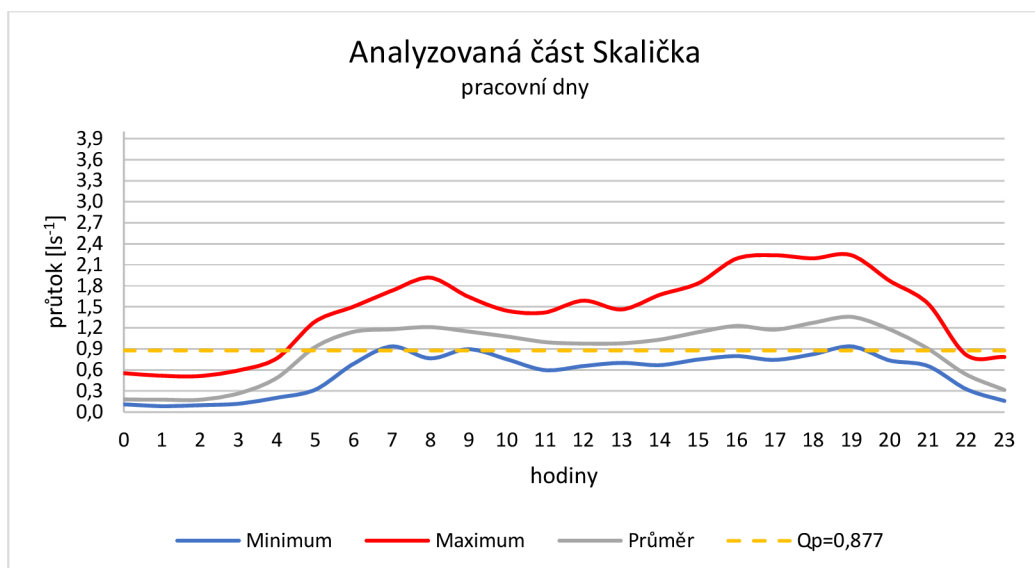
*Spotřeba vody – dny pracovního klidu*



Graf 3. Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu – Ústí

### 2.3.7.2 Spotřeba vody obce Skalička

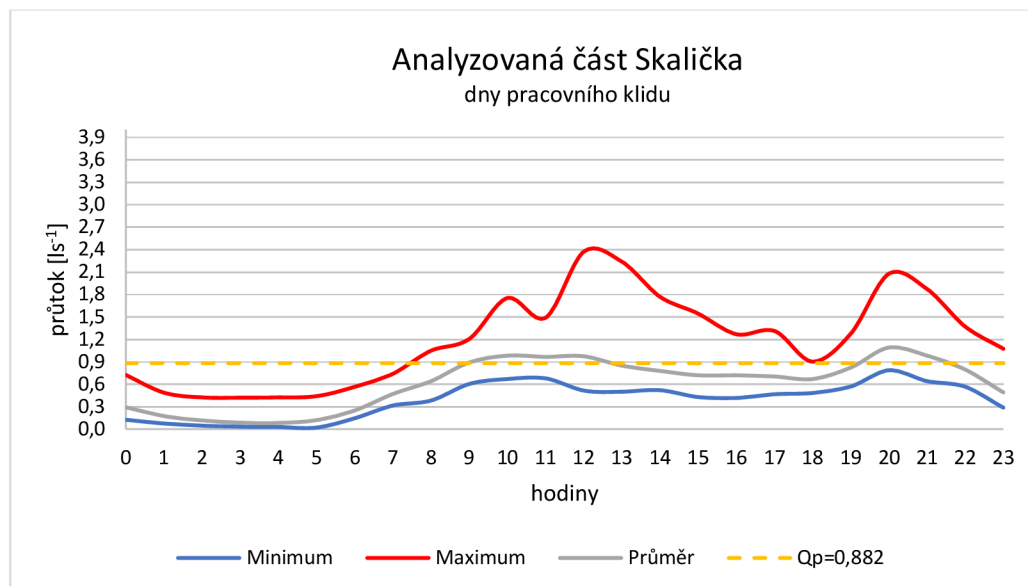
*Spotřeba vody – pracovní dny*



Graf 4. Průběh spotřeby vody v pracovních dnech – Skalička



*Spotřeba vody – dny pracovního klidu*

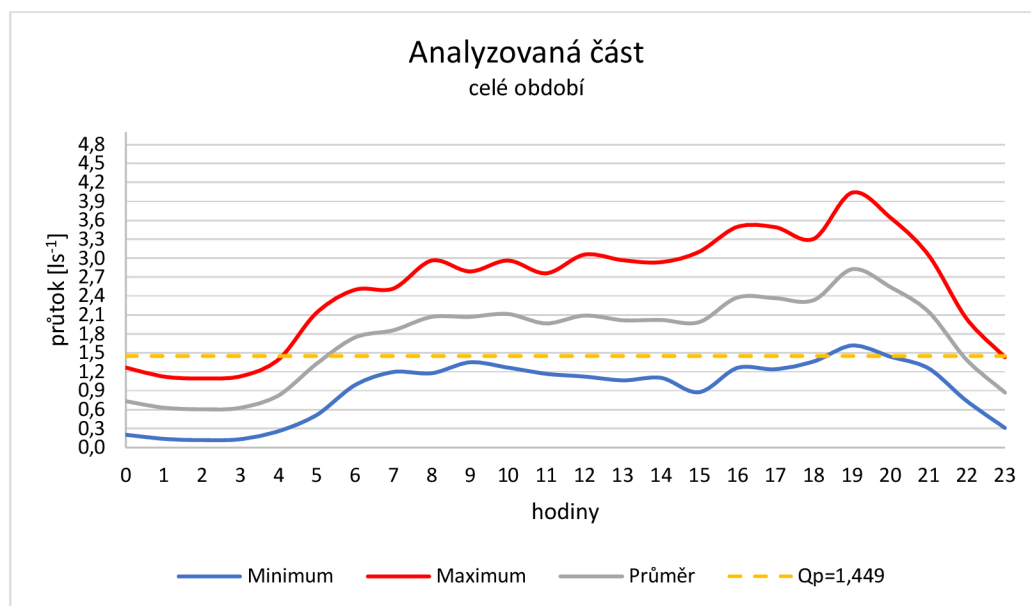


Graf 5. Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu – Skalička

### 2.3.7.3 Výsledky analýzy

Během celého analyzovaného období se v ranních hodinách vyskytují minimální průtoky. Z tohoto poznatku je patrné, že díky rekonstrukci vodovodu v roce 2010 jsou na celé síti minimální ztráty. Jediné období, kdy v ranních hodinách mezi jednou a čtvrtou hodinou vyskytl odběr, bylo v obci Skalička v pracovních dnech. Průběh průměrné spotřeby vody ve dnech pracovního klidu a pracovních dnech je odlišný. V pracovních dnech se vyskytuje špička v 8 hodin ráno. Průměrný odběr v tento čas je vyšší, protože se obyvatelé chystají do práce. Ranní špička ve dnech pracovního klidu se vyskytuje v 10 hodin.

Z grafu celkové spotřeby vody v celé oblasti je zřetelné, že špička průměrného odběru je o půl 8 večer. Průměrná hodnota spotřeby vody za dané období byla  $1,449 \text{ l.s}^{-1}$ . Z hlediska zásobování za celé období nebyly zaznamenány žádné nadměrné výkyvy ani poruchy.



Graf 6. Průběh spotřeby vody ve všech dnech

Tabulka 3. Rozdělená spotřeba vody

Průtoky pracovní dny			Dny pracovního klidu		
$Q_p$	1,43	$l.s^{-1}$	$Q_p$	1,49	$l.s^{-1}$
$Q_m$	2,54	$l.s^{-1}$	$Q_m$	2,58	$l.s^{-1}$
$Q_h$	4,28	$l.s^{-1}$	$Q_h$	4,55	$l.s^{-1}$
$Q_{min}$	0,08	$l.s^{-1}$	$Q_{min}$	0,14	$l.s^{-1}$

Tabulka 4. Výsledky spotřeby vody za období od 1. 6. do 31. 8. 2022

Průtoky za celé vyhodnocované období		
$Q_p$	1,45	$l.s^{-1}$
$Q_m$	2,55	$l.s^{-1}$
$Q_h$	4,36	$l.s^{-1}$
$Q_{min}$	0,10	$l.s^{-1}$

$Q_p$  - průměrný denní průtok

$Q_m$  - maximální průměrný denní průtok

$Q_h$  - maximální hodinový průtok

$Q_{min}$  - minimální hodinový průtok

## 2.4 PRŮZKUM OBLASTI

V listopadu roku 2022 proběhla terénní prohlídka celé oblasti. V rámci prohlídky bylo zjištěno, že osada Kamenec není téměř osídlená a žije zde pouze jeden odběratel. Pracovníci VaK Přerov nám oznámili, že díky malému odběru musí velmi často jezdit

proplachovat tuto odlehlou oblast. V tomto případě nepřichází v úvahu odpojení odběratele od sítě, protože v obyvatel osady nemá vybudovanou studnu.

## 2.5 MĚŘENÍ NA SÍTI

Měření na síti probíhalo od pátku 25. 11. 2022 do středy 30. 11. 2022. Měřicí kampaň měla za úkol získat detailní údaje o tlakových hodnotách v obcích. Naměřená data slouží k ověření správnosti hydraulického modelu pomocí verifikace. Pro měření bylo použito pět měřících přístrojů. Použity byly dva měřicí přístroje SEBA a tři měřicí jednotky CDL. Protože naměřené tlaky jsou v jednotkách baru, zatímco model používá metrické jednotky vodního sloupce, bylo nutné provést převod jednotek – například 1 bar = 0,1 MPa = 10,19 m v. sl.

### 2.5.1 TYPY MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

Na dnešním trhu je spousta měřících přístrojů, které je možné použít pro zaznamenání dat různých lokací. Nejdůležitějším ukazatelem při rozhodování, který z přístrojů použít, je přístupnost hydrantů na síti.

#### 2.5.1.1 Sensus CDL

Mobilní paměti, která funguje nezávisle na síťovém napětí, je zapisovač naměřených hodnot CDL Data-Logger. Tento zapisovač zaznamenává naměřené hodnoty měřidel, která jsou připojena k loggeru. Vyhodnocování naměřených hodnot se provádí pomocí příslušného programu CDL Win, který poskytuje společnost Invensys. Měřicí přístroj umožňuje kontrolovat stav připojeného měřidla a zobrazovat průběh spotřeby a výšku vody ve vodovodním řadu. Jeden z výstupů zahrnuje grafické zobrazení průtoku a tlaku. [17]

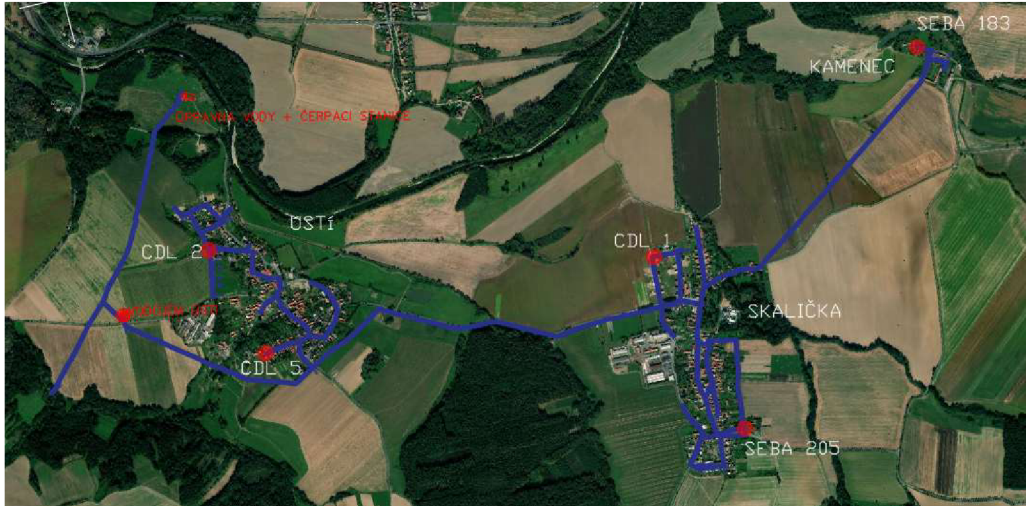
Zařízení CDL-4U poskytuje možnost připojení až čtyř snímačů. Jeho vstupy mohou být využívány jak pro analogové, tak i digitální přístroje. Přístroj je vybaven třemi samostatnými paměťmi pro zaznamenávání denních, hodinových a podrobných hodnot, které umožňují záznam jak kladných, tak záporných hodnot. Díky svému robustnímu provedení je vhodný pro provoz v nepříznivých podmínkách a jeho napájení je nezávislé na síti. [17]

#### 2.5.1.2 Seba P3

Loggery Sebalog P-3 jsou primárně navrženy pro monitorování tlaku ve vodovodních distribučních sítích. Jejich pravidelné měření tlaku vody umožňuje sledovat, zda je nutné upravit množství dodávané vody do potrubí, aby bylo udržováno konstantní tlakové prostředí a aby byly splněny potřeby spotřebitelů. Tyto loggery jsou připojovány k nadzemním a podzemním hydrantům v rámci vodovodní sítě, kde provádějí pravidelná měření tlaku s nastavitelným záznamovým intervalem. Naměřené hodnoty jsou uloženy v interní paměti loggerů a jsou kdykoliv dostupné. Sebalog P-3 logger disponuje rozsáhlou interní pamětí pro více než 1 milion naměřených hodnot. Kromě toho umožňuje využití vysoce přesného záznamového intervalu od 0,1 sekundy pro měření tlakových rázů. [18]

## 2.5.2 OSAZENÍ TLAKOVÝCH ČIDEL

Osazení proběhlo na 5 místech, které jsme prokonzultovali s pracovníky VaK Přerov. Konzultace byla nutná, a to z důvodu neznalosti celé sítě. U osazování čidel do hydrantů nebylo potřeba použití dalších nástavců. Hydranty z obcí Ústí a Skalička byly v dobré kondici, ale hydrant v osadě Kamenec byl starší a z důvodu malého místa zde byl osazen přístroj SEBA, který má menší světlost výšku než měřidla CDL.



Obrázek 18. Mapa osazení tlakových čidel

Tabulka 5. Podrobnosti uložení přístrojů

Měřicí přístroje	čas položení	Místo uložení	Naměřená aktuální hodnota [bar]
CDL 1	10:39	Skalička	6,1
CDL 2	10:02	Ústí	5,1
CDL 5	10:26	Ústí	4,8
SEBA 183	11:04	Kamenec	-
SEBA 205	10:50	Skalička	-

## 2.5.3 POSTUP MĚŘENÍ

Prvním úkolem bylo osadit správně čidla do hydrantů. Před otevřením prvního hydrantu bylo potřeba najít vhodná místa. Jakmile byla vybrána místa a rozložení čidel, tak bylo třeba odkalit. Po odpuštění potřebného množství vody se hydrant uzavřel. Důležitou částí osazování čidel bylo očištění pomocí dláta a ocelového kartáče. Do odhaleného hydrantu se vložil logger, který byl aretován a postupným otevřením se zavodnil a ihned předal informace o tlaku. Poté se poklop pouze uzavřel. Přístroje za necelých 5 dní odmontovali pracovníci VaK Přerov a předali měřidla na obecní úřad.



*Obrázek 19. Odkalování hydrantu Kamenec*

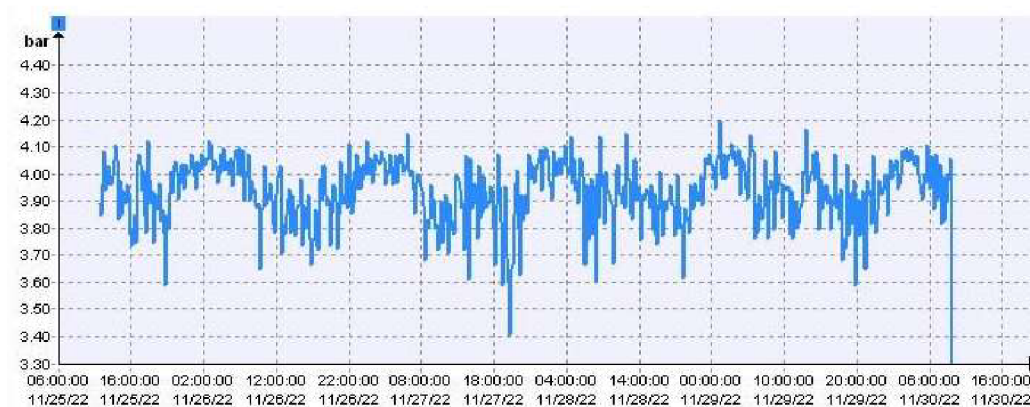


*Obrázek 20. Odkalování hydrantu Ústí*

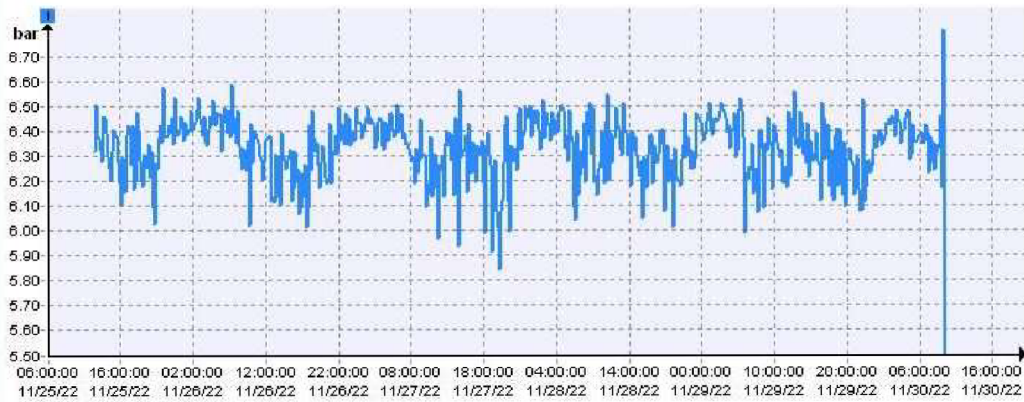


Obrázek 21. Osazení měřicího zařízení do hydrantu

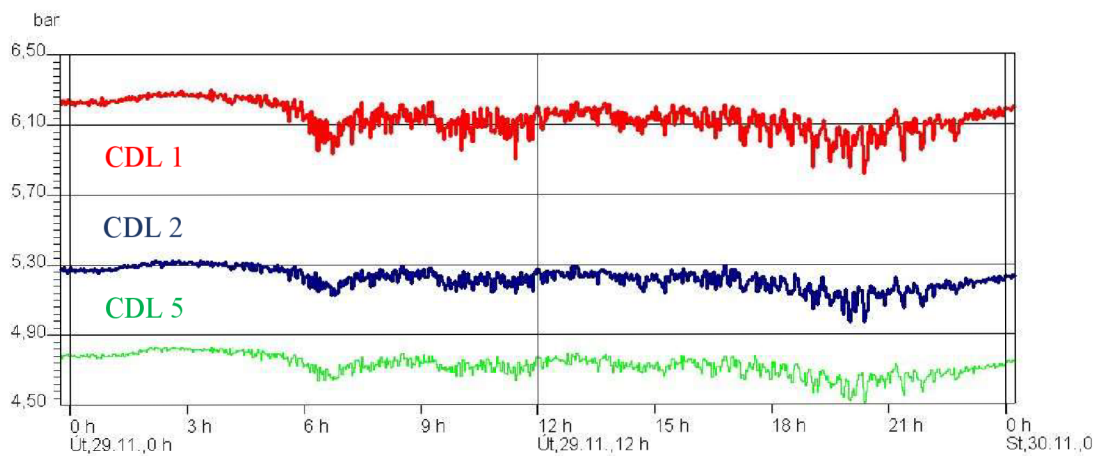
## 2.5.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ



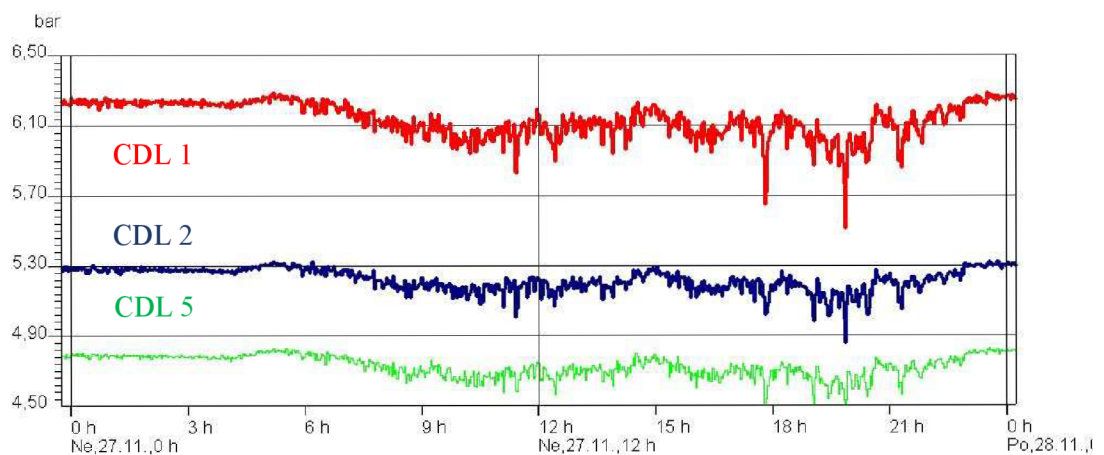
Graf 7. Záznam z měření Seba 205 - celé období



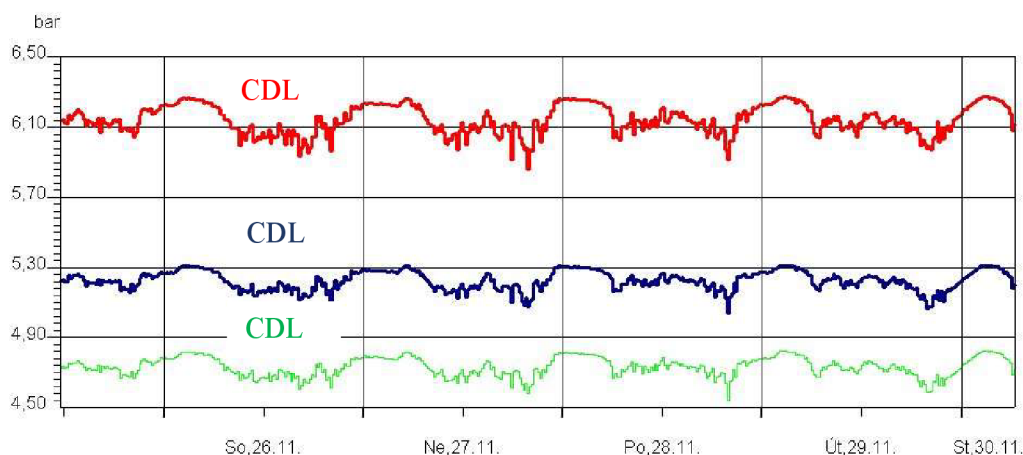
Graf 8. Záznam měření Seba 183 - celé období



Graf 9. Záznam z měření CDL přístrojů – pracovní den



Graf 10. Záznam z měření CDL přístrojů – den pracovního klidu



Graf 11. Záznam měření CLD přístrojů ve dnech

Jako výstupy z měření byly vytvořeny histogramy pro každé měřicí místo. Každý histogram obsahuje informace o četnostech a kumulaci. Naměřené hodnoty sloužily pro kalibraci modelu. Z každého měřeného místa byla použita data s maximálními hodnotami hydrostatického tlaku.

Tabulka 6. Přehled použitých maximálních hydrostatických tlaků

Přístroje	max. HS	četnost	kumul. [%]
CLD 1	6,3	54	100
CLD 2	5,35	39	100
CLD 5	4,9	5	100
SEBA 183	6,7	40	99.9
SEBA 205	4,25	155	100

## 2.6 VYPRACOVÁNÍ HYDRAULICKÉHO MODELU

Pro správné vypracování hydraulické analýzy je třeba co nejlépe popsat topologii sítě. Jedná se zde o zjednodušené zobrazení vodovodní sítě a simulace průtoků v daném čase. K tomuto zobrazení byl použit software EPANET 2.2. Do hydraulického modelu sítě bylo třeba dodat zdroj vody, což je vodovodní řad Záhoří. Další hodnoty jsou umístění vodojemu, jednotlivé uzly, rozvrstvení trubní sítě a možné objekty na síti. Tyto údaje byly poskytnuty od VaK Přerov. S ohledem na gravitační síť celé vodovodní sítě nejsou užity v modelu žádné čerpací stanice.

### 2.6.1 PŘEHLED VSTUPNÍCH DAT

Jako podklad byl poskytnut soubor ve formátu \*.dxf., který obsahoval rozvrstvení sítě a posloužil pro vytvoření skeletu v programu AutoCAD. Dalším dodaným podkladem byly průtokové hodnoty, které udávaly pětiminutové průtoky v období od pátku 25. 11. 2022 do středy 30. 11. 2022.



## 2.6.2 POSTUP ZPRACOVÁNÍ DAT A SESTAVENÍ MODELU

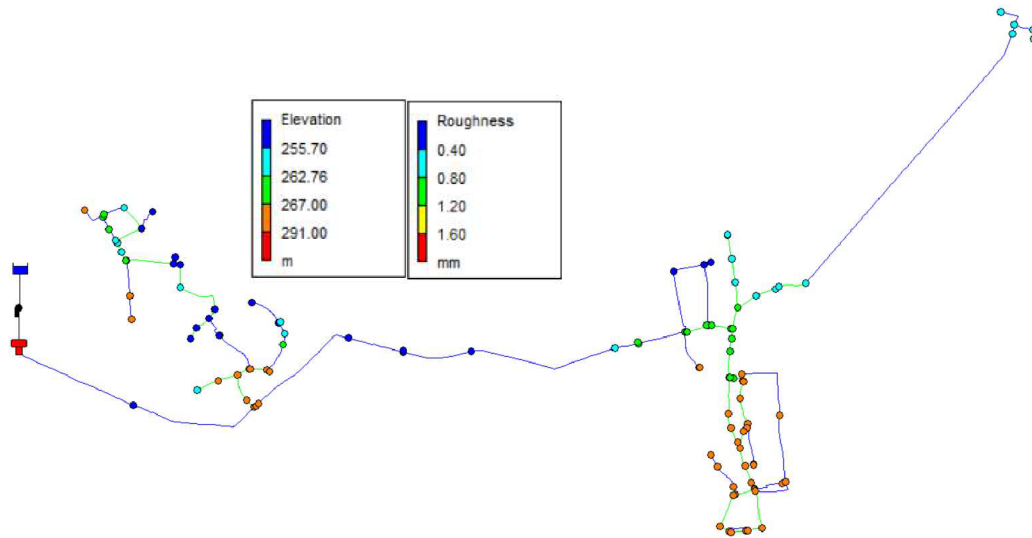
K sestavení modelu je třeba rozdělit síť do určených úseků a uzlů. Prvním krokem sestavení modelu pro obce Ústí, Skalička a Kamenec bylo rozdělení celé sítě na přívodný a rozvodný řád, specifikace úseků daných maximální délkou 300 metrů a výpočet vstupních hodnot odběrů do modelu. Po sestavení skeletu modelu byl soubor vyexportován z programu AutoCAD (\*.dwg) a následně změněn na soubor \*.inp, který program EPANET 2.2 podporuje. Výpočet vstupních hodnot proběhl v programu Excel, kde se i stanovily hodnoty odběrů v daných uzlech. Celá síť byla rozdělena na dvě spotřební oblasti, a to oblast Ústí a Skalička. Uzly byly vloženy na místa křížení, konce úseků a hydrantů. Drsnost, materiál, profil a stáří vodovodní sítě bylo určeno z materiálů dodaných od provozovatele. Následné doplnění těchto hodnot do modelu vedlo k prvotnímu spuštění. Díky materiálu potrubí je možné rozšířit model o součinitel k (součinitel drsnosti), jehož hodnota je důležitá pro tření po délce. Výpočet v programu proběhl pomocí rovnice Darcy – Weisbacha. Rekonstrukce, která proběhla v roce 2010, pozitivně ovlivnila i drsnost v síti. U drsnosti v síti existuje pravidlo, že čím je starší potrubí, tím je větší drsnost potrubí.

Tabulka 7. Popis materiálu

Materiál	drsnost	délka [m]
TLT 100	1	3839
PE 100	0,24	3319
PVC 100	0,25	1842
HDPE 80	0,24	231
PE 80	0,24	1787
PE 63	0,24	515

## 2.6.3 TOPOLOGIE A VÝŠKOPIS SÍTĚ

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3, tak celá síť je zásobována gravitačně. Díky tomu bylo při vytváření modelu důležité dodat správné výškové údaje. Tyto údaje byly vloženy za pomoci podkladní mapy v programu GIS. Po již specifikovaném rozložení uzlů v síti bylo možné přesně určit výškové poměry každého bodu a zanést tyto informace do modelu. Topologie sítě je rozdílná u obou spotřebních oblastí. V obci Ústí je až na výjimky celá síť bez okruhů. V obci Skalička nalezneme celkem šest okruhů, které jsou na sebe vzájemně navázané. Rozdílem obou oblastí je i průměrná spotřeba vody, která byla zohledněna v modelu.



Obrázek 22. Nadmořská výška sítě a hydraulická drsnost potrubí

#### 2.6.4 UZLOVÉ ODBĚRY

Důležitou částí sestavení modelu je výpočet uzlových odběrů. Poskytnutá data od provozovatele posloužila ke stanovení průměrného průtoku v oblastech Ústí a Skalička. Z toho důvodu z výpočtu vyšly dvě hodnoty součinitele průtoku  $Q$ . Hodnota součinitele se stanovila pomocí vztahu:

$$\text{souč. } Q = \frac{\text{hod. průměr}}{Q_p} \quad (21)$$

Ve spotřebišti Skalička se rozdělila hodnota  $Q_p = 0,878 \text{ l.s}^{-1}$  a ve spotřebišti Ústí hodnota  $Q_p = 0,571 \text{ l.s}^{-1}$ . Pro celý model je tedy požadovaná hodnota hodinového průtoku  $Q_p = 1,449 \text{ l.s}^{-1}$ . Pro přerozdělení odběrů do uzlů byl použit program Excel, kde se jednotlivé odběry rozdělily podle délek a následně vepsaly do již importovaného modelu v programu EPANET 2.2. Tato varianta byla použita z důvodu, že software EPANET 2.2 bohužel neumí přerozdělit odběr pomocí metody redukovaných délek.

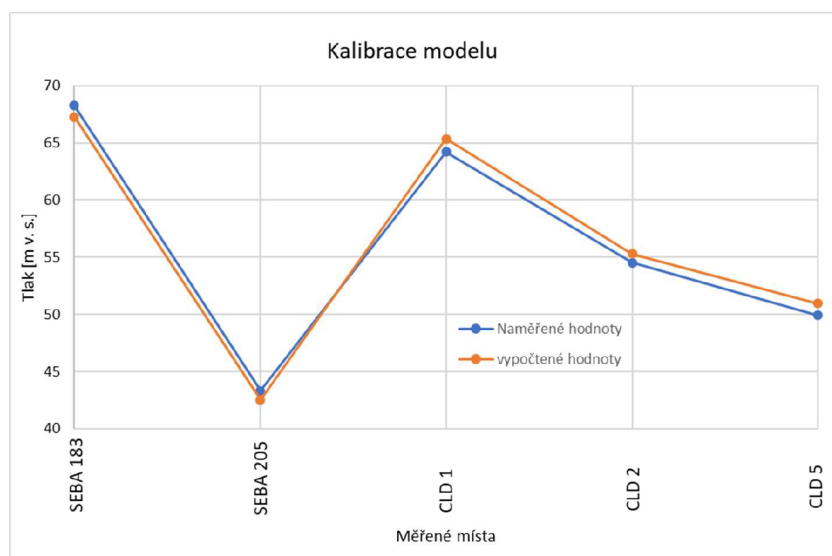
U trubních sítí není možno pro velký počet odběrných míst (domovních přípojek) zadávat do výpočtu každý odběr jako samostatný uzel. Rozsah sítě by vzrůstal do obtížně zvládnutelných rozměrů, a proto se jako uzlové odběry zadávají pouze významné odběry (průmysl, větší občanské zařízení a technické vybavenosti apod.) Drobné domácí odběry, které se realizují v rámci daného trubního úseku, se přesouvají do krajních uzlů. Pro rozdělení těchto odběrů se používá určité schematizace. [7]

Tabulka 8. Součinitel průtoku  $Q$

Rozdělení průměrného průtoku	
hodina	součinitel $Q$
0	0.73351190
1	0.62994048
2	0.60571429
3	0.63005952
4	0.82898810
5	1.32851190
6	1.74559524
7	1.85773810
8	2.06869048
9	2.07005952
10	2.11500000
11	1.96422619
12	2.09160714
13	2.01642857
14	2.02065476
15	1.98821429
16	2.37773810
17	2.36535714
18	2.33476190
19	2.82666667
20	2.54250000
21	2.15232143
22	1.38886905
23	0.86937500
Průměr	1.449

### 2.6.5 KALIBRACE MODELU

Byly získány údaje o celém území a výstupy z měření. Před kalibrací byla provedena kontrola správnosti naměřených hodnot a sestavení histogramů. Do histogramů se zanesly údaje o četnosti a kumulaci. Ke kalibraci byly použity nejvyšší naměřené hodnoty hydrostatického tlaku v každém z měřících přístrojů. Celkem bylo tedy použito pět maximálních hodnot. Prvním krokem kalibrace bylo určení maximálního tlaku při měření v noci mezi 3 až 5 hodinou. Tyto hodnoty se používaly, protože je v tuto dobu nejmenší odběr a díky tomu i největší tlak. Díky tomuto výpočtu se zjistila maximální kóta hladiny vody ve vodojemu. Další částí bylo porovnání odchylky mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami. Zde by hodnoty neměly přesáhnout odchylku 1 metru vodního sloupce. Jak můžeme vidět z grafu, kalibrace proběhla úspěšně, protože v žádném z měřených míst nedošlo k překročení této odchylky. Tímto model můžeme považovat za zkalibrovaný.



Graf 12. Kalibrace modelu

## 2.6.6 VERIFIKACE MODELU

Verifikace má za úkol ověřit správnost vstupních parametrů jako jsou součinitele drsnosti potrubí a hodnoty odběrů v uzlech pomocí statických hodnot tlaků a průtoků z různých podmínek a časů. Cílem je porovnat vypočtené hodnoty s naměřenými, které byly předem kalibrovány pro matematický model. Výsledky se vyjadřují jako procentuální odchylka a posouzení maximálních odchylek určuje míru přesnosti verifikace a kalibrace. Pokud jsou rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami výrazné, je důležité zkontrolovat výsledky a hledat chybu. Přesnost výpočtu hydraulických ztrát v potrubí závisí na přesnosti měřicího zařízení. [19]

Tabulka 9. Výsledek verifikace modelu

Měřicí přístroje	Vypočtené [m v. sl.]	Naměřené [m v. sl.]	Rozdíl [m v. sl.]
seba 183	67,29	68,27	0,98
seba 205	42,49	43,31	0,82
CLD 1	65,34	64,56	0,78
CLD 2	55,29	54,52	0,77
CLD 5	50,84	49,93	0,91

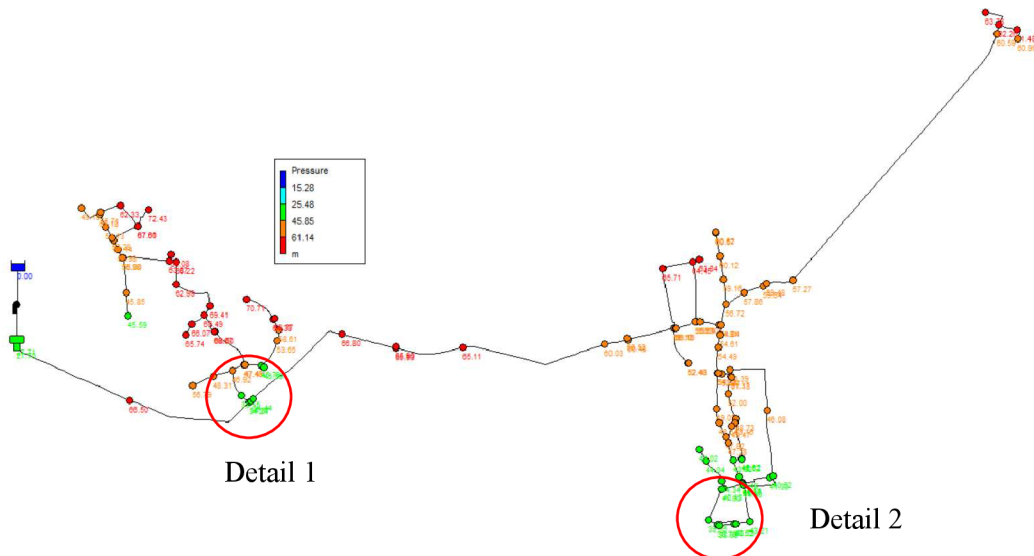
Verifikace proběhla na základě naměřených a vypočítaných hodnot. Z tabulky jde vidět, že rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou nepřesáhl 1 metr vodního sloupce. Model je tedy hotový a není potřeba dalších úprav.

## 2.7 VÝSLEDKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY A POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE SPOTŘEBIŠTI

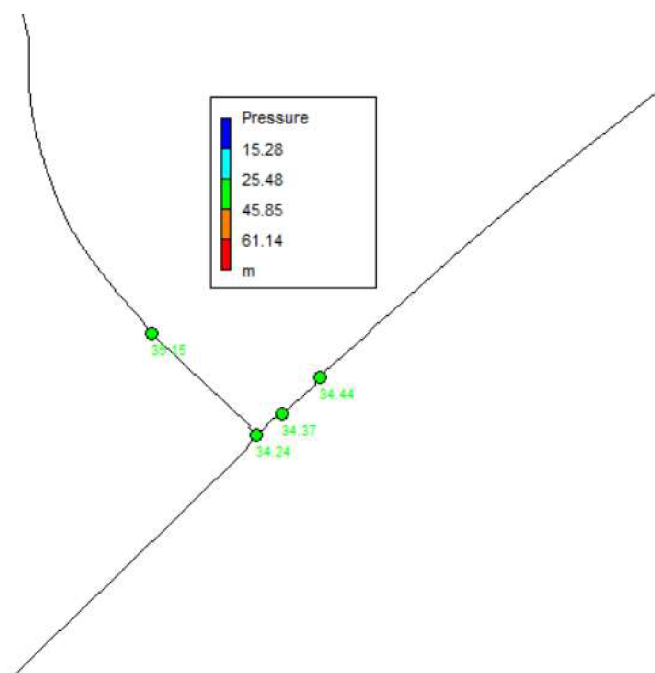
Výsledky a posouzení tlakových poměrů v sítích byly posouzeny na základě vyhlášky 428/2001 Sb. Rozvodná vodovodní síť a potrubí zásobních řadů se navrhuje na maximální hodinovou potřebu vody. Potrubí ostatních vodovodních řadů se navrhuje na maximální denní potřebu vody. Vodovodní potrubí vodovodu se nesmí propojovat s potrubím užitkové a provozní vody a ani s vodovodním potrubím z jiného zdroje vody, který by mohl ohrozit jakost vody a provoz vodovodního systému. Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa. V odůvodněných případech se může zvýšit na 0,7 MPa. Při zástavbě do dvou nadzemních podlaží hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být v místě připojení vodovodní přípojky nejméně 0,15 MPa. Při zástavbě nad dvě nadzemní podlaží nejméně 0,25 MPa. [20]

### 2.7.1 MINIMÁLNÍ HYDRODYNAMICKÉ TLAKY

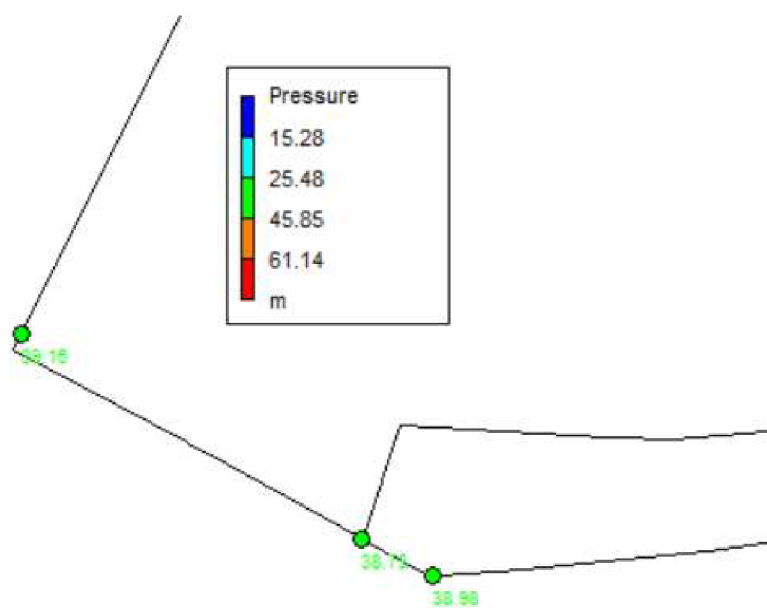
Minimální hodnoty hydrodynamického tlaku vyhovují vyhlášce 428/2001 Sb. Nejnižší hodnota vodního sloupce se nachází na místě rozdělení rozvodného řadu směrem do Ústí. Zde byla vypočítána hodnota 34,24 metrů vodního sloupce. Místo se nachází v nejvyšší části obce Ústí u domu s číslem popisným 157. Dům leží v jižní části obce.



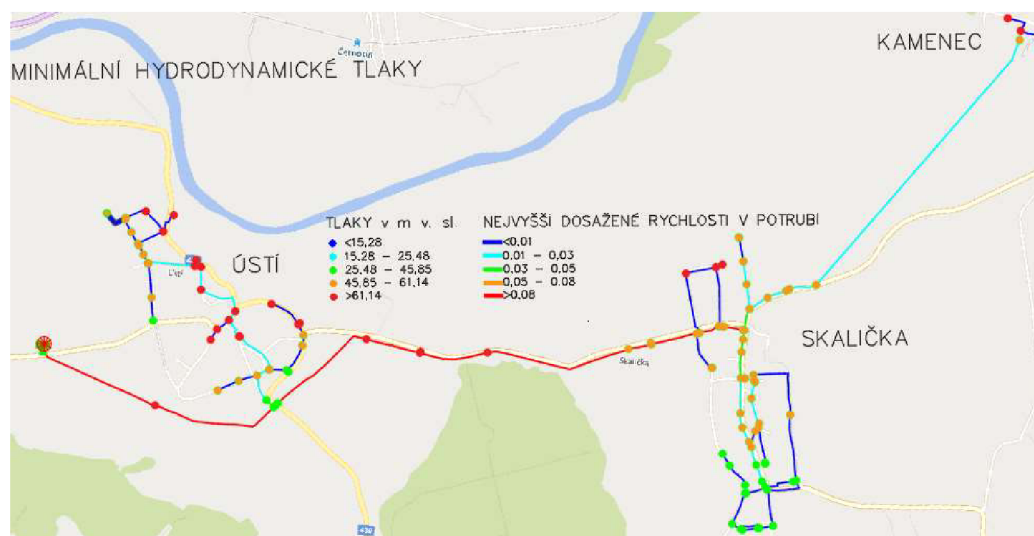
Obrázek 23. Minimální hydrodynamické tlaky v modelu – výstup z EPANET 2.2



Obrázek 24. Detail 1 minimálního hydrodynamického tlaku v obci Ústí



Obrázek 25. Detail 2 minimálního hydrodynamického tlaku v obci Skalička

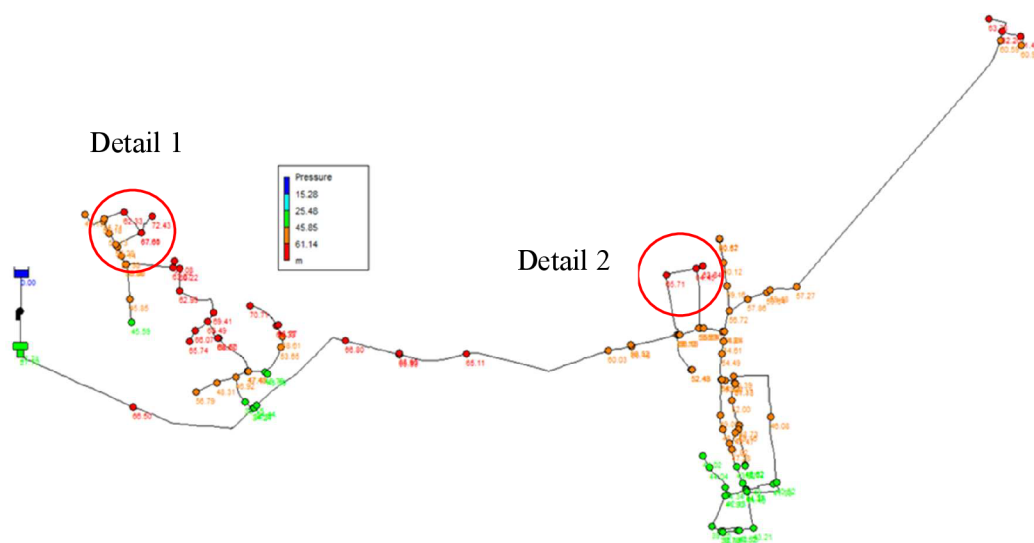


Obrázek 26. Minimální hydrodynamické tlaky v síti a nejvyšší dosažené rychlosti

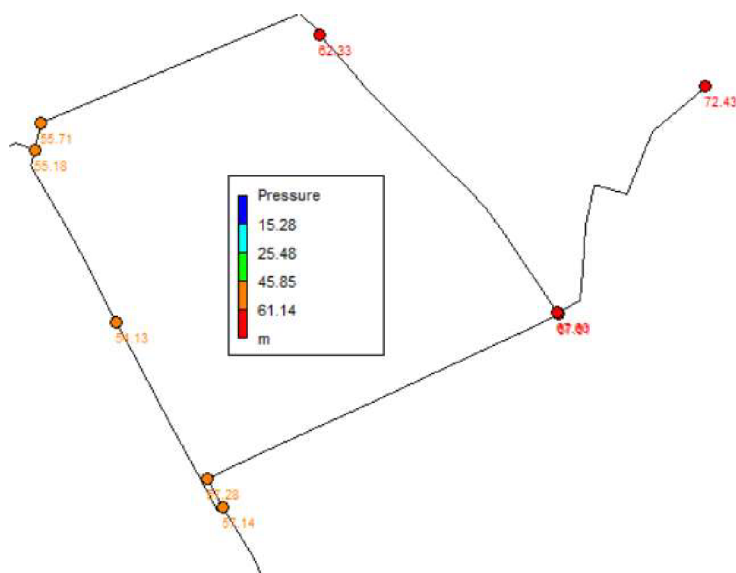
V oblasti zásobních řadů, které vedou od vodojemu do Ústí a pak dále do Skaličky, se vyskytují největší rychlosti v síti. Co se týče minimálních hodnot tlaků v obci Skalička, ten se nachází také v jižní části, konkrétně u domu č. p. 138. Hodnota minimálního tlaku na tomto místě dosáhla 38,75 metrů vodního sloupce.

## 2.7.2 PŘEKROČENÍ HYDROSTATICKÝCH TLAKŮ

Hydrostatický tlak byl překročen ve velké části modelované sítě. Nejvýraznější překročení se nachází v oblasti obce Ústí. Tato překročení jsou způsobena malou nadmořskou výškou. Oblasti, kde byl překročen hydrostatický tlak, se nacházejí u místního obecního úřadu, školy, penzionu, kostela, čistírny odpadních vod a dalších místech. Nejvyšší hodnota byla vypočítána u čistírny odpadních vod. Zde hodnota dosahovala 72,43 metrů vodního sloupce. Tato hodnota překračuje maximální možné překročení dle vyhlášky 428/2001 Sb. (61,14 m v. sl.) o 11,29 metrů vodního sloupce. Faktorem, který ovlivňuje celkové měření je, že naměřené hodnoty jsou stanoveny v době s nejnižšími odběry. Hladina vodojemu je na maximu, ale u vodojemu Ústí vzhledem k propojení na vodovod Záhoří není časté, aby hladina výrazně klesala. Hydrostatický tlak překročil svou mez i v obci Skalička, ale pouze ve třech místech. Nejvyšší hodnota zde byla 65,71 metrů vodního sloupce (0,645 MPa). Všechna tři místa v obci Skalička ale splňují ojedinělou podmínku 0,7 MPa.

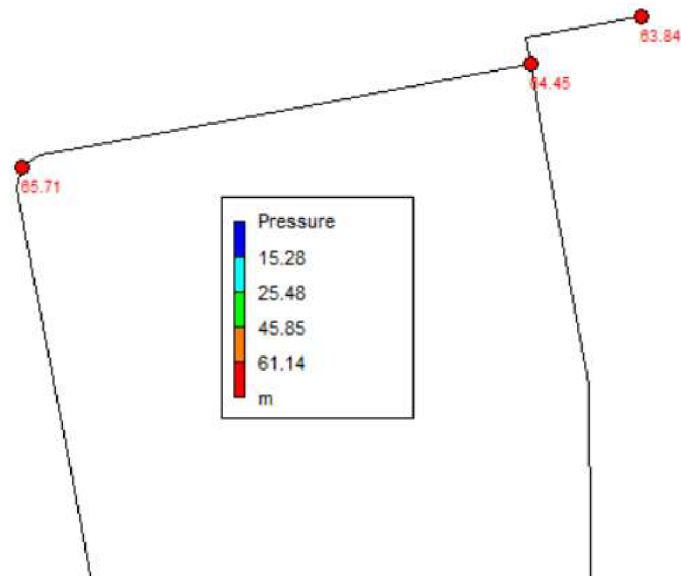


Obrázek 27. Překročení hydrostatických tlaků v obcích – výstup z EPANET 2.2

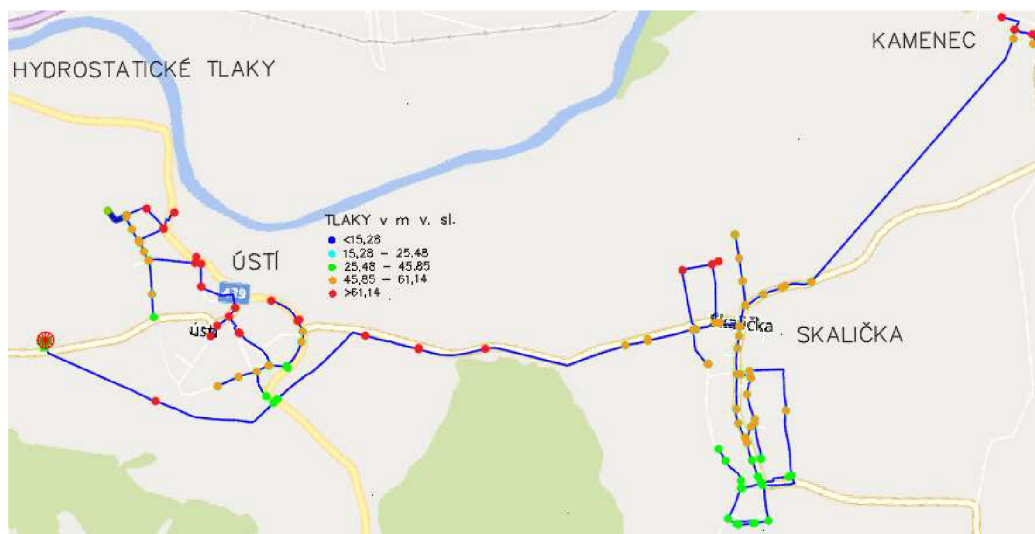


Obrázek 28. Detail 1 překročení hydrostatických tlaků v obci Ústí





Obrázek 29. Detail 2 překročení hydrostatických tlaků v obci Skalička



Obrázek 30. Hydrostatické tlaky ve vodovodní síti

### 2.7.3 ZHODNOCENÍ STAVU

Tlakové poměry v obcích v aktuální situaci dosahují hodnot nepovolených vyhláškou. Občané v oblastech s vysokým tlakem musí instalovat redukční ventily za přípojkami do nemovitostí a vznikají poškození sítě. Tyto netěsnosti a poruchy se aktuálně v systému moc nevyskytují, protože celý vodovod byl v roce 2010 rekonstruován a je v dobrém stavu. Vzhledem k vysokému tlaku se mohou na síti do budoucna objevit poruchy a netěsnosti.

### 2.7.3.1 Havárie nebo porucha

Havárie a poruchy se dělí podle závažnosti. Pokud se jedná o běžnou věc, tak je vyhodnocen jako porucha a pokud dojde k náhlému poškození stěny, spoje nebo armatury vodovodního potrubí, tak je se jedná o havárii. Havárie vyžaduje okamžitý zásah provozovatele sítě spojený s odstavením dotčené části z provozu. Pro různé účely jsou vyhodnocovány výskyty různých typů poruch. Pro účely plánování obnovy vodovodních řadů jsou významné především poruchy potrubí a trubních spojů. [21]

Mezi nejčastější poruchy způsobené vysokým tlakem se řadí prasknutí nebo vyražení hrdla potrubí. Tyto poruchy nadále v síti způsobí velké škody a pokud se na daném vodovodu tyto poruchy vyskytují často, dochází k tomu, že provozovatelé vodovodů začnou prodělávat.



Obrázek 31. Porucha potrubí

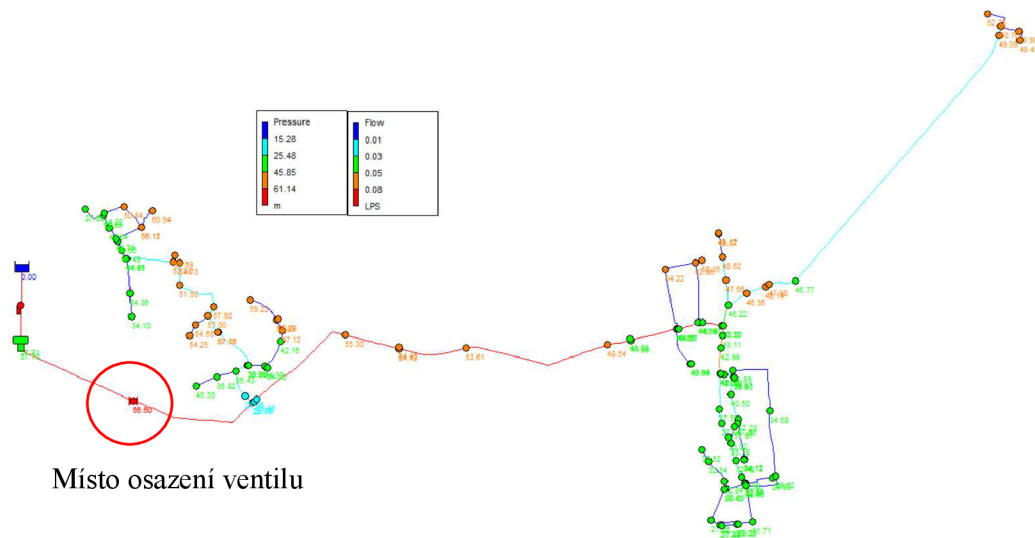
### 2.7.3.2 Poruchovost

Poruchovost vyjadřuje vztah mezi počtem poruch a délkou vodovodních řadů v daném časovém intervalu. Běžně se udává jako míra poruch na kilometr řadu za rok (někdy i na 100 kilometrů za rok). Poruchovost obecně platí za stabilní nebo se jen minimálně zvyšuje. Považuje se za přijatelnou, pokud nepřesahuje 0,2 poruchy na kilometr řadu za rok, zatímco hodnoty nad 0,8 poruchy na kilometr řadu za rok jsou kritické. [21]

Z výzkumu, který se prováděl v podmínkách sítě Brněnských vodáren a kanalizací, vyplývá, že poruchovost záleží na několika faktorech: stáří, použitý trubní materiál, profil a tlakové poměry. Hydrodynamický tlak významně ovlivňuje poruchovost vodovodní sítě, a to zejména tehdy, pokud přesahuje maximální limitní hodnoty podle Vyhlášky č.428/2001 Sb. k provedení zákona o VaK. [21]

## 2.7.4 NÁVRH OPATŘENÍ

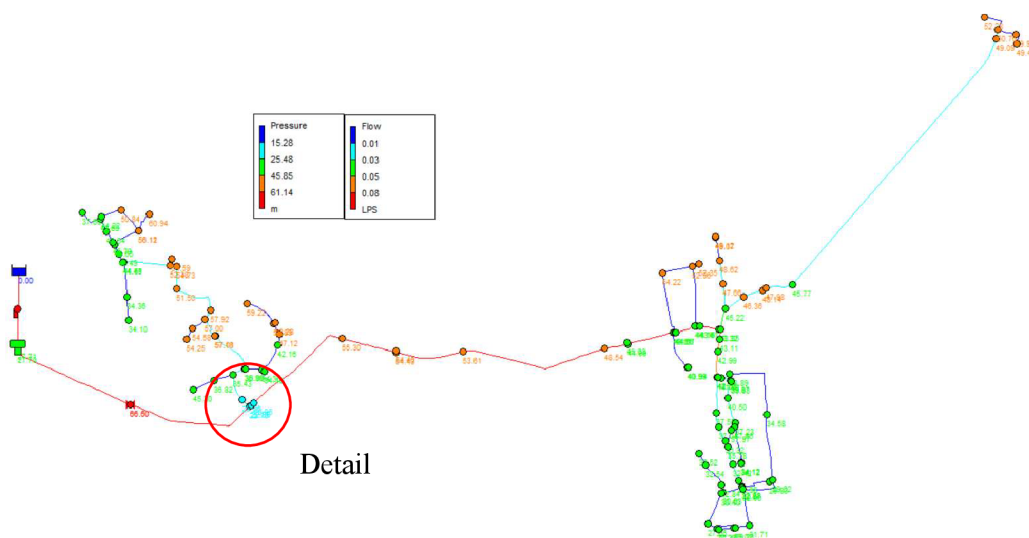
Aktuální řešení provozu vodovodu splňuje pouze podmínku minimálních tlaků, ale vzhledem k tomu, že maximální tlaky jsou v síti několikrát překročeny tak navrhuji instalovat do rozvodného řádu směrem k obci Ústí redukční ventil. Tento ventil by byl osazen před první hydrant ve směru od vodojemu. Cílem redukčního ventilu by bylo omezit tlak v síti a snížit jej o 11,5 metrů vodního sloupce. Tímto opatřením předejde provozovatel vodovodu do budoucna možným komplikacím, které mohou být způsobeny poruchami a haváriemi na síti. Do budoucna v obcích není plánováno větší rozšiřování vodovodní sítě, a proto tento redukční ventil nebude omezovat celkový tlak v síti, aby v některých místech nebyla splněna minimální podmínka stanovená vyhláškou 428/2001 Sb. Místo osazení redukčního ventilu je navrženo na zatravněné ploše. Náklady na výkopové práce a osazení ventilu by se díky tomu snížily. Místo, na kterém by se mohl umístil redukční ventil se nachází v katastrálním území obce Ústí a vlastní ho soukromník s bydlištěm v Ústí.



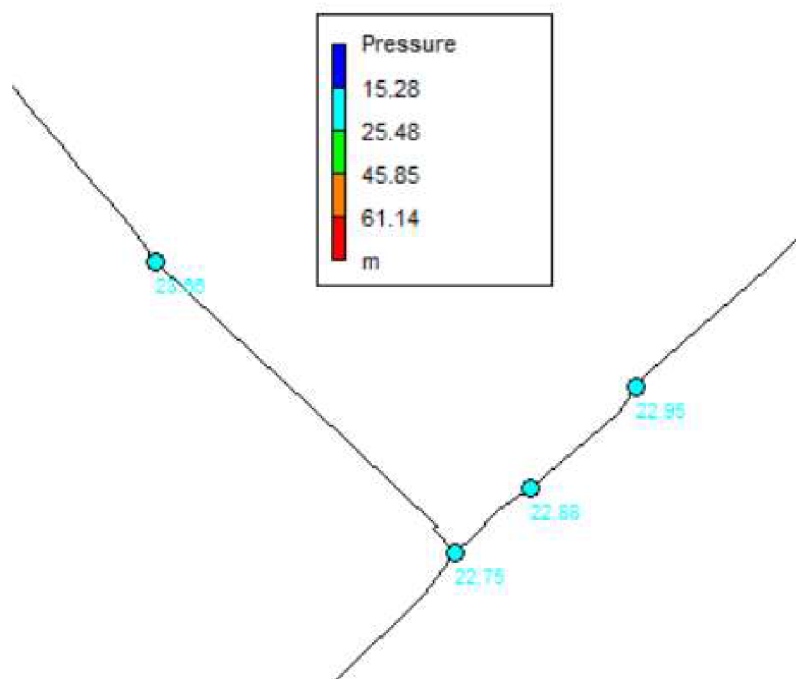
Obrázek 32. Hydrodynamické tlaky v síti

### 2.7.4.1 Minimální hydrodynamické tlaky v síti

Díky omezení tlaku redukčním ventilem by byl minimální hydrodynamický tlak v síti 22,75 metrů vodního sloupce a nacházel by se na stejném místě jako před provedením opatření. Tato hodnota vyhovuje vyhlášce 428/2001 Sb. Minimální tlaky v síti na tomto místě by se pohybovaly v rozmezí od 22,75 do 23,66 metrů vodního sloupce.



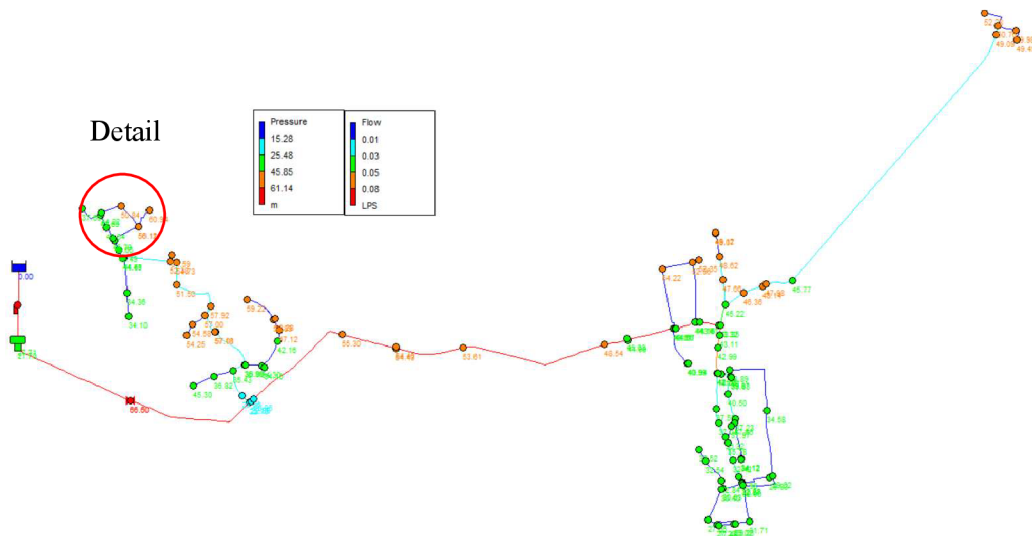
Obrázek 33. Minimální hydrodynamický tlak v síti – navržené řešení



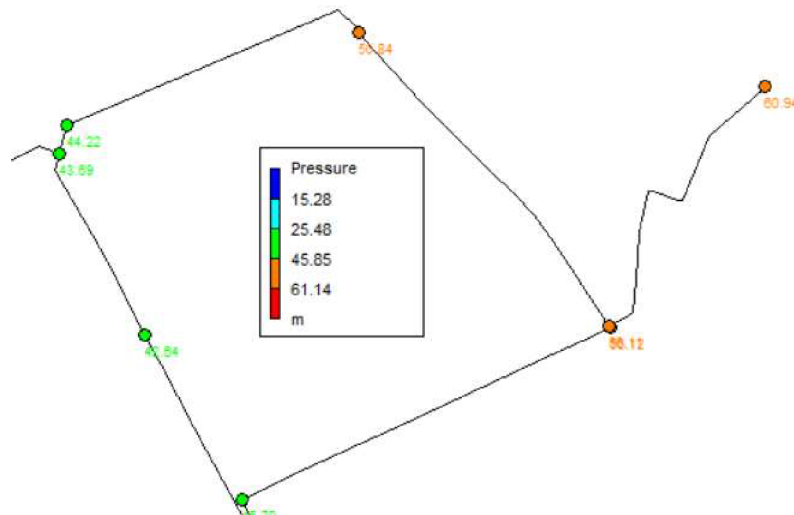
Obrázek 34. Detail minimálního hydrodynamického tlaku v síti – navržené řešení

### 2.7.4.2 Maximální hydrostatický tlak v síti

Po instalaci redukčního ventilu by se maximální tlaky snížily a dostaly se pod hodnotu stanovenou vyhláškou (0,6 MPa). Nejvyšší hodnota v hydraulickém modelu sítě po přidání redukčního ventilu by byla 60,94 metrů vodního sloupce. Tato hodnota již vyhovuje vyhlášce 428/2001 Sb. Maximální tlaky v síti na tomto místě by se pohybovaly v rozmezí od 56,11 do 60,94 metrů vodního sloupce.



Obrázek 35. Maximální hydrostatické tlaky v síti – navržené



Obrázek 36. Detail maximálního hydrostatického tlaku v síti – navržené řešení

### 2.7.4.3 Zhodnocení stavu s ohledem na návrhové opatření

Díky redukčním ventilům se dlouhodobě odlehčuje vodovodním sítím a v případě zájmové lokality Ústí, Skalička a Kamenec by užití návrhového opatření usnadnilo provozování celé sítě. Budoucí náklady na opravy poruch a havárií by se ze statistického hlediska snížily a redukční ventil by napomohl udržitelnosti sítě a prodloužil její životnost.

### 3. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá tvorbou hydraulického modelu vodovodní sítě v obcích Ústí, Skalička a Kamenec. Cílem práce je posouzení tlakových poměrů vodovodní sítě a ve spotřebištích. Hydraulická analýza slouží jako podklad pro správné provozování vodovodní sítě a díky informacím, které provozovatel získá z právě uvedené analýzy, může předcházet problémům na síti.

V první kapitole je popsána teorie matematického modelování a základní vztahy pro výpočet v tlakových trubních systémech. Jsou zde charakterizovány primární podmínky pro tvorbu modelu, které musí být splněny. Pokračováním této kapitoly jsou softwarové programy, které mohou být použity pro tvorbu modelu. Největší pozornost je zde věnována programu EPANET 2.2., který je také využit jako hlavní program pro zpracování modelu.

Druhá kapitola je zaměřena na popis vodovodní sítě obcí. V první části je popsáno celé zájmové území a rozdělení charakteru zástavby všech tří oblastí. Podrobný popis je v této kapitole věnován zásobování vodou. Mezi zásadní charakterové rysy obcí patří rozdělení zásobovacích oblastí na dvě části, a to Ústí a Skalička s přilehlou osadou Kamenec. Celý vodovod v oblasti je zásobován ze sdruženého vodovodu Záhoří. Informace o spotřebě vody byly dodány od provozovatele vodovodu VaK Přerov a následně proběhla analýza spotřeby vody z poskytnutých pětiminutových dat za roky 2021 a 2022. Na těchto datech je založena stavba kvazi-dynamického hydraulického modelu. V rozmezí od pátku 25. 11. 2022 do středy 30. 11. 2022 byla provedeno měření přímo na síti. Bylo osazeno pět měřících přístrojů, a to dva do obce Ústí, dva do obce Skalička a poslední do osady Kamenec. Měřící přístroje zaznamenávaly hodnoty tlaků na síti a naměřená data sloužila pro kalibraci a verifikaci modelu.

Po vytvoření hydraulického modelu byly posouzeny tlakové poměry na vodovodní síti obcí Ústí, Skalička a Kamenec. Z posouzení tlaků na síti bylo zjištěno, že posuzované nejnižší hodnoty (0,15MPa) splňuje celá vodovodní síť. Nejvyšší provozní tlaky, které se ale na síti vyskytují, tak v některých místech razantně přesahují maximální stanovenou hodnotu hydrostatického tlaku danou vyhláškou 428/2001 Sb. V posuzované oblasti Ústí přesáhla hodnotu tlaku (0,6MPa) větší polovina uzlů, a to z důvodu nižší nadmořské výšky v oblastech. V posuzované oblasti Skalička maximální povolenou hodnotu přesáhly pouze 3 uzly, a to průměrně o 3 metry vodního sloupce. Tato překročení, a to hlavně v oblasti Ústí, mohou zapříčinit poruchy v systému.

V poslední kapitole bylo navrženo opatření pro snížení tlaků v síti. Na základě vysokých tlaků bylo navrženo umístit do vodovodní sítě směrem od vodojemu k první spotřebitelské oblasti Ústí redukční ventil. Cílem redukčního ventilu je omezit stav tlaku v síti o 11,5 metrů vodního sloupce. Díky tomuto opatření bude celá vodovodní síť v mezích vyhlášky 428/2001 Sb. a bude vyhovovat i možnému rozšiřování obce v budoucích letech.

Tento hydraulický model může v budoucnu sloužit jako podklad pro rozšiřování obce, provozování obce anebo sestavení proplachovacího plánu vodovodní sítě v obcích.

Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí  
Bakalářská práce

Jakub Kuchař

Kopie bakalářské práce bude předložena obcím a provozovateli vodovodu VaK Přerov,  
a. s.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] M. Škrdla a J. Hřebíček, „Úvod do matematického modelování,“ 6 5 2023. [Online]. Available: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/Bi3101/um/skripta.pdf>.
- [2] T. Kučera, „Hydraulická analýza vodovodních sítí,“ Vodovod.info - vodárenský informační portál, 27 3 2014. [Online]. Available: <https://www.vodovod.info/extra/tema/251-hydraulicka-analyza-vodovodnisisite#.Y5nmtXbMKUk>. [Přístup získán 6 5 2023].
- [3] R. Roub a P. Pech, „HYDRAULIKA - PŘÍKLADY,“ 2014. [Online]. Available: [https://home.czu.cz/storage/583/55592\\_skripta.pdf](https://home.czu.cz/storage/583/55592_skripta.pdf). [Přístup získán 14 5 2023].
- [4] ING. JOSEF NOVÁK a kolektiv autorů, Příručka provozovatele vodovodní sítě., Praha: ISBN 80-238-9946-5., 2003.
- [5] T. Vítěz a P. Trávníček, „Mechanika tekutin,“ 27 11 2013. [Online]. Available: [https://uzpet.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uzpet/soubory-ke-stazeni/proudeni\\_ztraty\\_mereni\\_prutoku.pdf](https://uzpet.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uzpet/soubory-ke-stazeni/proudeni_ztraty_mereni_prutoku.pdf). [Přístup získán 14 5 2023].
- [6] O. Piller a I. M. Arango, „Parameterization of Offline and Online Hydraulic Simulation,“ [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815025771>. [Přístup získán 10 5 2023].
- [7] L. Tuhovčák, A. Pavel, J. Raclavský a T. Kučera, Vodárenství, Brno: Vysoké učení technické, 2006.
- [8] EPA United States Enviromental, „EPANET,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>. [Přístup získán 10 5 2023].
- [9] DHI, „MIKE URBAN,“ [Online]. Available: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban>. [Přístup získán 18 5 2023].
- [10] Sweco, „Hydronet 4,“ [Online]. Available: <https://www.sweco.cz/winplan/hydronet/>. [Přístup získán 18 5 2023].
- [11] S. e. Impact company, „Software Aquis,“ [Online]. Available: [https://www.se.com/il/en/product-range/61417-aquis-software/?subNodeId=12368214446en\\_IL](https://www.se.com/il/en/product-range/61417-aquis-software/?subNodeId=12368214446en_IL). [Přístup získán 18 5 2023].
- [12] Obec Ústí, „Oficiální stránky Obce Ústí,“ [Online]. Available: <https://www.obec-usti.cz/>. [Přístup získán 6 5 2023].



- [13] PRVK Olomouckého kraje, „Úvod | PRVK Olomouckého kraje,“ PRVK. [Online]. Available: <https://prvk.olkraj.cz/prvk/karty/nahled/45>. [Přístup získán 7 5 2023].
- [14] PRVK Olomouckého kraje, „Úvod | PRVK Olomouckého kraje,“ [Online]. Available: <https://prvk.olkraj.cz/prvk/karty/nahled/45>. [Přístup získán 7 5 2023].
- [15] Voda na Hranicku, „Vodojem Usti (Traditional Cache) in Olomoucký kraj,“ 24 8 2016. [Online]. Available: [https://www.geocaching.com/geocache/GC6EP2X\\_voda-na-hranicku-iii-vodojem-usti](https://www.geocaching.com/geocache/GC6EP2X_voda-na-hranicku-iii-vodojem-usti). [Přístup získán 7 5 2023].
- [16] VaK Přerov, „Základní údaje o společnosti,“ [Online]. Available: <https://www.vakprerov.cz/o-spolecnosti/zakladni-udaje-o-spolecnosti.html>. [Přístup získán 7 5 2023].
- [17] Sensus metering system, „Data-Logger (zapisovač naměřených hodnot),“ [Online]. Available: [https://cdn2.webdamdb.com/md\\_2w08x3dOTpDA.jpg.pdf?v=1](https://cdn2.webdamdb.com/md_2w08x3dOTpDA.jpg.pdf?v=1). [Přístup získán 15 5 2023].
- [18] S. KMT, „Sebalog P3 - návod k obsluze,“ 2 7 2013. [Online]. Available: [https://www.metrotech.cz/files/Sebalog\\_P-3-1/man\\_log-P3\\_cz\\_02-4.pdf](https://www.metrotech.cz/files/Sebalog_P-3-1/man_log-P3_cz_02-4.pdf). [Přístup získán 15 5 2023].
- [19] P. Ingedudl a J. Vyčítal, Matematické modelování vodovodních sítí, SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Hostivice: Facom, roč 8, č. 6. s. 8-10. ISSN 1210-3039., 1999.
- [20] Vyhláška č. 428/2001 Sb., „Zákony pro lidi,“ [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>. [Přístup získán 14 5 2023].
- [21] T. Kučera, „Poruchy vodovodních řadů,“ 29 5 2013. [Online]. Available: <https://www.vodovod.info/index.php/extra/tema/200-poruchy-vodovodnich-radu>. [Přístup získán 14 5 2023].

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Tlakové schéma při gravitačním zásobení spotřebiště z vodojemu .....	6
Obrázek 2. Orientace tlakových ztrát v jednotlivých úsecích okruhu vodovodní sítě .....	9
Obrázek 3. Uživatelské rozhraní EPANET 2.2 .....	12
Obrázek 4. Poloha obcí .....	14
Obrázek 5. Vzájemná poloha obcí .....	14
Obrázek 6. Základní mapa obce Ústí .....	15
Obrázek 7. Pohled do ulice v obci Ústí .....	16
Obrázek 8. Výškový pohled na obec Ústí .....	16
Obrázek 10. Základní mapa obce Skalička .....	17
Obrázek 11. Pohled do ulice v obci Skalička .....	17
Obrázek 12. Výškový pohled na obec Skalička .....	18
Obrázek 13. Základní mapa osady Kamenec .....	18
Obrázek 14. Pohled do ulice v osadě Kamenec .....	19
Obrázek 15. Mapa stávajícího vodovodu .....	21
Obrázek 16. Pohled na věžový vodojem .....	22
Obrázek 17. Schéma vodojemu Ústí .....	22
Obrázek 18. Schéma rozvodné sítě vodovodu v obcích .....	23
Obrázek 19. Mapa osazení tlakových čidel .....	29
Obrázek 20. Odkalování hydrantu Kamenec .....	30
Obrázek 21. Odkalování hydrantu Ústí .....	30
Obrázek 22. Osazení měřícího zařízení do hydrantu .....	31
Obrázek 23. Nadmořská výška sítě a hydraulická drsnost potrubí .....	35
Obrázek 24. Minimální hydrodynamické tlaky v modelu – výstup z EPANET 2.2 .....	38
Obrázek 25. Detail 1 minimálního hydrodynamického tlaku v obci Ústí .....	39
Obrázek 26. Detail 2 minimálního hydrodynamického tlaku v obci Skalička .....	39
Obrázek 27. Minimální hydrodynamické tlaky v síti a nejvyšší dosažené rychlosti .....	40
Obrázek 28. Překročení hydrostatických tlaků v obcích – výstup z EPANET 2.2 .....	41
Obrázek 29. Detail 1 překročení hydrostatických tlaků v obci Ústí .....	41
Obrázek 30. Detail 2 překročení hydrostatických tlaků v obci Skalička .....	42
Obrázek 31. Hydrostatické tlaky ve vodovodní síti .....	42
Obrázek 32. Porucha potrubí .....	43
Obrázek 33. Hydrodynamické tlaky v síti .....	44
Obrázek 34. Minimální hydrodynamický tlak v síti – navržené řešení .....	45
Obrázek 35. Detail minimálního hydrodynamického tlaku v síti – navržené řešení .....	45
Obrázek 36. Maximální hydrostatické tlaky v síti – navržené .....	46
Obrázek 37. Detail maximálního hydrostatického tlaku v síti – navržené řešení .....	46

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Klasifikace parametrů modelu [6] .....	8
Tabulka 2. Dimenze a materiál v síti .....	20
Tabulka 3. Rozdělená spotřeba vody .....	27
Tabulka 4. Výsledky spotřeby vody za období od 1. 6. do 31. 8. 2022.....	27
Tabulka 5. Podrobnosti uložení přístrojů.....	29
Tabulka 6. Přehled použitých maximálních hydrostatických tlaků .....	33
Tabulka 7. Popis materiálu .....	34
Tabulka 8. Součinitel průtoku Q .....	36
Tabulka 9. Výsledek verifikace modelu .....	37

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Přehled materiálů dle délky potrubí .....	20
Graf 2. Průběh spotřeby vody v pracovních dnech – Ústí .....	24
Graf 3. Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu – Ústí.....	25
Graf 4. Průběh spotřeby vody v pracovních dnech – Skalička.....	25
Graf 5. Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu – Skalička.....	26
Graf 6. Průběh spotřeby vody ve všech dnech.....	27
Graf 7. Záznam z měření Seba 205 - celé období .....	31
Graf 8. Záznam měření Seba 183 - celé období .....	32
Graf 9. Záznam z měření CDL přístrojů – pracovní den .....	32
Graf 10. Záznam z měření CDL přístrojů – den pracovního klidu.....	32
Graf 11. Záznam měření CLD přístrojů ve dnech .....	33
Graf 12. Kalibrace modelu.....	37

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$Q$  . . . průtok potrubím [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$S$  . . . plocha průtočného profilu [ $\text{m}^2$ ]

$v$  . . . střední rychlost v profilu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$h_1, h_2$  . . . polohové výšky [m]

$P$  . . . tlak [Pa]

$\rho$  . . . hustota kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$g$  . . . tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$h_z$  . . . ztrátová výška [m]

$z_t$  . . . ztráty třením [m]

$z_m$  . . . ztráty místní [m]

$\lambda$  . . . součinitel tření

$L$  . . . délka úseku [m]

$d$  . . . vnitřní průměr potrubí [m]

$k$  . . . absolutní drsnost potrubí [m]

$Re$  . . . Reynoldsovo číslo

$\nu$  . . . kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$l$  . . . délka potrubí [m]

$\xi$  . . . součinitel místní ztráty

$C_1$  . . . redukční součinitel

$S_r$  . . . celková redukovaná délka

$q_r$  . . . specifická potřeba dopravované vody

$Q_i$  . . . výsledný odběr dopravované vody

$C_1$  . . . počet zásobovaných obyvatel, bytových jednotek, plocha zástavby

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

$K$  . . . odporový součinitel příslušného úseku

DDM . . . model řízený odběrem

DN . . . průměr potrubí

VDJ . . . vodojem

Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí  
Bakalářská práce

Jakub Kuchař

VaK . . . vodovody a kanalizace

$Q_p$  . . . průměrný denní průtok

$Q_m$  . . . maximální denní průtok

$Q_h$  . . . maximální hodinový průtok

$Q_{min}$  . . . minimální hodinový průtok

Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí  
Bakalářská práce

Jakub Kuchař

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1. Přehledná situace

## SUMMARY

Bakalářská deals with the creation of a hydraulic model of the water supply network in the municipalities of Ústí, Skalička and Kamenec. The aim of the work is to assess the pressure conditions of the water supply network and in the consumer. The hydraulic analysis serves as a basis for the proper operation of the water supply network, and thanks to the information that the operator obtains from the analysis just mentioned, he can prevent problems on the network.

The first chapter describes the theory of mathematical modeling and the basic relationships for calculation in pressure pipe systems. The primary conditions for the creation of the model, which must be met, are characterized here. This chapter continues with software programs that can be used to create a model. The greatest attention is paid here to the EPANET 2.2 program, which is also used as the main program for model processing.

The second chapter is focused on the description of the municipal water supply network. The first part describes the entire area of interest and the distribution of the character of the development of all three areas. A detailed description is devoted to water supply in this chapter. Among the essential character traits of the municipalities is the division of the supply areas into two parts, namely Ústí and Skalička with the adjacent settlement of Kamenec. The entire water supply system in the area is supplied from the Záhoří joint water supply system. Information on water consumption was supplied by the water supply operator VaK Přerov, and then an analysis of water consumption was carried out from the provided five-minute data for the years 2021 and 2022. The construction of a quasi-dynamic hydraulic model is based on this data. In the period from Friday 25/11/2022 to Wednesday 30/11/2022, measurements were made directly on the network. Five measuring devices were installed, namely two in the village of Ústí, two in the village of Skalička and the last one in the settlement of Kamenec. Measuring devices recorded pressure values on the network, and the measured data served for model calibration and verification.

After creating the hydraulic model, the pressure conditions on the water supply network of the municipalities of Ústí, Skalička and Kamenec were assessed. From the assessment of pressures on the network, it was found that the entire water supply network meets the assessed lowest values (0.15 MPa). However, the highest operating pressures that occur on the network in some places significantly exceed the maximum hydrostatic pressure value set by Decree 428/2001 Coll. In the assessed area of Ústí, more than half of the nodes exceeded the pressure value (0.6 MPa), due to the lower altitude in the areas. In the assessed area of Skalička, only 3 knots exceeded the maximum permitted value, by an average of 3 meters of water column. These exceedances, especially in the Ústí area, can cause malfunctions in the system.

In the last chapter, measures were proposed to reduce pressures in the network. On the basis of the high pressures, it was proposed to place a reduction valve in the water network in the direction from the reservoir to the first consumer area of Ústí. The goal of the reducing valve is to reduce the pressure level in the network by 11.5 meters of water

Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ústí  
Bakalářská práce

Jakub Kuchař

column. Thanks to this measure, the entire water supply network will be within the limits of Decree 428/2001 Coll. and will also accommodate the possible expansion of the village in future years.

In the future, this hydraulic model can serve as a basis for the expansion of the municipality, the operation of the municipality or the compilation of a flushing plan for the water supply network in the municipalities.

A copy of the bachelor's thesis will be submitted to municipalities and the water supply operator VaK Přerov, a. s.