



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 POLIČNÁ

ASSESSMENT OF PRESSURE CONDITIONS IN THE WATER SUPPLY NETWORK
OF THE VILLAGE POLIČNÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

René Zuzanařák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2022



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	René Zuzaňák
Název	Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Poličná
Vedoucí práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
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 Environmental 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

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci bakalářské práce bude vytvořen podrobný kvazidynamický hydraulický model celé vodovodní sítě obce Poličná, okr. Vsetín, 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 spotřebiště.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje hydraulické analýze vodovodní sítě obce Poličná, okres Vsetín. Úvodní část práce je věnována teorii využití matematického modelování vodovodní sítě. Pro zjištění tlakových poměrů vodovodní sítě byl vytvořen kvazi-dynamický hydraulický model celé vodovodní sítě a následně byl kalibrován a verifikován na základě měření tlakových poměrů na vodovodní síti. Charakteristické provozní stavy vodovodní sítě se promítly v simulačním modelu programu EPANET 2.2. S ohledem na stávající rozsah a typ zástavby daný platným územním plánem obce Poličná byly s využitím výsledků hydraulické analýzy posouzeny tlakové poměry na vodovodní síti obce Poličná. Součástí práce jsou navržená opatření napomáhající optimalizaci tlakových poměrů pro výhledový rozsah zástavby.

KLÍČOVÁ SLOVA

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

ABSTRACT

The bachelor thesis is devoted to the hydraulic analysis of the water supply network in the municipality of Poličná, Vsetín district. The introductory part of the thesis is devoted to the theory of mathematical modelling of the water supply network. A quasi-dynamic hydraulic model of the entire water supply network was created to determine the pressure conditions of the water supply network and then calibrated and verified based on the pressure measurements on the water supply network. The characteristic operating conditions of the water supply network were reflected in the simulation model of EPANET 2.2. Following the existing scale and type of development given by the current zoning plan of the municipality of Poličná, the pressure conditions on the water supply network of the municipality of Poličná were assessed using the results of the hydraulic analysis. The thesis includes proposed measures to optimize the pressure conditions for the prospective scale of development.

KEYWORDS

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

René Zuzaňák *Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Poličná*. Brno, 2022. 53 s., 3 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce 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 Poličná* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2022

René Zuzáňák
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 27. 5. 2022

René Zuzáňák
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za ochotu a užitečné rady během konzultací. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu.

OBSAH

ÚVOD	3
1 HYDRAULICKÉ SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍ SÍŤ	4
1.1 Tlakový průtok potrubím při ustáleném režimu	4
1.1.1 Průtoková rovnice	4
1.1.2 Rovnice kontinuity	4
1.1.3 Bernoulliho rovnice	5
1.1.4 Tlakové ztráty	5
1.1.5 Tlakové schéma při gravitačním zásobování spotřebiště z vodojemu	7
1.1.6 Dimenzování vodovodních řadů	7
1.2 Matematické modelování vodovodních sítí	8
1.2.1 Typy hydraulické analýzy	8
1.2.2 Zadávání odběrů	8
1.2.3 Podmínky hydraulické analýzy	9
1.3 Software pro modelování	11
1.3.1 EPANET 2.2	11
1.3.2 MIKE URBAN	12
2 ŘEŠENÁ LOKALITA - VODOVODNÍ SÍŤ OBCE POLIČNÁ	13
2.1 Popis Zájmového území	13
2.2 Charakter zástavby	14
2.3 Vodovod obce Poličná	15
2.3.1 Zdroj vody	15
2.3.2 Popis zásobovacího systému obce	15
2.3.3 Vodojem Poličná	17
2.3.4 Automatické tlakové stanice	18
2.3.5 Měření průtoku a tlaků ve vodovodní síti	20
2.3.6 Provozovatel vodovodu	21
2.3.7 Analýza spotřeby vody	21
2.4 Jakost vody ve spotřebišti	25
2.5 Terénní průzkum	26
2.6 Měrná kampaň na vodovodní síti	26
2.6.1 Osazení tlakových čidel	27
2.6.2 Vyhodnocení měrné kampaně	29
2.7 Stavba hydraulického modelu	31
2.7.1 Topologie a výškopis sítě	32
2.7.2 Uzlové odběry	33
2.7.3 Kalibrace modelu	34
2.7.4 Verifikace modelu	36
2.8 Posouzení stávajících tlakových poměrů ve vodovodní síti Poličná Výsledky hydraulické analýzy ..	38
2.8.1 Minimální hydrodynamické tlaky	38
2.8.2 Hydrostatické tlaky	39

2.9	Posouzení tlakových poměrů s ohledem na výhledový stav zástavby.....	41
2.9.1	Návrh řešení pro optimalizaci tlakových poměrů ve vodovodní síti.....	42
2.9.2	Minimální hydrodynamický tlak – navržené řešení.....	43
2.9.3	Hydrostatický tlak.....	43
3	ZÁVĚR.....	44
4	POUŽITÁ LITERATURA.....	45
	SEZNAM TABULEK.....	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	48
	SEZNAM GRAFŮ.....	49
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	50
	SEZNAM PŘÍLOH.....	52
	SUMMARY.....	53

ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje hydraulické analýze reálné vodovodní sítě v obci Poličná. Na základě územního plánu je v obci plánována nová výstavba rodinných domů. Cílem bylo vytvořit kvazi-dynamický hydraulický model vodovodní sítě obce Poličná. Tento model byl následně kalibrován a verifikován na základě hodnot získaných z provedené měrné kampaně. Pro tvorbu modelu byly použity softwary EPANET 2.2 a MIKE URBAN. Výsledkem práce je posouzení stávajících tlakových poměrů ve vodovodní síti a návrh řešení pro výhledový stav.

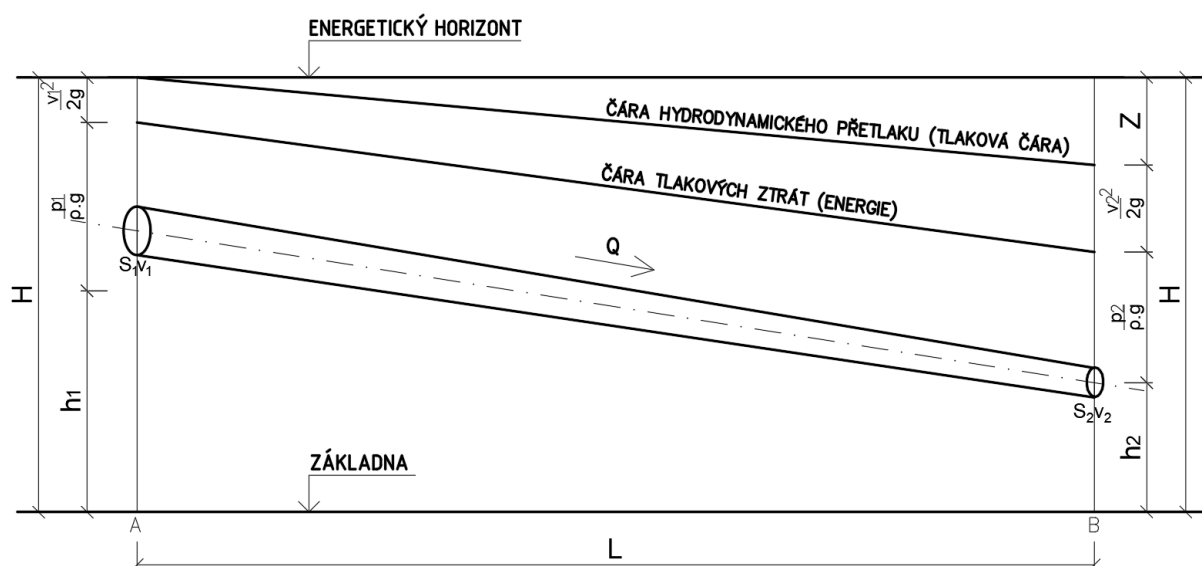
Matematické modelování se v dnešní době objevuje v oborech přírodních, ekonomických, technických, ale i v oboru sociálních věd a mnoha dalších. Dá se říct, že modelování je zjednodušeným zobrazením reálného světa. Přesnost výsledného modelu závisí na míře zjednodušení. K velkému rozvoji matematického modelování pomohlo rozvíjení výpočetní techniky. Neustále jsou vyvíjeny nové metody a postupy modelování se snahou docílit co nejpřesnějších výsledků. [1]

V současné době se využívá matematického modelování v oboru vodního hospodářství k návrhu nové vodovodní sítě, sledování kvality pitné vody, k rekonstrukci a rozšiřování stávajících rozvodů a také k jejich provozování. Měření na vodovodní síti se dají zjistit reálná data, ale k získání dat pro celou vodovodní síť, by bylo potřeba osadit velké množství měřících zařízení. To je ekonomicky a hlavně časově velmi náročné. Hydraulické modely ukazují méně přesné informace, ale poskytují informace o celé síti. Na základě porovnání výstupů a naměřených hodnot na síti lze docílit co nejpřesnějších výsledků.

1 HYDRAULICKÉ SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍ SÍTĚ

1.1 TLAKOVÝ PRŮTOK POTRUBÍM PŘI USTÁLENÉM REŽIMU

Průtok vody ve vodovodních sítích je tlakový. Při navrhování a posuzování dimenzí potrubí a vyšetřování tlakových poměrů v rozvodných sítích se vychází z předpokladu ustáleného průtokového režimu. Při proudění kapaliny v potrubí vznikají tlakové ztráty, které mají původ ve tření kapaliny o stěny potrubí a v tzv. místních odporech. V hydraulice se k vyjádření tlakových poměrů využívá grafické zobrazení tlakové čáry, která udává hodnoty tlakové výšky a volné hladiny (Obr.1.1). [2]



Obr. 1. 1 Ustálené tlakové proudění mezi profily A-B

1.1.1 Průtoková rovnice

Vyjadřuje objem kapaliny, který proteče vodovodním potrubím za jednotku času.

$$Q = S v$$

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

S ... plocha průtočného profilu [m^2],

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

(1)

1.1.2 Rovnice kontinuity

Jinými slovy také rovnice spojitosti. Jedná se o zákon zachování hmotnosti. Vyjadřuje vztah mezi obsahem průřezu S a rychlostí v v proudění v jednom místě potrubí při ustáleném proudění.

$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{konst.}$$

kde Q ... průtok potrubím [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 S ... plocha průtočného profilu [m^2],
 v ... střední rychlost v profilu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]. (2)

1.1.3 Bernoulliho rovnice

Vyjadřuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny. Poukazuje na to, že pro všechny průřezy určitého proudového vlákna je součet polohové, tlakové a rychlostní výšky stálý.[3]

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_z$$

kde h_1, h_2 ... polohové výšky [m],
 P ... tlak [Pa],
 v ... střední rychlost v profilu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 ρ ... hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 g ... tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
 h_z ... ztrátová výška [m]. (3)

1.1.4 Tlakové ztráty

Při proudění kapaliny v potrubí vznikají tlakové ztráty. Tlakové ztráty jsou dány součtem ztrát třením a místních ztrát.[2]

$$z = z_t + z_m$$

kde z_t ... ztráty třením [m],
 z_m ... ztráty místní [m]. (4)

Ztráty třením z_t

Ztráty třením vznikají uvnitř potrubí při tření kapaliny o stěny potrubí. Jejich velikost závisí na použitém druhu materiálu potrubí (rozdílné drsnosti), délce potrubí, průměru potrubí a průtočné rychlosti. Ztráty třením jsou větší, čím je větší délka potrubí.[3]

$$z_t = \lambda \frac{L}{d} \frac{v_1^2}{2g}$$

kde λ ... součinitel tření,
 L ... délka úseku [m],

$$\begin{aligned}d & \dots \text{ vnitřní průměr potrubí [m],} \\v & \dots \text{ střední rychlost v profilu [m}^3\text{.s}^{-1}\text{],} \\g & \dots \text{ tíhové zrychlení [m.s}^{-2}\text{].}\end{aligned}\tag{5}$$

Součinitel tření λ pro vodovody se stanoví podle vzorce White – Colebrook.

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

kde k ... absolutní drsnost potrubí [m],
 Re ... Reynoldsovo číslo.

$$\tag{6}$$

Reynoldsovo číslo se vypočítá

$$Re = \frac{v d}{\nu}$$

kde ν ... kinematická viskozita [m².s⁻¹],

$$\tag{7}$$

Ztráty místní z_m

Místní ztráty mají praktický význam pouze u tvz. hydraulicky krátkých potrubí, jako jsou náhlé lomy, rozšíření nebo zúžení potrubí, sací potrubí čerpadel, násosky, shybky a jiné různé armatury, kde platí

$$\frac{l}{d} \leq 1000$$

kde l ... délka potrubí [m],
 d ... světlost potrubí [m].

$$\tag{8}$$

Místní ztráta se vypočte ze vztahu

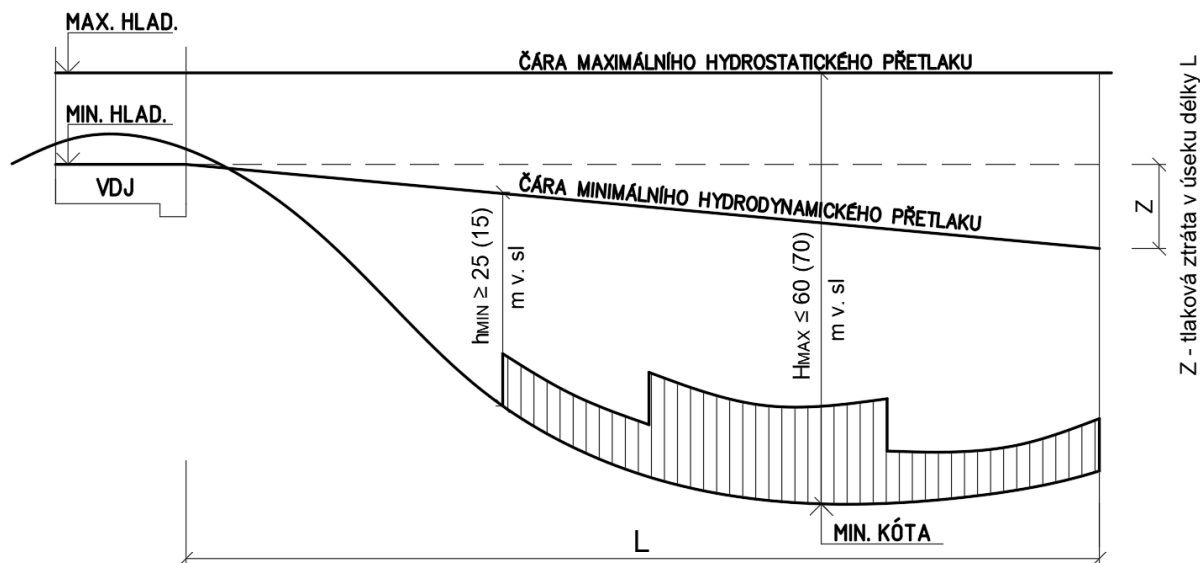
$$Z_t = \xi \frac{v^2}{2g}$$

kde ξ ... součinitel místní ztráty,
 v ... střední rychlost v profilu [m³.s⁻¹],
 g ... tíhové zrychlení [m.s⁻²].

$$\tag{9}$$

Součinitel místní ztráty ξ je závislý na druhu a rozměru odporu (najdeme v tabulkách).[2]

1.1.5 Tlakové schéma při gravitačním zásobování spotřebiště z vodojemu



Obr. 1. 2 Tlakové schéma při gravitačním zásobování z vodojemu

Gravitační zásobování musí splňovat základní požadavky normy na tlakové poměry ve spotřebišti:

- hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být v místě napojení každé vodovodní přípojky nejméně 0,25 MPa, při zástavbě do dvou nadzemních podlaží alespoň 0,15 MPa. U hydrantu pro odběr požární vody musí být zajištěn statický přetlak nejméně 0,2 MPa, při odběru nemá přetlak klesnout pod 0,05 MPa
- maximální hydrostatický přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nemá převyšovat hodnotu 0,6 MPa, v odůvodněných případech se může zvýšit na 0,7 MPa.[2]

1.1.6 Dimenzování vodovodních řadů

Při dimenzování vodovodních potrubí je potřeba stanovit průřezovou plochu (světlost) potrubí pro daný úsek vodovodního řadu. Vychází se ze stanoveného návrhového průtoku Q_m , zvoleného materiálu. Stanovené hodnoty rychlosti by neměly přesahovat následující hodnoty: [2] [18]

- | | |
|----------------------------|---|
| • sací potrubí do DN 300 | $v = 0,5 - 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| • sací potrubí nad DN 300 | $v = 0,5 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| • výtlačné řady do DN 250 | $v = 0,5 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| • výtlačné řady nad DN 250 | $v = 0,8 - 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| • gravitační zásobní řady | $v = 1,0 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| • rozvodná síť | $v = 0,8 - 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |

1.2 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍCH SÍTÍ

Matematické modelování vodovodních sítí slouží k získání potřebných informací o tlakových a průtokových poměrech v síti zejména pro potřeby provozování a řízení stávajících distribučních systémů, projektování nových trubních sítí a také pro rekonstrukci systémů stávajících. Měření přímo na vodovodní síti umožňuje získat cenné informace o tlakových a průtokových poměrech v síti, ale pro získání údajů pro celou síť je to ekonomicky a časově velmi obtížné. Vhodnější variantou k získání potřebných informací o tlakových a průtokových poměrech v síti je matematický model v kombinaci s měřením na posuzované síti v daných bodech. Údaje získané měřením na vodovodní síti lze použít ke kalibraci a verifikaci modelu. [4]

1.2.1 Typy hydraulické analýzy

Statická analýza

Při statické analýze se hydraulické parametry posuzují pro jeden konkrétní zatěžovací stav, kterému jsou stanoveny odběry na síti pro daný časový úsek. [4]

Kvazi – dynamická analýza

Jedná se o analýzu, kde je několik po sobě jdoucích statických analýz, při kterých dochází ke změně zatěžovacích stavů. V každém časovém kroku dochází ke změně odběrů na síti nebo změny hladiny ve vodojemu. Průběh analýzy probíhá v delších časových intervalech (dny, týdny). [4]

Dynamická analýza

Dynamická analýza je charakteristická tím, že během velmi krátkého časového kroku (sekundy), dokáže vyobrazit změny tlakových a průtokových poměrů. Nejčastějším využitím této hydraulické analýzy je pro zobrazení tlakových rázů. [4]

1.2.2 Zadávání odběrů

Zadávání jednotlivých odběrů u velkých městských sítí by bylo časově velmi náročné. Při tvorbě modelu se jako uzlové odběry zadávají pouze významné odběry (např. velké občanské zařízení, průmysl apod.). Pro rozdělení drobných odběrů jako jsou například rodinné domy se udávají do krajních uzlů. Tyto odběry jsou zpravidla zadány celkovou potřebou spotřebiště. V rámci rozdělení celkové spotřeby vody do jednotlivých úseků se nejčastěji používají metoda redukovaných délek a metoda dvou součinitelů. [4]

Metoda redukovaných délek

Při použití této metody se každému úseku přiřadí na základě hustoty a výšky zástavby redukční součinitel C_1 a pro každý úsek vypočteme tzv. redukovanou délku L_r . [4]

$$L_r = C_1 L$$

kde L ... skutečná délka úseku [m]. (9)

Poté stanovíme celkovou redukovanou délku posuzované sítě S_r

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{ir} \quad (10)$$

Pro každý úsek stanovíme specifickou potřebu dopravované vody q_r .

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (11)$$

Nakonec se vypočte výsledný odběr i -tého úseku Q_i .

$$Q_i = q_r L_{ir} \quad (12)$$

Metoda dvou součinitelů

Metoda dvou součinitelů se používá v případě, kdy jsou k dispozici podrobné podklady řešené oblasti o odběrech. U každého odběrného místa lze přiřadit např. počet zásobovaných jednotek, počet obyvatel a plochy zástavby. V této metodě pak přiřadíme každému úseku součinitele C_1 a C_2 a stanovíme P_i . [4]

$$P_i = C_1 C_2 \quad (13)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i \quad (14)$$

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

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

Poté se vypočte specifická potřeba stejně jako u rovnice 11 a výsledný odběr daného úseku Q_i .

$$Q_i = q_r P_i \quad (15)$$

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

1.2.3 Podmínky hydraulické analýzy

Tvorba hydraulických analýz okruhových tlakových sítí je založena na třech základních podmínkách, mezi které patří podmínka uzlová, okruhová a hydraulická. [4]

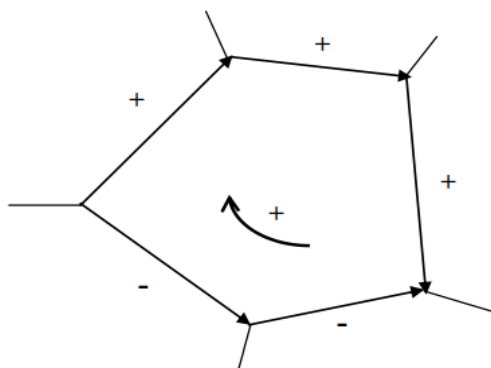
Uzlová podmínka

Uzlová podmínka vyjadřuje zákon zachování hmoty. V matematickém modelování vodovodní sítě platí, že součet všech přítoků do každého uzlu sítě se musí rovnat součtu odběrů z uzlu. [4]

$$\sum Q = 0 \quad (16)$$

Okružová podmínka

Tato podmínka vyjadřuje zákon zachování energie, a říká že součet tlakových ztrát přes všechny úseky tvořící nezávislý okruh při zvolené okružové orientaci je roven nule. Při tvorbě okružové podmínky volíme orientaci ve směru pohybu hodinových ručiček. Když je směr průtoku v daném úseku stejný jako zvolená orientace, tlaková ztráta je kladná. Je-li průtok ve směru proti orientaci podmínky, je tlaková ztráta záporná (Obr. 1.3). [4]



Obr. 1. 3 Orientace tlakových ztrát v jednotlivých úsecích k-tého okruhu

$$\sum h = 0 \quad (17)$$

Hydraulická podmínka

Neboli stavová rovnice, která udává vztah mezi tlakovou ztrátou h a průtokem Q v daném úseku.

Tuto podmínku lze matematicky vyjádřit pomocí Darcy – Weissbachovy rovnice. [4]

$$h = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

kde λ ... 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 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]. (18)

Darcy - Weissbachovu rovnici lze vyjádřit úpravou

$$h = K Q^2 \quad (19)$$

$$K = 0,020678 \lambda \frac{L}{d^5}$$

kde K ... odporový součinitel příslušného úseku. (20)

1.3 SOFTWARE PRO MODELOVÁNÍ

Pro matematické modelování v oboru vodního hospodářství byla vyvinuta celá řada softwarových produktů. Tyto programy umožňují simulaci proudění, šíření látek a určení stáří vody v gravitačních i tlakových pásmech. Mezi neznámější produkty patří EPANET 2.2, MIKE URBAN a MIKE NET. Matematické modely fungují na dvou základních principech. Jedním z nich je model řízený odběrem (Demand Driven Model – DDM) a druhý model řízený tlakem (Pressure Driven Model – PDM). Praktická část bakalářské práce je prováděna v softwarových programech EPANET 2.2 a MIKE URBAN.

Model řízený odběrem - DDM

Jako prvním krokem se v modelu DDM zadávají uzlové odběry. Tím se získají informace o celkovém požadovaném množství vody a průtoky v jednotlivých. Z těchto průtoků se v dalším kroku dopočítávají tlakové ztráty a následně i hydrodynamický přetlak pro každý uzel. V tomto je průběh průtoků přímo úměrný průběhu tlaku. Kontrolou správnosti výpočtu jsou v tomto modelu hodnoty tlaků v uzlech. Při chybném zadání vstupních hodnot a nastavení modelu mohou být tlaky v uzlech záporné, což reálně není možné. Na tomto typu modelu je založen program EPANET 2.2. [5]

Model řízený tlakem – PDM

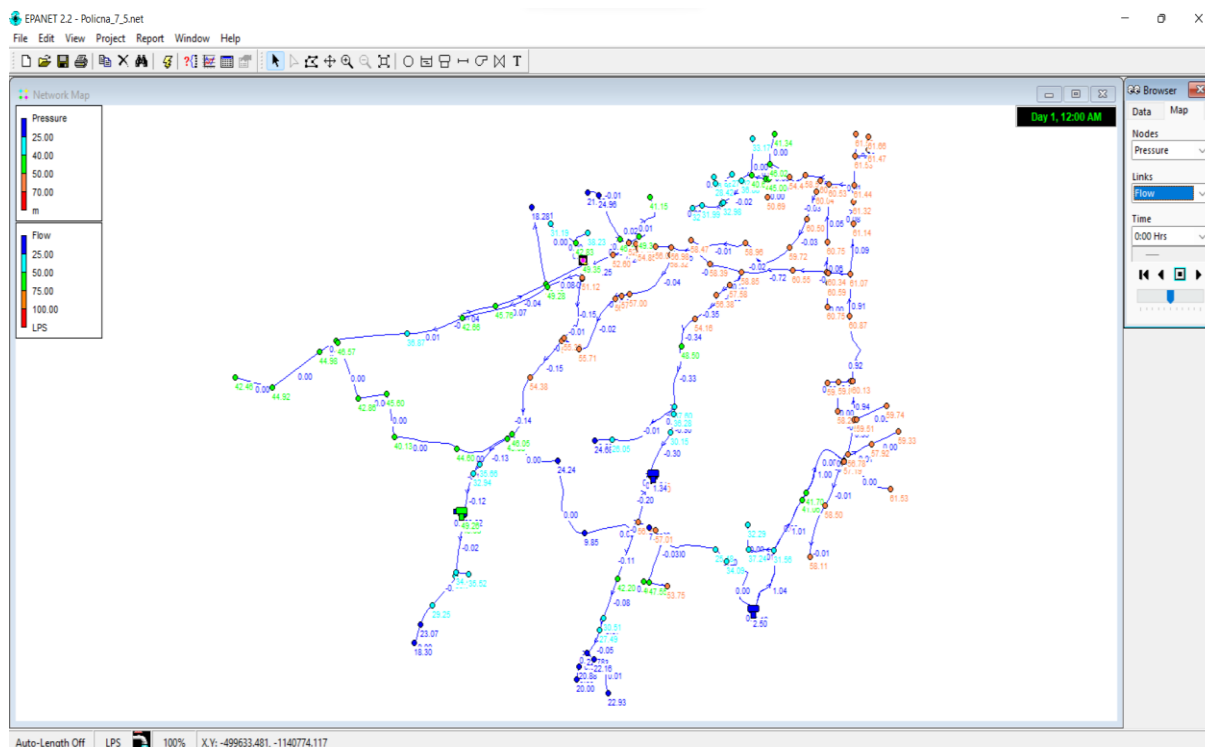
Modely typu PDM jsou postaveny na opačném principu jak modely DDM. V tomto modelu se jako první zadávají hodnoty tlaků do jednotlivých uzlů na síti, z nich se poté odvodí průtoky a odběry v síti. V modelu PDM také platí pravidlo, že pokud klesne tlak pod zadané hodnoty, přímo úměrně klesne průtok v síti [5]

1.3.1 EPANET 2.2

EPANET 2.2 je softwarový produkt vyvinutý Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států Amerických (U. S. EPA). Tento program je volně stažitelný na stránkách výrobce (www.epa.gov). EPANET 2.2 provádí simulaci hydraulického chování za určitý časový úsek v tlakových potrubních sítích. Dokáže také vypočítat také koncentrace látek ve vodě a stáří vody. Využívá statickou analýzu, která zobrazuje konkrétní zatěžovací stav a kvazi-dynamickou hydraulickou analýzu, která sleduje časovou řadu po sobě jdoucích zatěžovacích stavů, nejčastěji po hodině.

Pracovní prostředí programu je jednoduché a přehledné, umožňuje pracovat v souřadném systému X, Y. Pro tvorbu modelu lze využít podložení modelu ve formátech BMP, EMF, WMF. Síť se skládá z úseků potrubí (pipe), uzlů (junction), čerpadel (pump), ventilů (valve), nádrží (reservoir) a vodojemů (tank). Program EPANET 2.2 sleduje průtok vody v každém potrubí, tlak v jednotlivých uzlech a výšky hladiny v nádržích. Při tvorbě modelu je nutné zkontrolovat volbu jednotek a volbu výpočtového vztahu, kde jsou na výběr vztahy dle Hazen – Williams, Darcy – Weisbach a Chezy – Manning.

Nevýhodou tohoto programu je, že nelze zadávat odběry pomocí metody redukovaných délek nebo metody dvou součinitelů. Odběry je potřeba vypočítat a zadat ručně, což u velkých modelů je velmi zdlouhavé. [6]



Obr. 1. 4 Pracovní prostředí programu EPANET 2.2

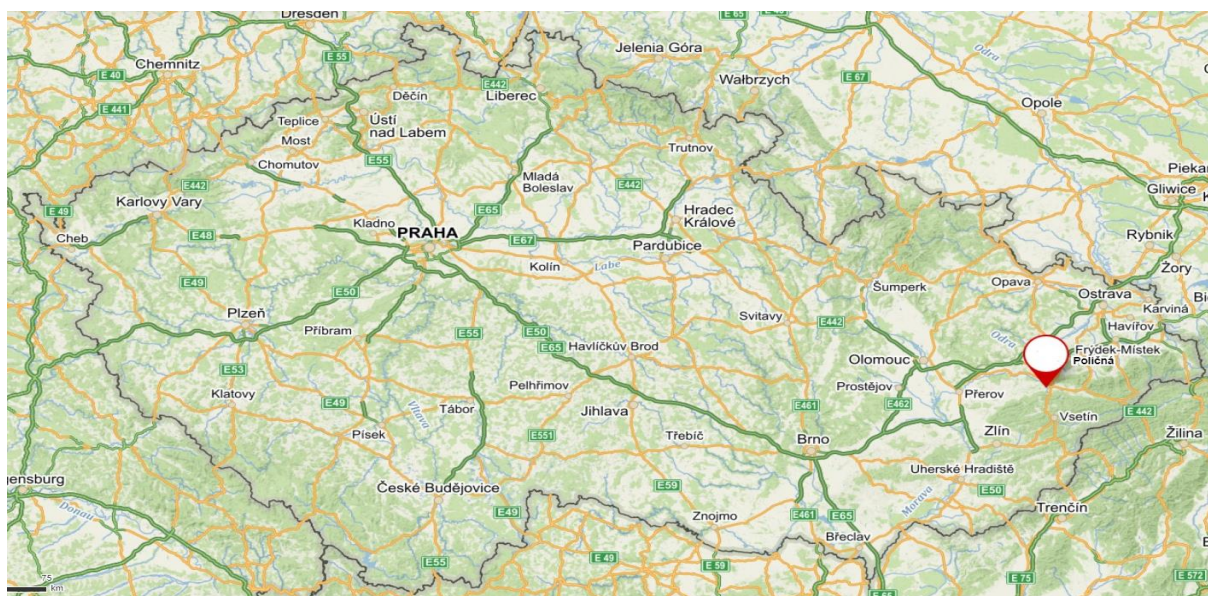
1.3.2 MIKE URBAN

Je software vytvořený společností DHI. Slouží k tvorbě hydraulických analýz vodovodních sítí, splaškové a dešťové kanalizace. MIKE URBAN je založen na principu a jádru programu EPANET. V programu MIKE URBAN lze simulovat statickou, dynamickou a kvazi-dynamickou hydraulickou analýzu. Velkou výhodou tohoto programu je schopnost importu souboru *.dxf, *.shp a *.inp a tím pádem možnost propojení se softwary AutoCAD, QGIS, ArcGIS, EPANET a další. Velkou výhodou MIKE URBANU je schopnost zadávání odběrů metodou redukovaných délek a metodou dvou součinitelů. [7]

2 ŘEŠENÁ LOKALITA - VODOVODNÍ SÍŤ OBCE POLIČNÁ

2.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obec Poličná leží ve východní oblasti České republiky, v severní části Zlínského kraje. Nachází se západně od města Valašské Meziříčí. Poloha obce je znázorněná na obrázku 1.5 a 1.6. Obec spadá do katastrálního území Poličná o celkové rozloze 11,06 km². Obcí protéká řeka Loučka, která se vlévá do řeky Vsetínská Bečva, jež se v těchto místech slévá s Rožnovskou Bečvou a zároveň odděluje obec od města Valašské Meziříčí. Průměrná nadmořská výška činí 293 m n. m. [8] Počet obyvatel k 1.1.2022 činil 1757 obyvatel. [9]



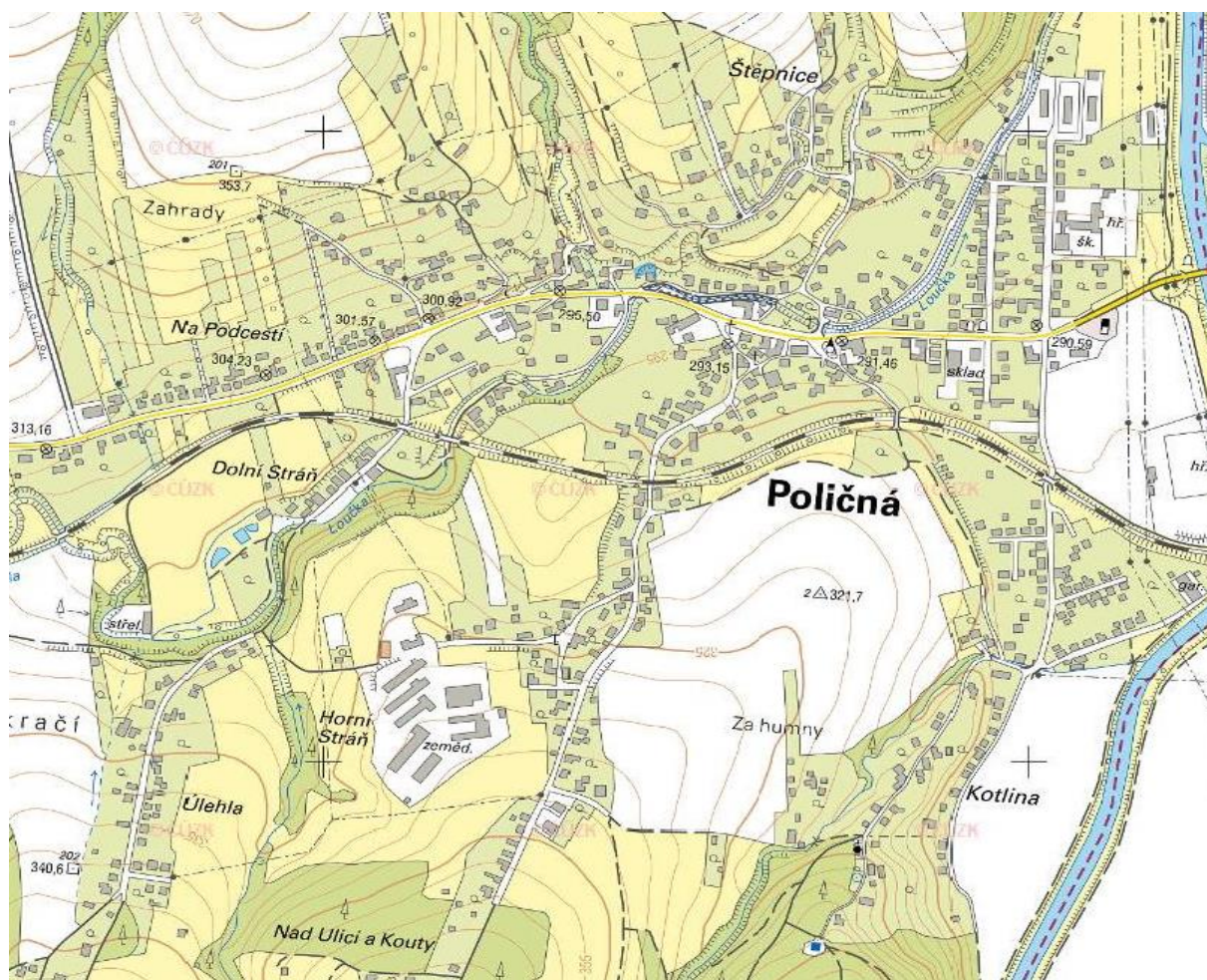
Obr. 1. 5 Poloha obce Poličná [10]



Obr. 1. 6 Poloha obce Poličná vzhledem k městu Valašské Meziříčí [10]

2.2 CHARAKTER ZÁSTAVBY

Obec Poličná má venkovský charakter zástavby s převažující zástavbou rodinných domů, kterých je v obci okolo 480. Rodinné domy mají obvykle jedno až dvě nadzemní podlaží. Dále je v obci 90 bytových jednotek. Obec protíná silnice II/150 z Valašského Meziříčí směr Bystřice pod Hostýnem, kolem které je zástavba více shromážděná. Obec se dělí na několik obecních částí, kde se zástavba nejvíce shromažďuje kolem cest. Nachází se zde základní škola a mateřská škola s celkovou kapacitou 256 žáků, včetně školní jídelny. V obci jsou dva obchody, veřejná knihovna, místní pohostinství s kulturním sálem, dvě pěstitelské pálenice, autoservis a pneuservis, čerpací stanice pohonných hmot, místní fotbalový oddíl a sbor dobrovolných hasičů. [11] [12]



Obr. 1. 7 Základní mapa obce Poličná [10]

2.3 VODOVOD OBCE POLIČNÁ

2.3.1 Zdroj vody

Obec Poličná nemá vlastní zdroj pitné vody. Zdrojem vody pro spotřebiště Poličná jsou VD Karolinka, prameniště Vsetín – Ohrada a úpravna vody Valašské Meziříčí. Z těchto zdrojů je voda přiváděná do vodojemu Štěpánov HTP 2 x 1500 m³ (391,00-386,30) v sousedním městě Valašské Meziříčí. Z vodojemu Štěpánov je voda přiváděná přívodním řádem OC DN 400 délky 1750 m a PVC DN 150 délky 1600 m do vodojemu Poličná 2 x 150 m³. Na přívodním řádu je 150 m za redukci z DN 400 na DN 150 situována redukční šachta. Na území obce Poličná je příváděcí řad PVC DN 150 veden souběžně se zásobovacím řádem z vodojemu. Na příváděcím řádu na území obce nejsou žádné armatury, jako jsou uzávěry, hydranty apod. [13][14]

2.3.2 Popis zásobovacího systému obce

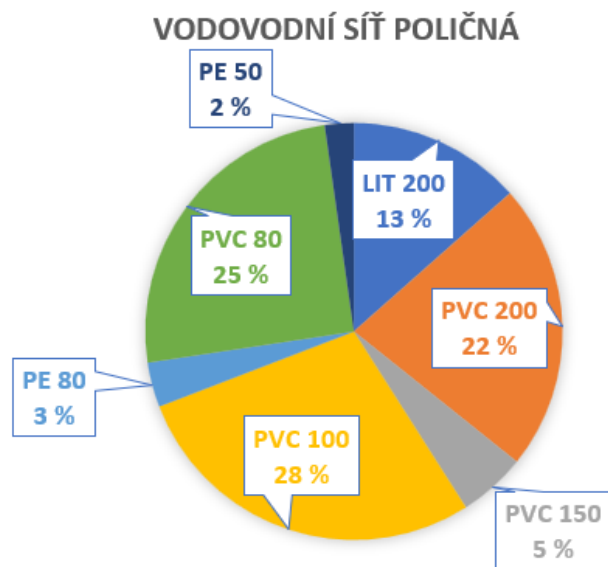
Spotřebiště obce Poličná je zásobováno vodou z jediného vodojemu Poličná, který se nachází na jižní kopci v obecní části Kotlina. Objem tohoto vodojemu je 300 m³ a kóty hladin jsou 348,8-345,5 m n. m. [13]

Vodovodní síť v obci je z větší části větvená a z části okružová a je rozdělena do třech tlakových pásem. Na vodovodní síti jsou umístěny dvě automatické tlakové stanice. ATS Poličná se nachází v samostatném nadzemním objektu v obecní části Úlehla na parcelním čísle 969. Navyšuje tlak v 2. tlakovém pásmu pro obecní část Paseky u Revíru. ATS Poličná – Úlehla, která se nachází v podzemním objektu na pozemku u rodinného domu čp. 548 navyšuje tlak ve 3. tlakovém pásmu v obecní části Zákračí. Ostatní části obce jsou zásobovány gravitačně z vodojemu (1. tlakové pásmo). Vodovodní síť byla budována v průběhu let z různých materiálů jako je litina, PVC a PE. Na vodovodní síti se nachází 77 podzemních hydrantů.

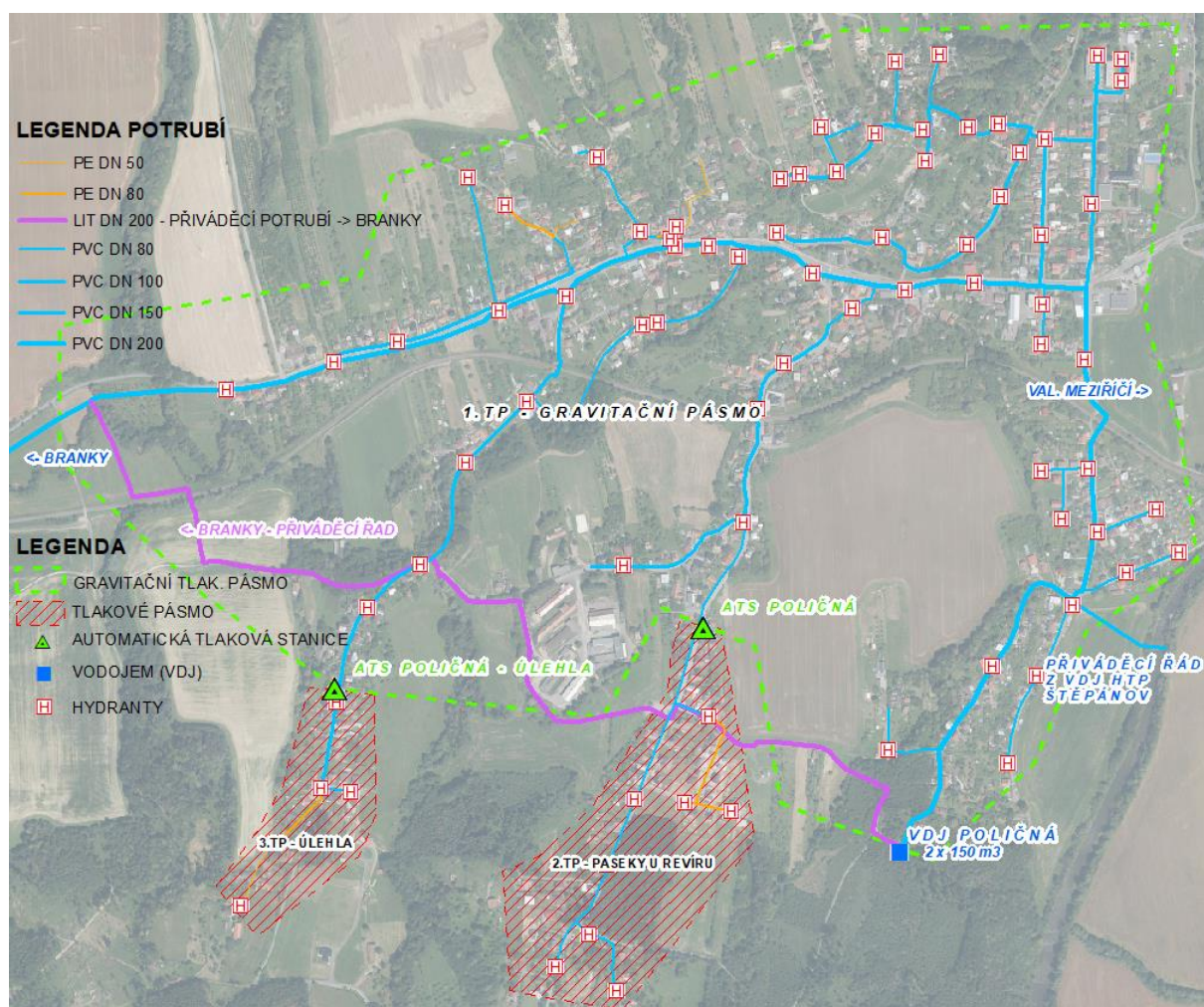
Přes území obce Poličná vede také z vodojemu Poličná příváděcí řad LT DN 200 resp. PVC DN 200 do sousedních obcí jako jsou Branky, Police, Loučka apod.

Materiál, Dimenze [mm]	Délka [m]	%
LIT 200	1997	13 %
PVC 200	3303	22 %
PVC 150	777	5 %
PVC 100	4177	28 %
PE 80	515	3 %
PVC 80	3730	25 %
PE 50	332	2 %
Celková délka	14831	100 %

Tab 1. 1 Délky jednotlivých dimenzí a materiálu na síti



Graf 1. 1 Přehled materiálu dle délky potrubí



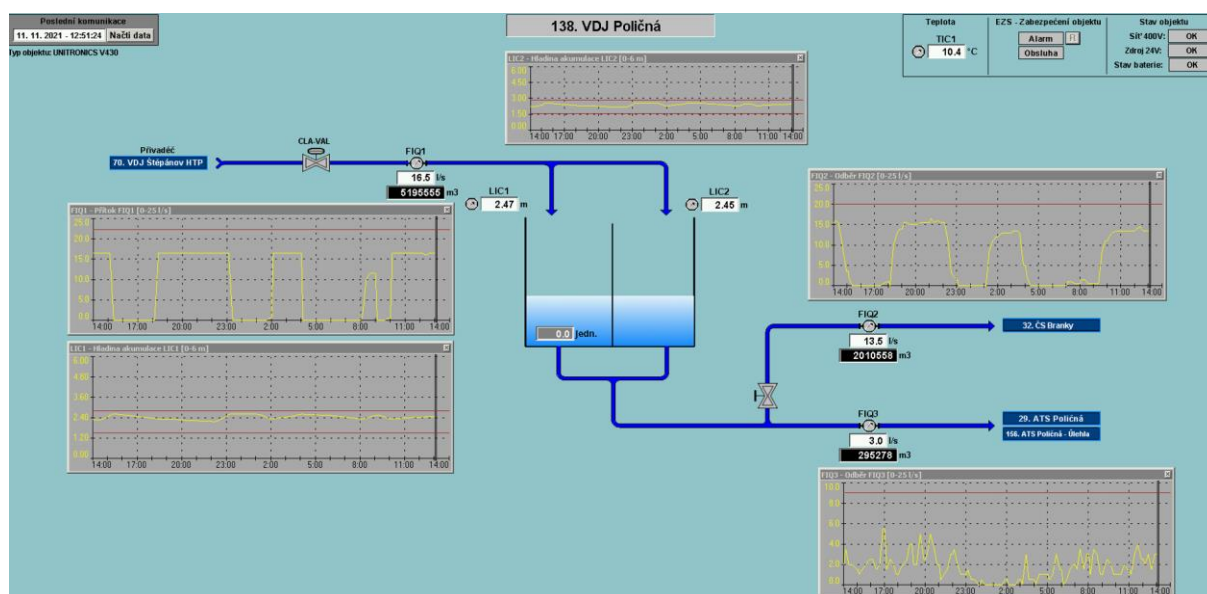
Obr. 1. 8 Schéma vodovodní sítě s objekty a hydranty

2.3.3 Vodojem Poličná

Vodojem se nachází na jižní kopci v obecní části Kotlina na parcele 845 ležící v k. ú. Poličná. Vodojem je napájen vodou z vodojemu Štěpánov HTP 2 x 1500 m³, který leží v sousedním městě Valašské Meziříčí. Ve vodojemu se nachází dvě akumulční nádrže. Každá z nádrží má objem 150 m³. Vstup do vodojemu je zajištěn ocelovými dveřmi, za nimi se nachází vstupní komora, kde jsou zabezpečovací a řídicí jednotky vodojemu a vstupy do jednotlivých akumulčních nádrží, které jsou opatřeny plastovými dveřmi. Ze vstupní komory je přístup po ocelovém žebříku dolů do armaturní komory, kde se nachází přívodní, odběrné, přelivné a odpadní potrubí. Kóta maximální hladiny je 348,80 m n. m. Vodojem Poličná gravitačně zásobuje spotřebiště Poličná potrubím PVC DN 200, které je předmětem této hydraulické analýzy. Dále je z vodojemu pomocí litinového potrubí DN 200 odebírána voda pro zásobování sousedních obcí Branky, Police, Loučka apod. Celý objekt je oplocen drátěným pletivem.



Obr. 1. 9 Čelní pohled na VDJ (vlevo) - Boční pohled na VDJ (vpravo)



Obr. 1. 10 Schéma vodojemu Poličná



Obr. 1. 11 Armaturní komora vodojemu

2.3.4 Automatické tlakové stanice

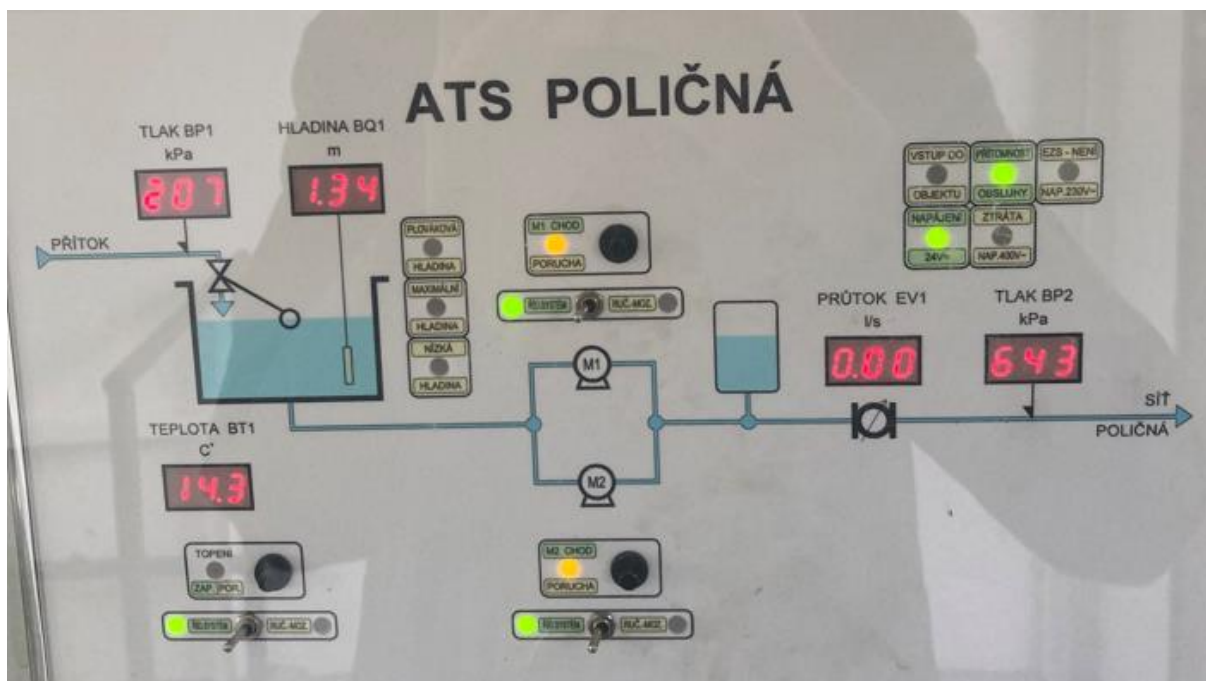
ATS Poličná

Automatická tlaková stanice Poličná se nachází v obecní části Úlehla na parcelním čísle 969 v k. u. Poličná. Tato ATS navyšuje tlakové poměry ve druhém tlakovém pásmu řešené vodovodní sítě. Jedná se o samostatný objekt, který je na vstupu zajištěn plastovými dveřmi, za nimi se nachází armaturní komora. V té jsou osazeny dvě horizontální čerpadla Grundfos-2-CR-15-4 s hydrovarem (řídící jednotka). Za čerpadly se nachází větrník. Čerpadla nasávají vodu z otevřené hladiny nádrže, která se nachází pod armaturní komorou.



Obr. 1. 12 Pohled z ulice na ATS Poličná (vlevo) -

Vystrojení ATS Poličná (vpravo)



Obr. 1. 13 Schéma ATS Poličná

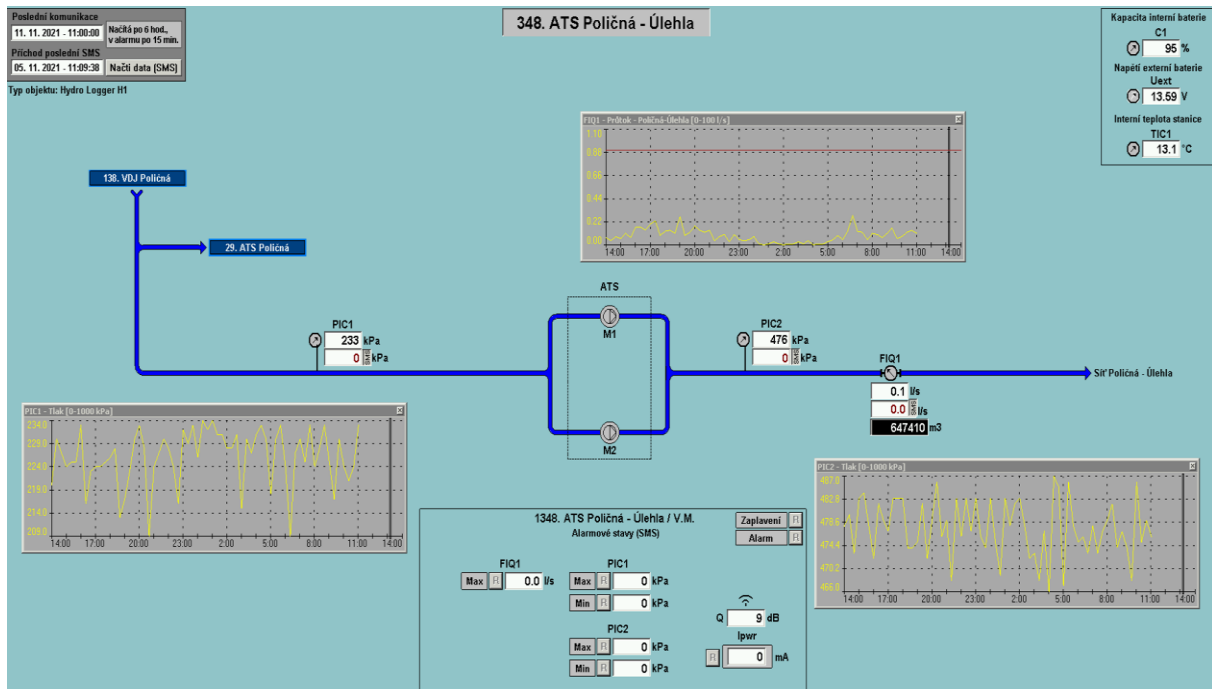
ATS Poličná – Úlehla

Automatická tlaková stanice Poličná – Úlehla se nachází na pozemku u rodinného domu čp. 548 navyšuje tlak ve 3. tlakovém pásmu v obecní části Zákračí. Jedná se o podzemní objekt, ve kterém se nachází dvě horizontální čerpadla Multinox VE 200/80 T s hydrovarem (řídící jednotka). Tato ATS se nachází přímo na síti, kde čerpadla sají vodu přímo z řady. Podlaha armaturní komory je vyspádována do žlábků, kde je svedena přebytečná voda a následně čerpadlem odvedena do kanalizace.



Obr. 1. 14 Pohled na ATS Poličná - Úlehla

(vlevo) - Čerpadla s hydrovarem (vpravo)



Obr. 1. 15 Schéma ATS Poličná – Úlehla

2.3.5 Měření průtoků a tlaků ve vodovodní síti

Měření průtoků a tlaků na vodovodní síti obce Poličná probíhá neustále na třech místech. Prvním místem, kde probíhá měření je armaturní komora vodojemu Poličná. Druhým místem je ATS Poličná. Poslední místem, kde probíhá měření je ATS Poličná – Úlehla.



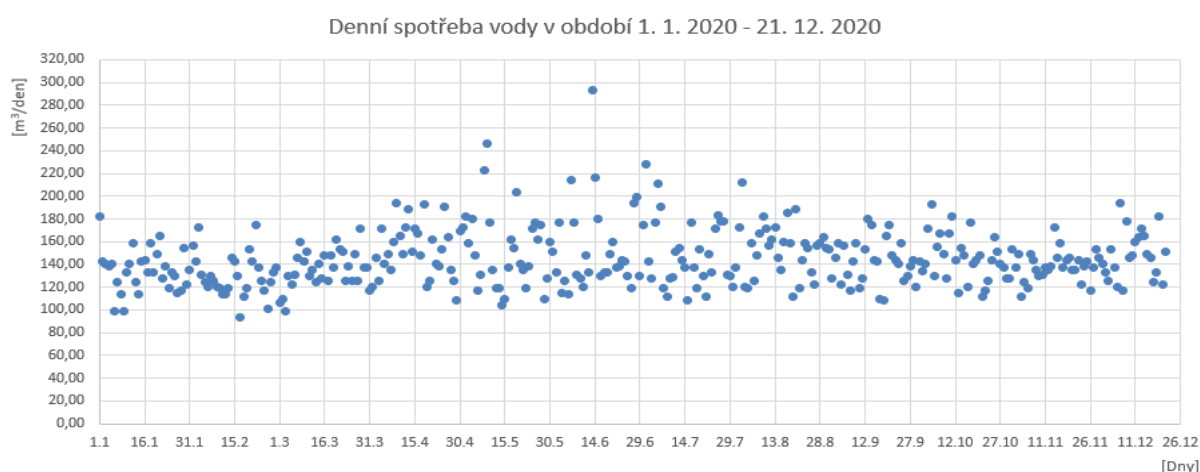
Obr. 1. 16 Měření průtoků v AK vodojemu (vlevo) - Měření průtoků v ATS Poličná – Úlehla (vpravo)

2.3.6 Provozovatel vodovodu

Majitelem a zároveň také provozovatelem vodovodní sítě obce Poličná je akciová společnost Vodovody a kanalizace Vsetín se sídlem Jasenická 1106, 755 01 Vsetín. [14]

2.3.7 Analýza spotřeby vody

Na odběrném potrubí v armaturní komoře vodojemu Poličná směrem do spotřebiště je osazen průtokoměr. Za provozu dochází k měření a následnému zaznamenávání průměrných hodinových průtoků v intervalu celého roku. Odečet a zaznamenávání naměřených hodnot je prováděno automaticky a data jsou dostupná dispečinku v systému. V analýze spotřeby vody ve spotřebišti obce Poličná jsou zpracovány průtoky za období 1. 1. 2020 - 21. 12. 2020. Data o průtocích byla poskytnuta provozovatelem VAK Vsetín.



Graf 1. 2 Denní spotřeba vody v období 1. 1. 2020 – 21.12. 2020

Tyto provozovatelem poskytnutá data jsou tzv. surová data. Jsou určeny k následnému zpracování. V této analýze byla surová data roztríděna podle toho, zda se jedná o pracovní nebo dny pracovního klidu (víkendy) a státní svátky. Dále z těchto dat, které byly v hodinovém intervalu byly vypočteny hodnoty:

Q_p – průměrný denní průtok

Q_m – maximální denní průtok

Q_h – maximální hodinový průtok

Q_{\min} – minimální hodinový průtok

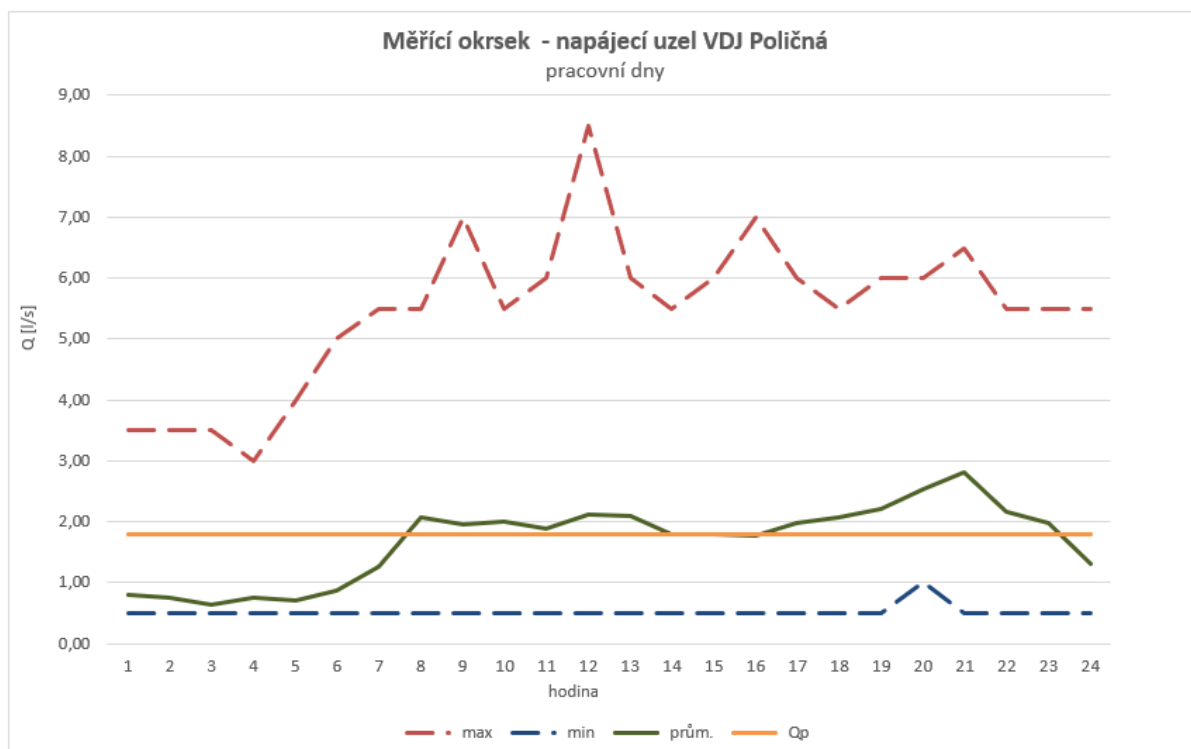
k_h – koeficient hodinové nerovnoměrnosti, který se určí ze vztahu

$$k_h = \frac{Q_h}{Q_d} \quad (21)$$

k_d – koeficient denní nerovnoměrnosti, který se určí ze vztahu

$$k_d = \frac{Q_d}{Q_p} \quad (22)$$

Spotřeba vody – pracovní dny



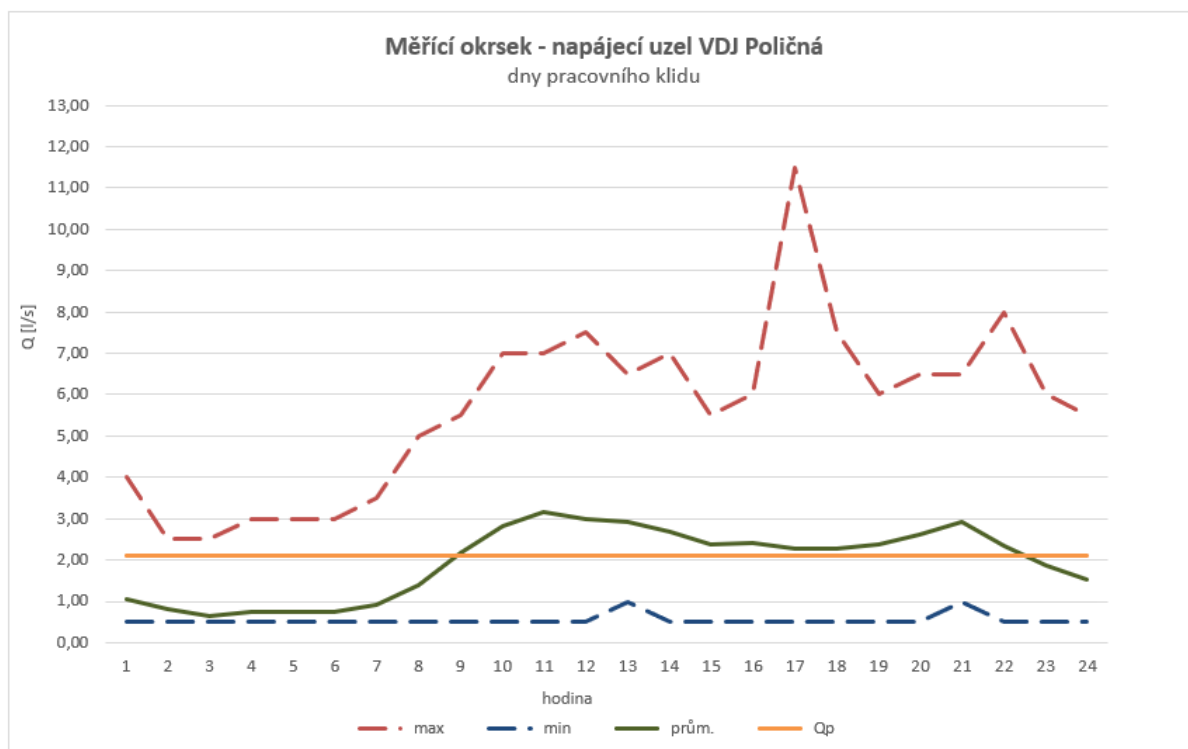
Graf 1. 3 Průběh spotřeby vody v pracovních dnech

Průtoky		
Q_p	1,80 l/s	228,6 m ³ /d
Q_m	2,65 l/s	
Q_h	8,50 l/s	
Q_{min}	0,50 l/s	
Koeficienty		
k_h	3,21	
k_d	1,47	

Tab 1. 2 Spotřeba vody v pracovních dnech

Graf průběhu spotřeby vody pro pracovní dny ukazuje typický průběh pro spotřebiště, kde je největším odběratelem obyvatelstvo. Nejnižší průtoky ve spotřebišti jsou mezi 3. až 5. hodinou. Ranní špička spotřeby vody je nejvyšší v 8 hodin, kdy se obyvatelstvo chystá do zaměstnání. Nejvyšší průměrná spotřeba vody je mezi 19. a 22. hodinou.

Spotřeba vody – dny pracovního klidu



Graf 1. 4 Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu

Průtoky

Q_p	2,11 l/s	293,4 m³/d
Q_m	3,40 l/s	
Q_h	11,50 l/s	
Q_{min}	0,50 l/s	

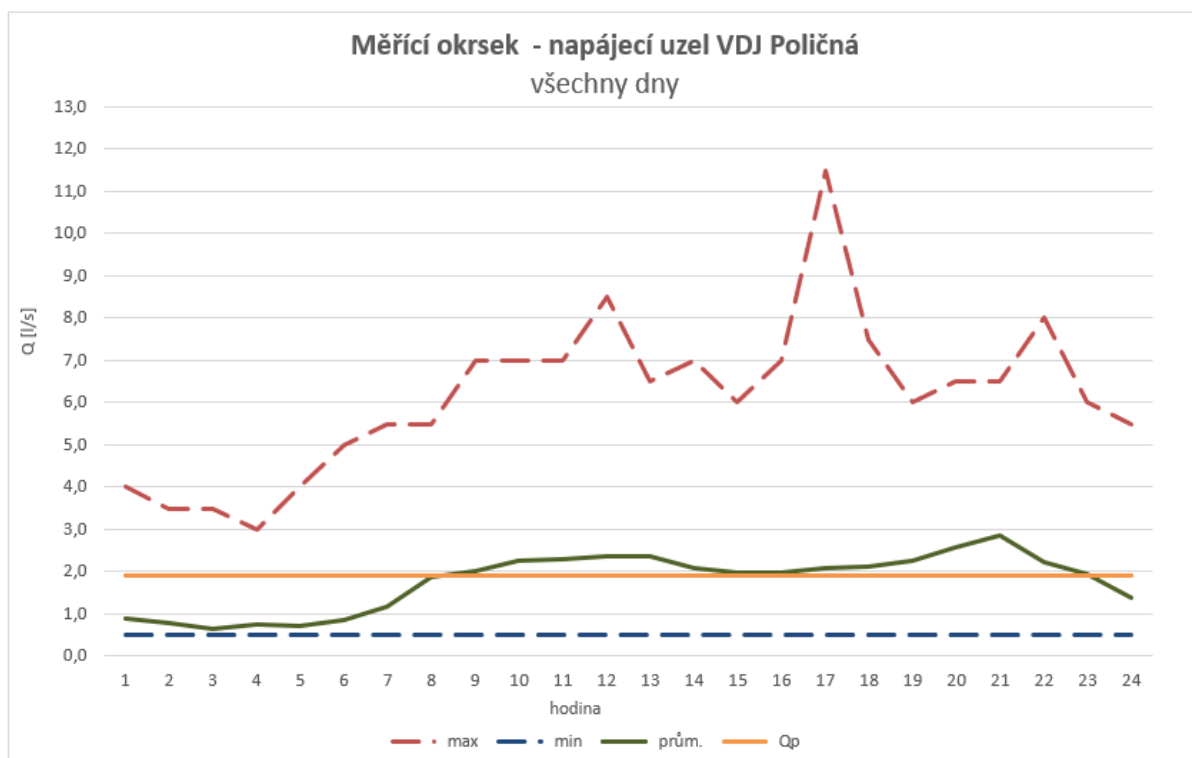
Koeficienty

k_h	3,39
k_d	1,61

Tab 1. 3 Spotřeba vody ve dnech pracovního klidu

Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu je oproti pracovním dnům odlišný. Ranní špička se posouvá na 10. a 11. hodinu, kdy je zároveň průměrně nejvyšší spotřeba vody. Poté následuje mírný pokles a druhá denní špička vrcholí 21. hodinou. Nejnižší spotřeba vody je v nočních hodinách mezi 3. až 5. hodinou.

Výsledky analýzy spotřeby vody



Graf 1. 5 Průběh spotřeby vody ve všech dnech

Měřicí okresek - napájecí uzel VDJ Poličná				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	1,80	2,11	1,895
Q_m	[l/s] [m ³ /d]	2,65	3,40	3,40
Q_h	[l/s]	8,50	11,50	11,50
Q_{min}	[l/s]	0,50	0,50	0,50
% Q_p	[%]	1,16	0,99	1,10
k_h	[-]	3,21	3,39	3,39
k_d	[-]	1,47	1,61	1,79

Tab 1. 4 Výsledky analýzy spotřeby vody za období 1. 1. 2020 – 21. 12. 2020

Graf 1.5 ukazuje celkovou spotřebu vody za všechny dny v období 1. 1. 2020 – 21. 12. 2020.

2.4 JAKOST VODY VE SPOTŘEBIŠTI

Jakost vody ve spotřebišti obce Poličná je monitorována pomocí krácených a úplných rozborů vody. Tyto rozborů vody se řídí Vyhláškou MZ č. 252/2004 Sb., která stanovuje v příloze č.1 – limitní hodnoty mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity v pitné vodě. Příloha č. 4 stanovuje Minimální roční četnost odběrů vzorků pitné vody. Obec Poličná spadá do kategorie, kde je roční počet vzorků kráceného rozboru 4 a počet úplných rozborů 2. V tabulce 1.5 jsou uvedeny hodnoty ukazatelů krácených rozborů, které proběhly na čerpací stanici na WC zaměstnanců v umyvadle. [15]

Místo odběru	Poličná 455, Čerpací stanice, WC zaměstnanci - umyvadlo				
Ukazatel	Datum odběru		Leden 2020	Prosinec 2020	Leden 2021
	Jednotka	Limit			
Escherichia coli	KTJ/100 ml	max. 0 NMH	0	0	0
koliformní bakterie	KTJ/100 ml	max. 0 MH	0	0	0
počty kolonií při 36 °C	KTJ/ml	max. 40 MH	1	1	0
počty kolonií při 22 °C	KTJ/ml	max. 200 MH	0	0	0
Clostridium perfringens	KTJ/100 m	max. 0 MH	0	0	0
abioseston	%	max. 10 MH	<1	<1	<1
počet organismů	jedinci/ml	max. 50 MH	4	0	0
živé organismy	jedinci/ml	max. 0 MH	0	0	0
chuť		příjemná	příjemná	příjemná	příjemná
pach		příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
teplota	°C		7,7	8,9	7,4
pH		6,5 - 9,5 MH	7,65	7,52	7,64
konduktivita	mS/m	max. 125 MH	33,8	22,6	31,2
barva	mg/l Pt	max. 20 MH	2,4	3,4	1
zákal	ZFn	max. 5,00 MH	0,61	1,17	0,52
chlor volný	mg/l	max. 0,30 MH	<0,03	<0,03	0,05
amonné ionty	mg/l	max. 0,50 MH	<0,13	<0,13	<0,13
dušičnany	mg/l	max. 50 NMH	6,6	2,6	3,5
dušitany	mg/l	max. 0,50 NMH	<0,005	<0,005	<0,005
CHSK-Mn	mg/l	max. 3,0 MH	0,58	0,8	0,42
vápník a hořčík (tvrdost)		2,0 - 3,5 DH	1,44	1,09	1,37
železo	mg/l	max. 0,20 MH	0,07	0,17	0,1
mangan	mg/l	max. 0,050 MH	0,011	0,014	0,006
hlínek	mg/l	max. 0,20 MH	<0,04	<0,04	<0,04

Tab 1. 5 Rozborů jakosti pitné vody

kde NMH... nejvyšší mezná hodnota,

MH ... mezná hodnota,

DH ... doporučená hodnota.

2.5 TERÉNNÍ PRŮZKUM

Na konci října roku 2021 proběhl terénní průzkum a seznámení se s oblastí obce Poličné. Byly pořízeny fotografie objektů z vnějšku. Podrobnější prohlídky jednotlivých objektů proběhly 8. dubna 2022. Nejdříve byl navštíven vodojem Poličná, poté ATS Poličná a jako poslední ATS Poličná – Úlehla. Tato prohlídka proběhla za přítomnosti vedoucího provozu vodovodů a úpraven vod Ing. Dušana Libosvára.

2.6 MĚRNÁ KAMPAŇ NA VODOVODNÍ SÍTI

Měrná kampaň probíhala od 25.3. 2022 do 1.4. 2022. Cílem této měrné kampaně bylo získat podrobná data o tlacích ve vodovodní síti Poličná. Tyto naměřená data slouží k verifikaci hydraulického modelu, to znamená ověření správnosti dat v modelu. K měření byla použita 2 tlaková čidla Sebalog P-3, které automaticky zaznamenávají tlaky ve vodovodní síti.

Naměřená tlaky jsou v jednotkách bar a model používá jednotky m v. sl., bylo nutné tyto jednotky sjednotit. Např.: 1 bar = 0,1 MPa = 10,19 m v. sl.

Měřicí technika

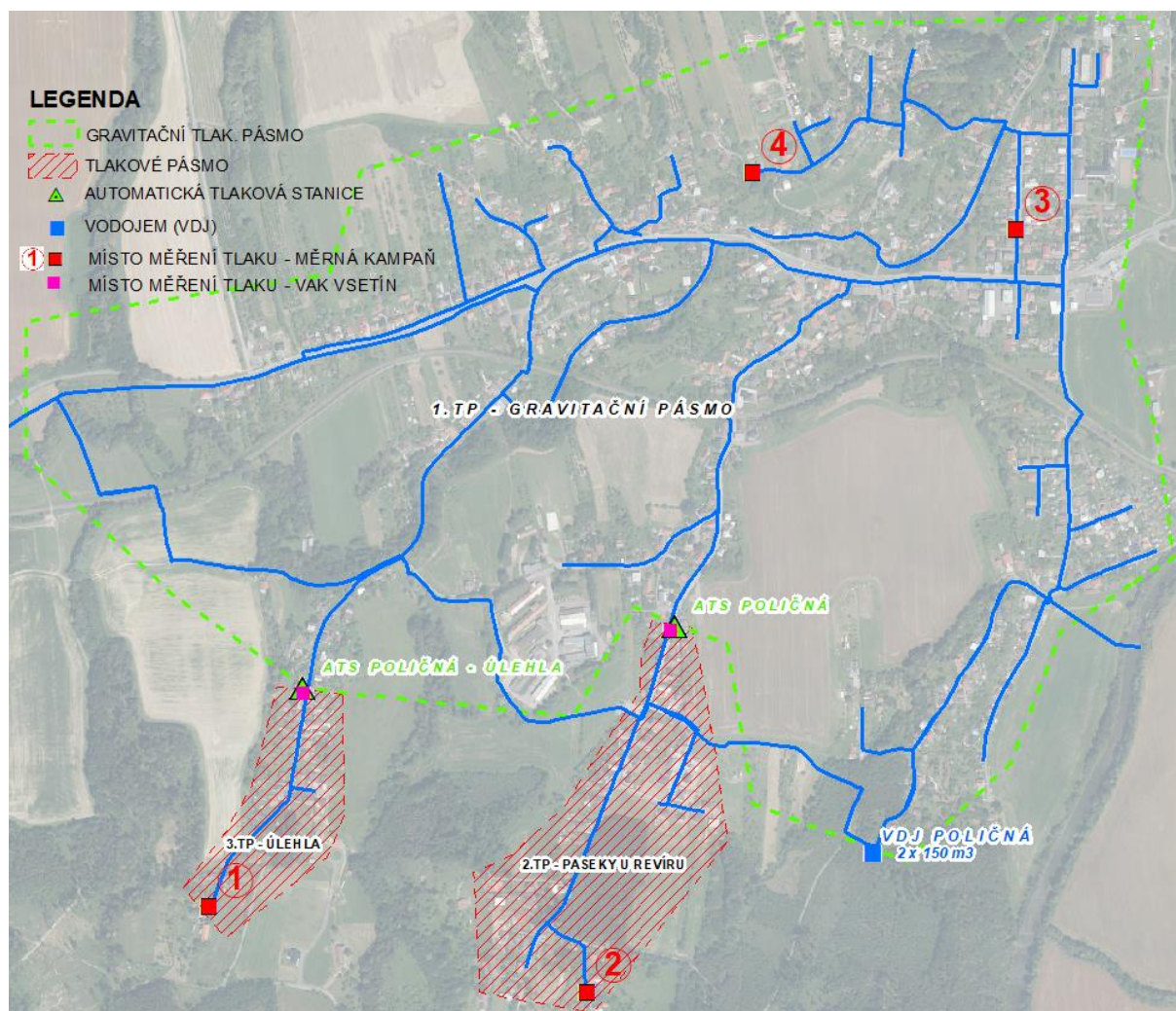
Pro měření tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Poličná byla použita čidla od firmy SEBA KMT, typ Sebalog P-3. Tato čidla jsou určená pro přímé měření tlaků ve vodovodní síti. Díky minimální výšce je možné čidla osadit do každé hydrantové šachty, nebo pomocí adaptéru na nadzemní hydranty. Nejkratší záznamový interval je až 0,1 sekundy, což umožňuje sledovat průběh tlakových rázů v síti. Výhodou je bezdrátová komunikace čidel s počítačem. Přenos naměřených dat je prováděn pomocí programu Seba Data View, který je k dispozici k čidlům. V tomto programu lze naprogramovat například start měření a interval měření. Program vygeneruje i grafické vyobrazení průběhu tlaků. [16]



Obr. 1. 17 Programování tlakového čidla Sebalog P-3 pomocí programu Seba Data View

2.6.1 Osazení tlakových čidel

Tlaková čidla Sebalog P-3 byla osazena na 4 předem vybraná místa. Tato měrná kampaň byla rozdělena na dvě etapy měření, protože byly k dispozici 2 tato čidla. V první etapě byly čidla osazena na koncové hydranty tlakových pásem. Ve druhé etapě byla čidla osazena na dvě místa gravitačního pásma (viz Obr. 1.22). Čidla Sebalog P-3 byla osazena na podzemní hydranty. U podzemního hydrantu na 1. místě měření bylo potřeba čidlo osadit pomocí nástavce (viz Obr. 1.24).



Obr. 1. 18 Mapa měrné kampaně (červeně vyznačená místa měření)

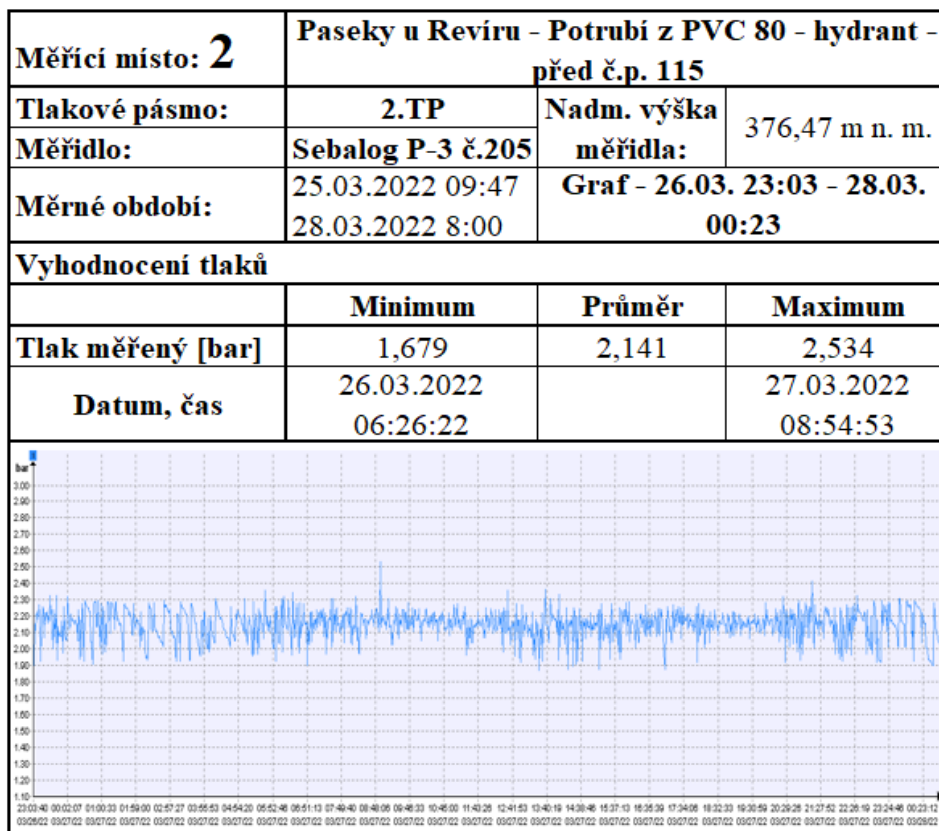
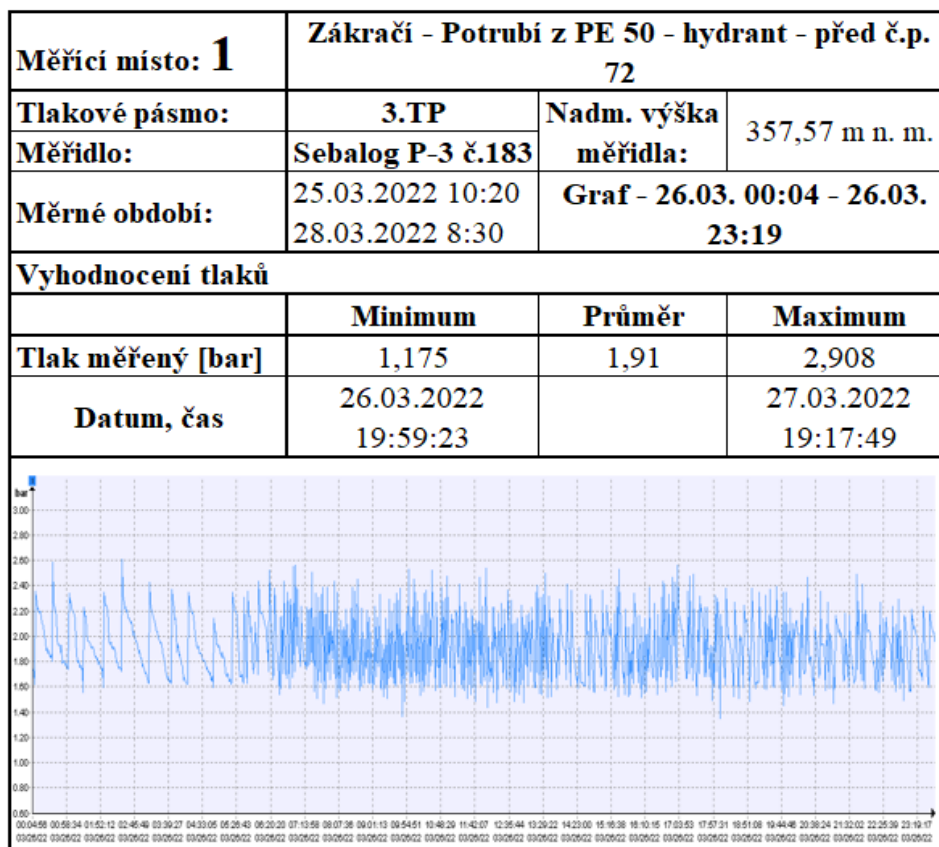


Obr. 1. 19 Osazení čidla pomocí nástavce

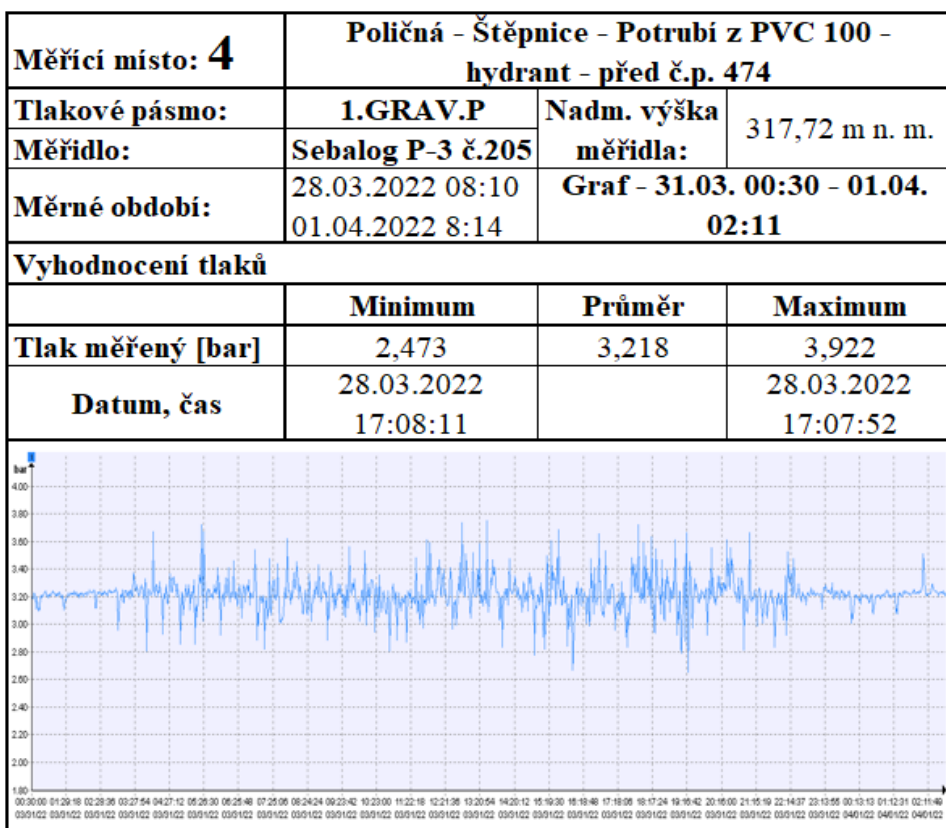
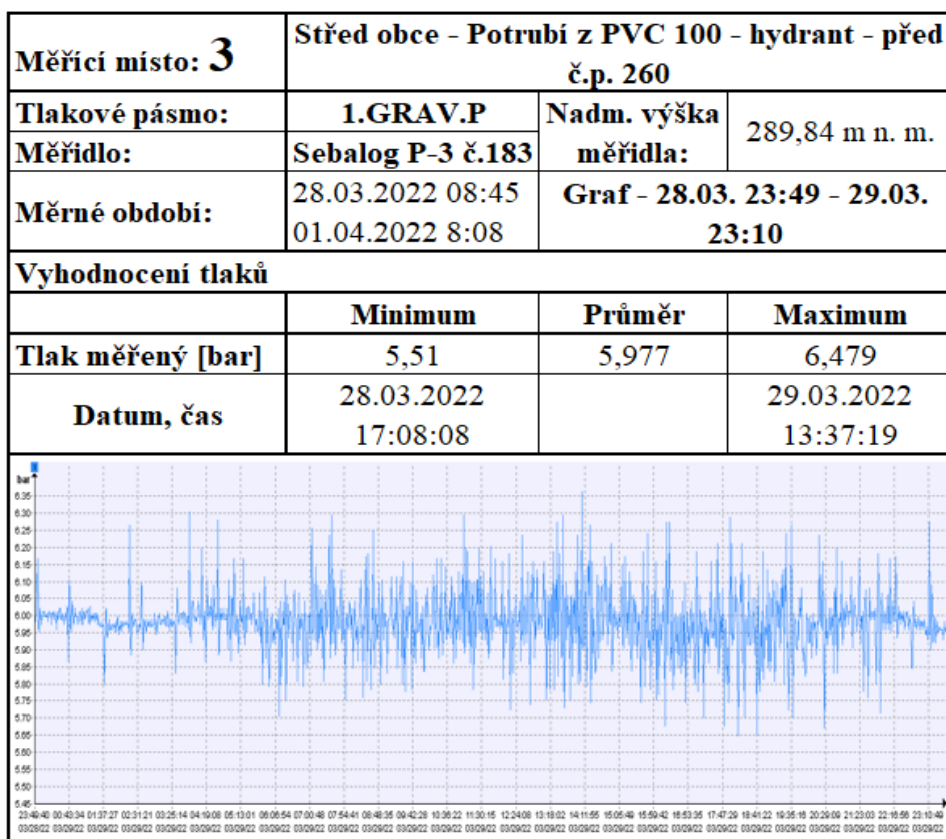


Obr. 1. 20 Osazená čidla na podzemním hydrantu

2.6.2 Vyhodnocení měrné kampaně



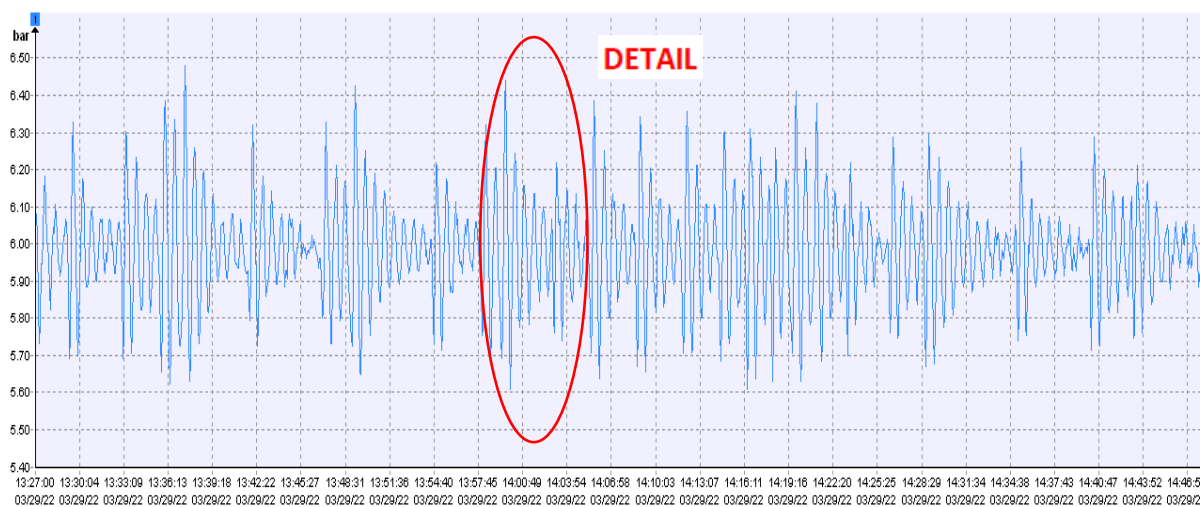
Tab 1. 6 Výstup z měrné kampaně na měřicích místech č.1 a č.2



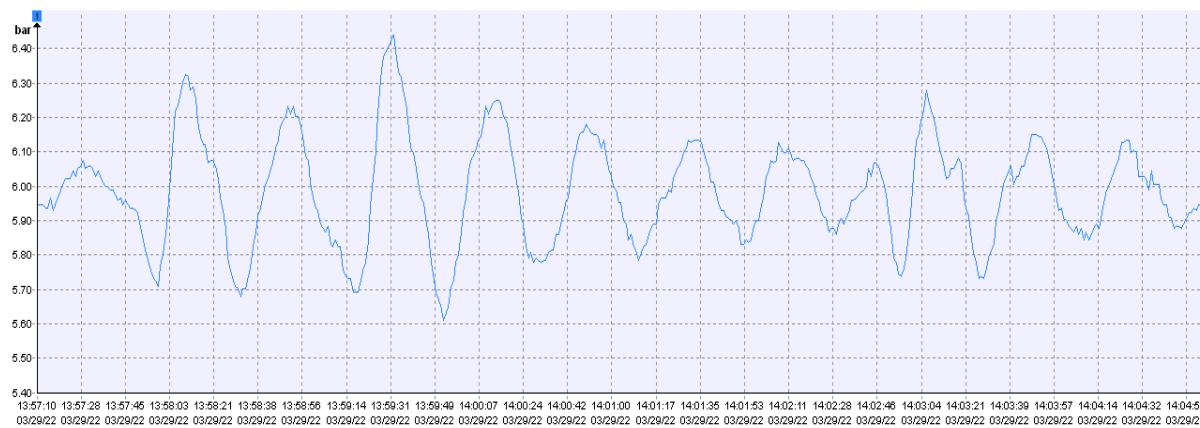
Tab 1. 7 Výstup z měrné kampaně na měřicích místech č.3 a č.4

Jako výstupy z měrné kampaně byly vytvořeny protokoly pro každé měřící místo. V tab. 1.6. jsou vyobrazeny protokoly měření, které probíhaly na 2. a 3. tlakovém pásmu, kde jde na grafech vidět práci čerpadla.

V tab. 1.7. jsou vyobrazeny protokoly měření z gravitačního pásma. Na grafu 1.6 a 1.7 jsou zobrazeny malé tlakové rázy. Tyto rázy se nachází na 3. měřícím místě, které je ve středu obce u domu č.p. 260. Velikost tlakových rázů je až 0,8 bar. Na začátku jednotlivých rázů jde vidět pokles tlaků a následné navýšení tlaku, které pravděpodobně způsobuje jedna z automatických tlakových stanic. Tlakové rázy mohou způsobovat rychlejší degradaci materiálu potrubní sítě.



Graf 1. 6 Průběh tlakových rázů na 3. měřícím místě



Graf 1. 7 Detail průběhu tlakového rázu z grafu 1. 6

2.7 STAVBA HYDRAULICKÉHO MODELU

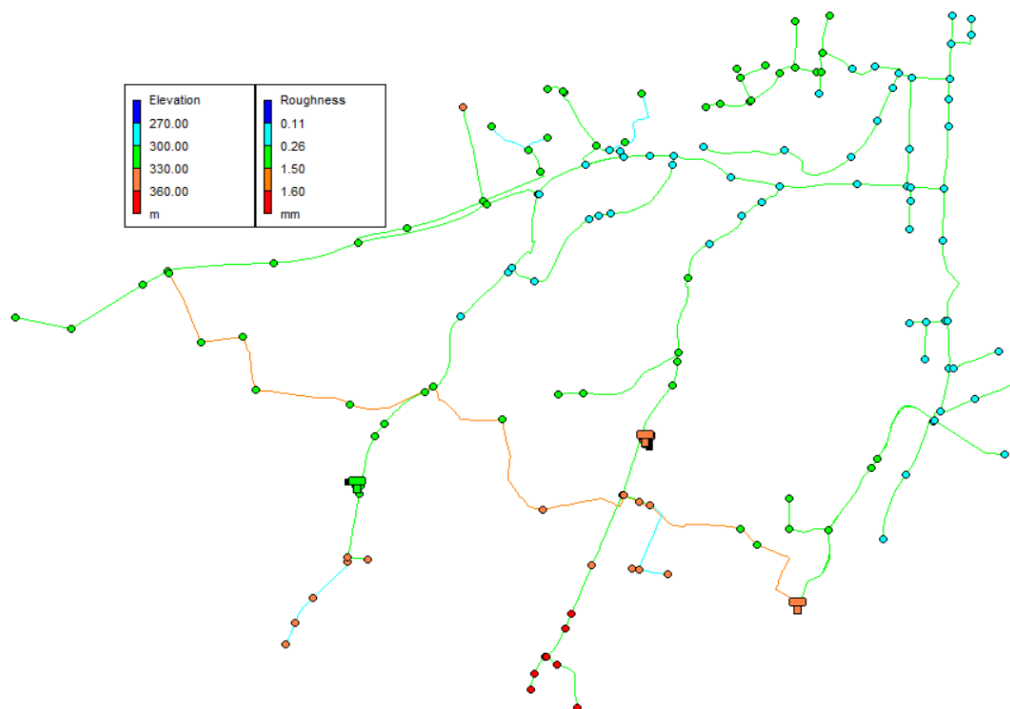
Pro hydraulickou analýzu je potřeba sestavit hydraulický model sítě. Tento model má za úkol co nejpřesněji popsat reálnou topologii sítě. K tomu jsou potřeba vstupní data o zdroji vody, vodojemu, čerpadlech, jednotlivých uzlech, trubních úsecích a případně dalších objektech, které se na síti vyskytují. Vstupní data o síti poskytl provozovatel sítě VAK Vsetín. Pro vytvoření hydraulického modelu obce Poličná byl použit software EPANET 2.2.

2.7.1 Topologie a výškopis síť

Provozovatel byl poskytnut výkres technického vybavení obce Poličná ve formátu *.dxf. Dále byly k dispozici topologie sítě z podkladní mapy GIS. V programu AutoCAD byl vytvořen skelet sítě, kde byla síť nejdříve rozdělena pomocí funkce křivka na úseky a uzly. Tohle rozdělení ovlivňuje přesnost modelu. Uzly byly umísťovány v místech, kde byla změna dimenze nebo materiálu, spojení více řádů, v každém hydrantu a na konci úseků. Délky úseků by neměly překročit 300 metrů. Poté byl skelet sítě importován do softwaru MIKE URBAN, kde byly křivky převedeny na úseky a uzly. Poté byla nahrána hladina geodetického zaměření, která byla součástí poskytnutého výkresu. Výšky jednotlivých uzlů byly pomocí softwaru MIKE URBAN importovány do kostry. Následně byla kostra vyexportována z formátu *.dwg do formátu *.inp. Formát *.inp už podporuje software EPANET 2.2 a dále bylo pokračováno v tomto programu. Dalším krokem bylo doplnit ke všem úseku dimenzi profilu potrubí v milimetrech a hydraulickou drsnost materiálu k v milimetrech. Hydraulická drsnost potrubí byla zadána na základě informací o materiálu a stáří potrubí. U hydraulické drsnosti platí pravidlo: čím je potrubí starší, tím je hodnota drsnosti k větší. To je důsledkem usazenin v potrubí a inkrustace stěn.

Materiál / Rok položení	≤ 1950	1951 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2020
LT	11,0	10,0	8,0	6,0	3,0	2,5	1,5
OC	12,1	10,1	8,1	6,1	5,0	4,0	2,1
PE	-	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11
PVC	-	-	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25

Tab 1. 8 Hydraulická drsnost potrubí k podle materiálu a stáří potrubí



Obr. 1. 21 Hydraulická drsnost potrubí (úseků) a nadmořská výška uzlů

Dalším krokem bylo nutné vložit vodojem a zadat jeho minimální, maximalní a provozní hladinu vody ve vodojemu. Tam, kde jsou automatické tlakové stanice bylo zapotřebí osadit čerpadla a vodojemy. ATS Poličná, která má ve svém objektu meziakumulaci bylo potřeba osadit vodojem, ze které čerpadlo nasává vodu do 2. tlakového pásma. Pro čerpadla bylo zapotřebí zadat Q-H charakteristiku, které byly zjištěny na základě měrné kampaně. Ve vodojemech u automatických tlakových stanic byly hladiny ve vodojemu nastaveny tak, aby se hodnoty vypočtených tlaků z modelu co nejvíce blížily hodnotám naměřených na síti během měrné kampaně.

2.7.2 Uzlové odběry

Dalším krokem tvorby modelu je zadávání uzlových odběrů. Od provozovatele byly k dispozici hodinová data z vodojemu a obou ATS o odběrech ve vodovodní síti Poličná. Ty byly řešeny a rozděleny v kapitole 3.3.7.

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

$$\text{souč.}Q = \frac{\text{hod.průměr}}{Q_p} \quad (23)$$

Rozdělované množství pro výpočet součinitele průtoku Q pro celé spotřebiště je hodnota průměrné denní spotřeby vody $Q_p = 1,895 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rozdělované množství	1,90
hodina	součinitel Q
1	0,4195
2	0,4005
3	0,3425
4	0,3958
5	0,3780
6	0,4611
7	0,6720
8	1,0912
9	1,0348
10	1,0532
11	0,9983
12	1,1135
13	1,1062
14	0,9462
15	0,9437
16	0,9326
17	1,0439
18	1,0932
19	1,1672
20	1,3387
21	1,4851
22	1,1462
23	1,0413
24	0,6972

Tab 1. 9 Součinitel průtoku Q pro spotřebiště Poličná

V celkovém rozdělovaném množství jsou zahrnuty také hodnoty, které byly vypočítány v analýze spotřeby vody pro tlaková pásma.

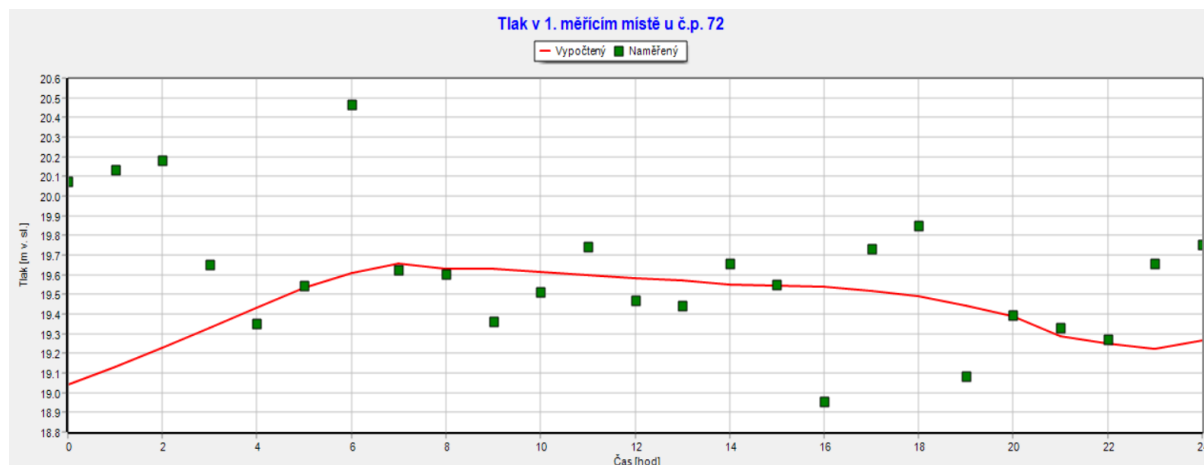
Pro 2. tlakové pásmo je hodnota průměrné denní spotřeby vody $Q_p = 0,285 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a hodnota rozdělovaného množství je 0,29.

Pro 3. tlakové pásmo je hodnota průměrné denní spotřeby vody $Q_p = 0,107 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a hodnota rozdělovaného množství je 0,11.

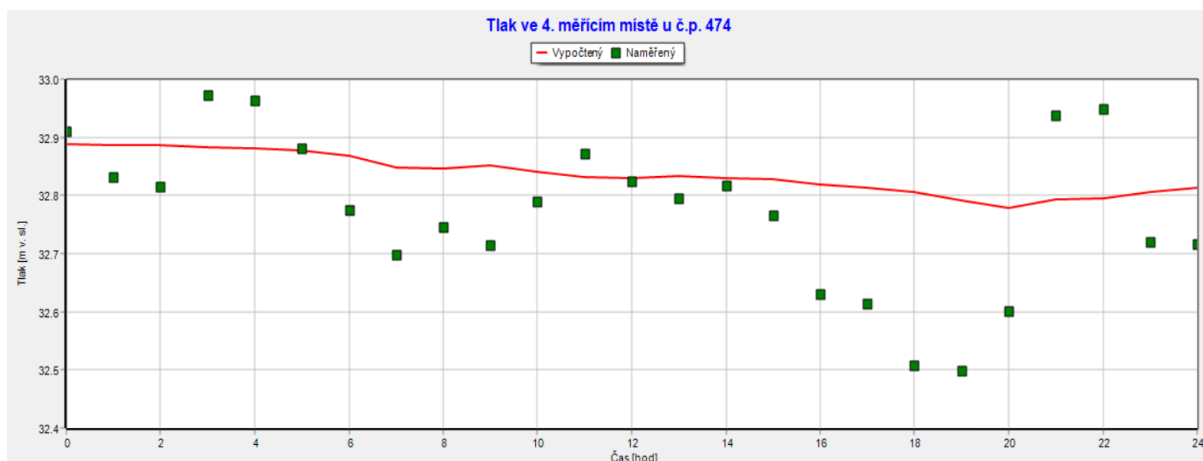
Aby v softwaru EPANET 2.2 mohl být spuštěn výpočet, musí být v modelu zadán alespoň jeden uzlový odběr. V software EPANET 2.2 bohužel neumí rozdělit odběry pomocí metody redukovaných délek, která byla v tomto případě použita. Jednotlivým uzlům a úsekům byly přiřazeny značky 1-3, podle toho, ve kterém tlakovém, resp. gravitačním pásmu se nachází. Poté byl model vyexportován do formátu *.inp a znova byl použit software MIKE URBAN, který umí disponuje funkcí rozdělení uzlových odběrů pomocí metody redukovaných délek. Po rozdělení jednotlivých uzlových odběrů byl model exportován zpět do softwaru EPANET 2.2, kde už probíhaly další kroky tvorby modelu jako jsou kalibrace a verifikace.

2.7.3 Kalibrace modelu

V této chvíli je již model kompletně sestaven a umožňuje spustit výpočet. Dalším krokem je potřeba ověřit správnost vypočtených hodnot. K tomuto kroku slouží kalibrace. Ke kalibraci bylo použito 1/2 naměřených dat, které se porovnávají hodnotami vypočtenými modelem. Kalibrace byla provedena v software EPANET 2.2. Kalibrační data získaná z měření byla nahrána ve formátu *.txt.



Graf 1. 8 Tlak v 1. měřicím místě



Graf 1. 9 Tlak ve 4. měřicím místě

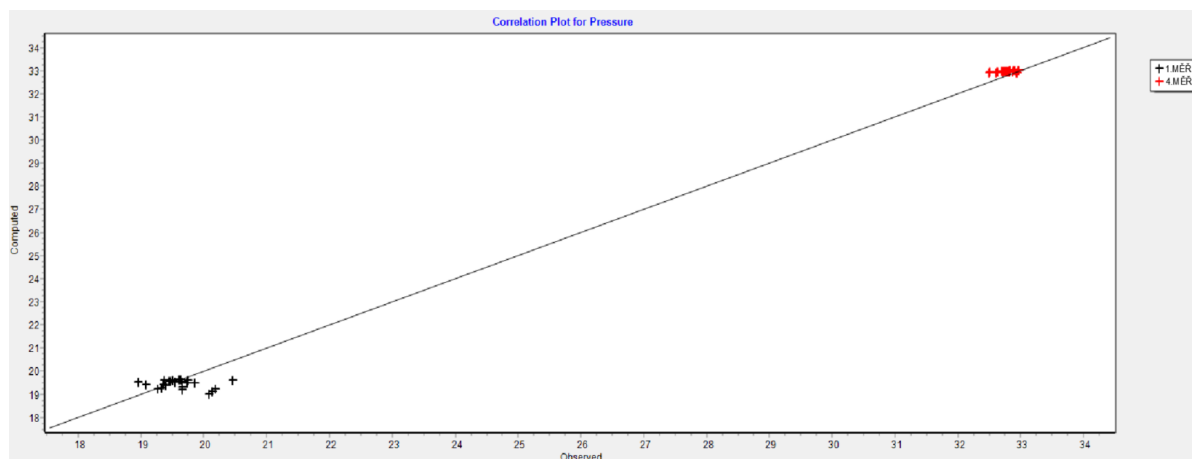
V grafech 1.8 a 1.9 jsou znázorněny červenou čarou vypočítané hodnoty tlaku v daném uzlu, na kterém bylo provedeno měření. Zelené čtverečky jsou hodnoty tlaků naměřených během měrné kampaně na síti.

Calibration Statistics for Pressure					
Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
1.měřicí místo	24	19.61	19.45	0.300	0.448
4.měřicí místo	24	32.78	32.97	0.195	0.225
Network	48	26.19	26.21	0.248	0.354

Correlation Between Means: 1.000

Tab 1. 10 Výsledky kalibrace modelu

V tab. 1.10 je znázorněna hodnota rozdílu (Mean Error) mezi středními hodnotami naměřeného (Observed Mean) a vypočteného tlaku (Computed Mean). Výsledky naměřených hodnot se blíží hodnotám vypočtených modelem.

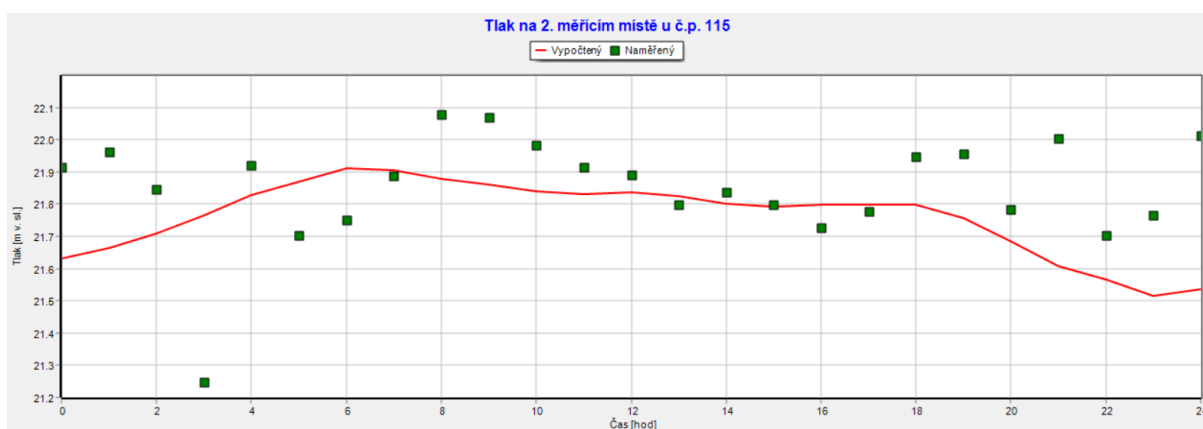


Graf 1. 10 Výsledky kalibrace modelu – měřené x vypočtené tlaky

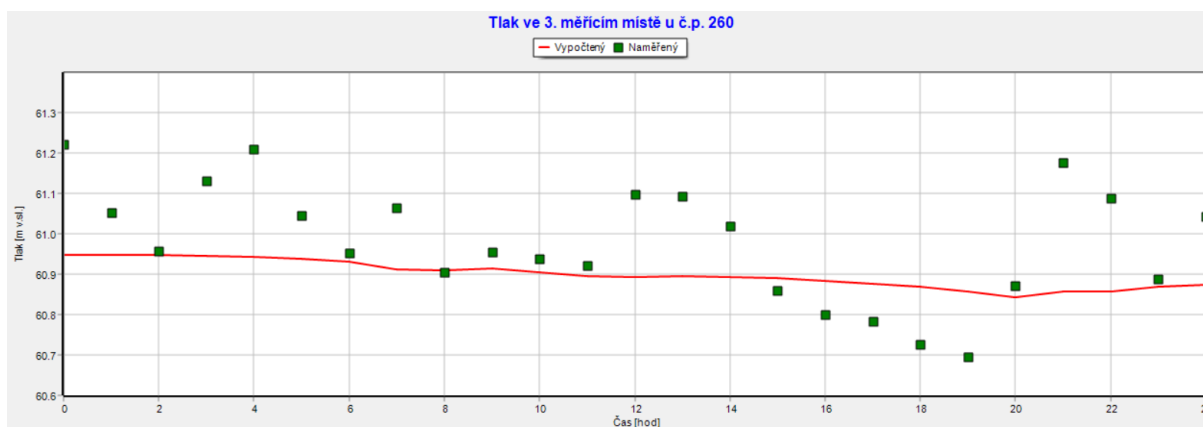
V grafu 1.10 jde vidět rozdíl mezi hodnotami vypočítanými modelem a naměřenými v měrné kampani. Černá přímka znázorňuje tlaky, které byly vypočítány modelem. Černé a červené kříže pak zobrazují hodnoty naměřené. Horizontální osa znázorňuje tlaky naměřené a vertikální osa tlaky vypočtené. Z grafu je vidět, že měřená data se dotýkají přímky, nebo leží v její blízkosti. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami by neměl přesáhnout hodnotu 1 m v.sl. Tento model tuhle podmínku splňuje a lze jej považovat za model zkalibrovaný.

2.7.4 Verifikace modelu

Verifikace se provádí pro ověření kalibrace. Postup verifikace je stejný jako u kalibrace. Podmínkou verifikace je použití naměřených dat, která nebyla použita pro kalibraci. V tomto případě byla použita druhá polovina naměřených dat získané z měrné kampaně. Pro verifikaci byly použity hodnoty z 2. a 3. měřicího místa.



Graf 1. 11 Tlak na 2. měřicím místě



Graf 1. 12 Tlak na 3. měřicím místě

Calibration Statistics for Pressure					
Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
2.měřicí místo	24	21.84	21.77	0.156	0.199
3.měřicí místo	24	60.98	60.90	0.119	0.151
Network	48	41.41	41.34	0.138	0.176

Correlation Between Means: 1.000

Tab 1. 11 Výsledky verifikace modelu

Z grafů 1.11 a 1.12 je vidět, že rozdíly hodnot tlaků naměřených a vypočtených modelem ani v jednom uzlu nepřekročil 1 m v.sl. Model lze tímto považovat za hotový a není potřeba dalších zásahů.

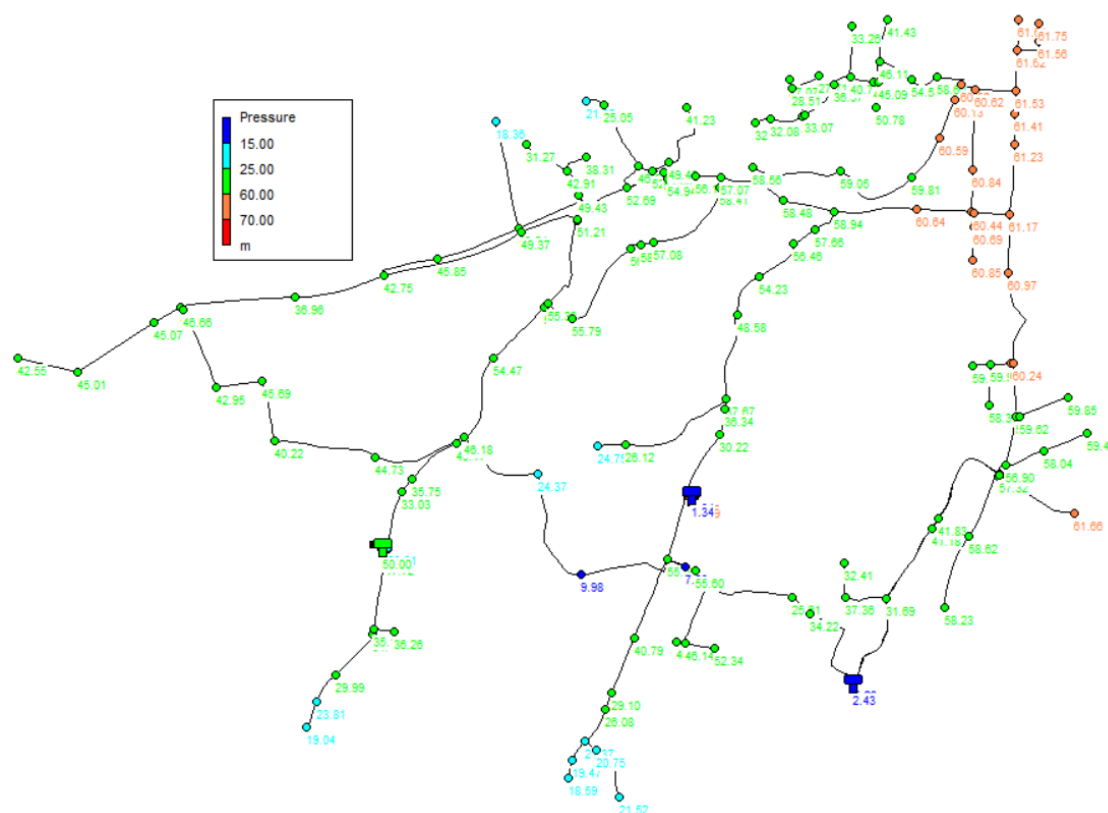
2.8 POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI POLIČNÁ VÝSLEDKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Poličná bylo provedeno na základě vyhlášky 428/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. Tato vyhláška udává, že 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. Dále 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. [17]

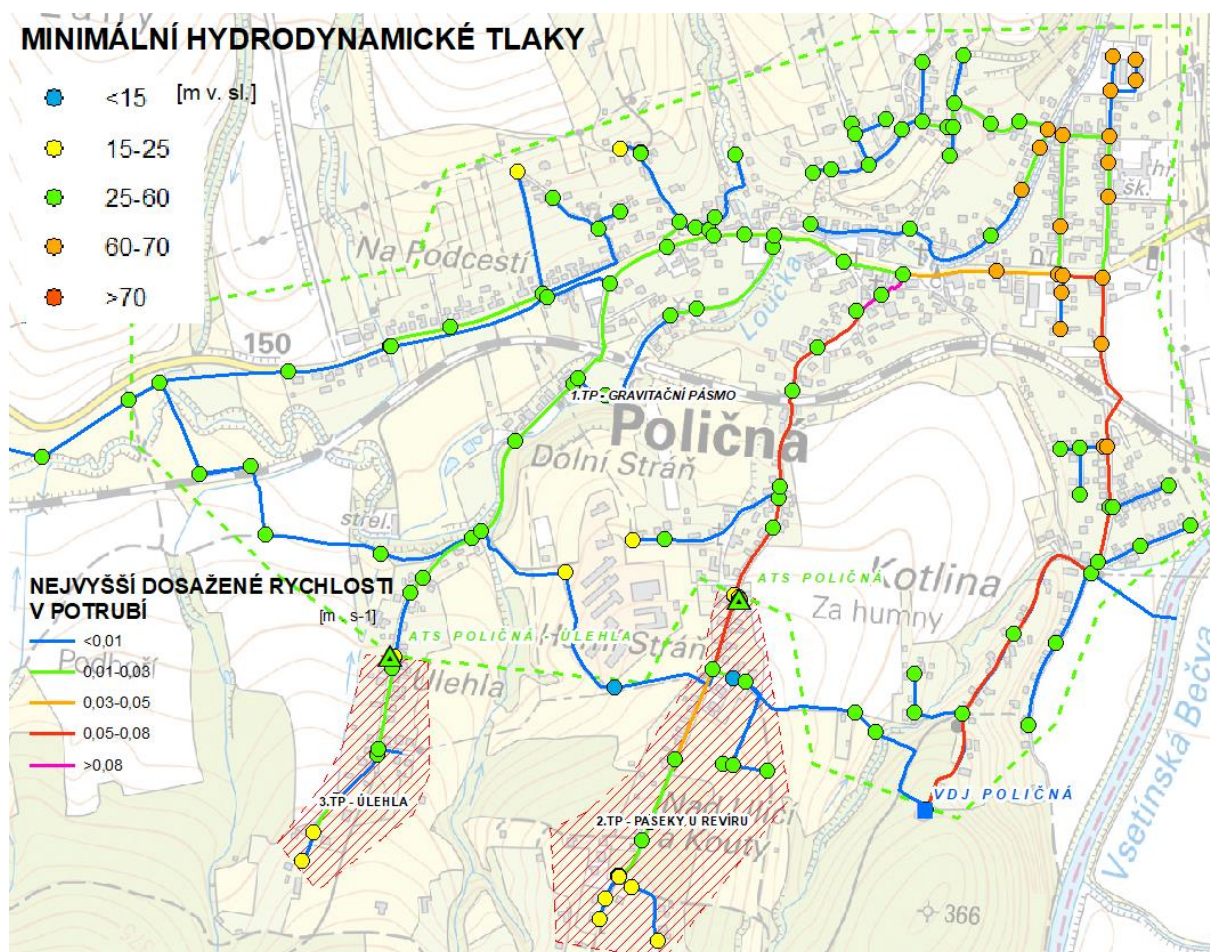
V hydraulické analýze nejsou řešeny tlakové poměry na příváděcím potrubí do vodojemu Poličná a na příváděcím potrubí směr Branky.

2.8.1 Minimální hydrodynamické tlaky

Minimální tlaky ve vodovodní síti obce Poličná vyhoví vyhlášce 428/2001 Sb. na minimální hydrodynamický přetlak, který je 0,15 MPa. Nejnižší hodnota minimálního hydrodynamického tlaku je 18,36 m v. sl. a nachází se u č.p. 523. Tato hodnota ještě s rezervou splňuje požadavky vyhlášky pro maximálně dvoupodlažní budovy.



Obr. 1. 22 Minimální hydrodynamické tlaky – výstup ze softwaru EPANET 2.2



Obr. 1.23 Minimální hydrodynamické tlaky ve vodovodní síti a nejvyšší dosažené rychlosti v potrubí

Obr. 1.23 zobrazuje situaci minimálních hydrodynamických tlaků v uzlech a nejvyšší dosažené rychlosti v potrubí ve vodovodní síti obce Poličná. Tato situace je podložena základní mapou obce.

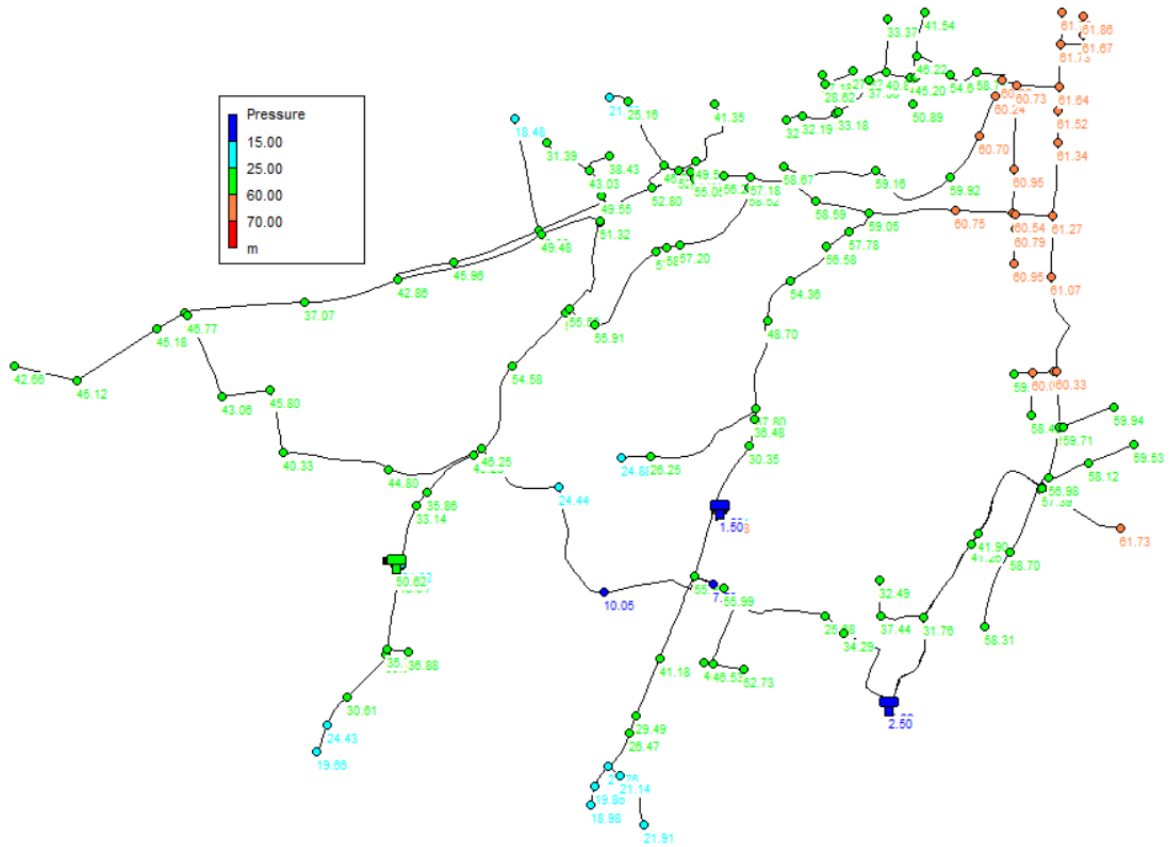
Podrobnější situace je v příloze 2.

2.8.2 Hydrostatické tlaky

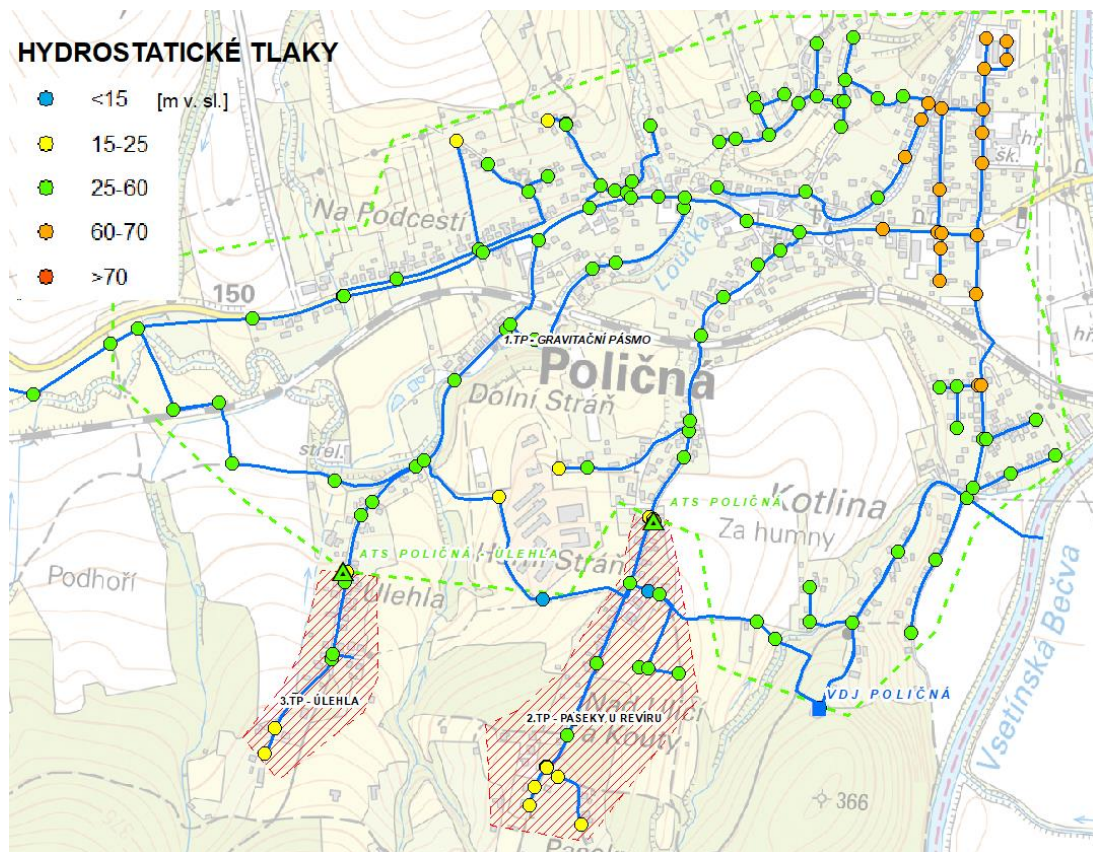
Nejvyšší hodnoty hydrostatického tlaku za provozu se nachází v severovýchodní části vodovodní síti obce Poličná, kde jsou dva bytové domy. Důvodem je nejnižší nadmořská výška. Nejvyšší hodnota hydrostatického tlaku je zde 61,86 m v. sl. (0,606 MPa). Tato hodnota mírně překračuje hodnotu danou vyhláškou, která je 0,6 MPa, ale splňuje ojedinělou podmínku 0,7 MPa. Důležitým faktorem je fakt, že nejvyšší hodnoty hydrostatického tlaku jsou v době nejmenších odběrů. V této době je hladina vodojemu na horní provozní hladině.

Obr. 1.25 zobrazuje situaci hydrostatických tlaků za provozu v uzlech ve vodovodní síti obce Poličná. Tato situace je podložena základní mapou obce.

Podrobnější situace je v příloze 3.



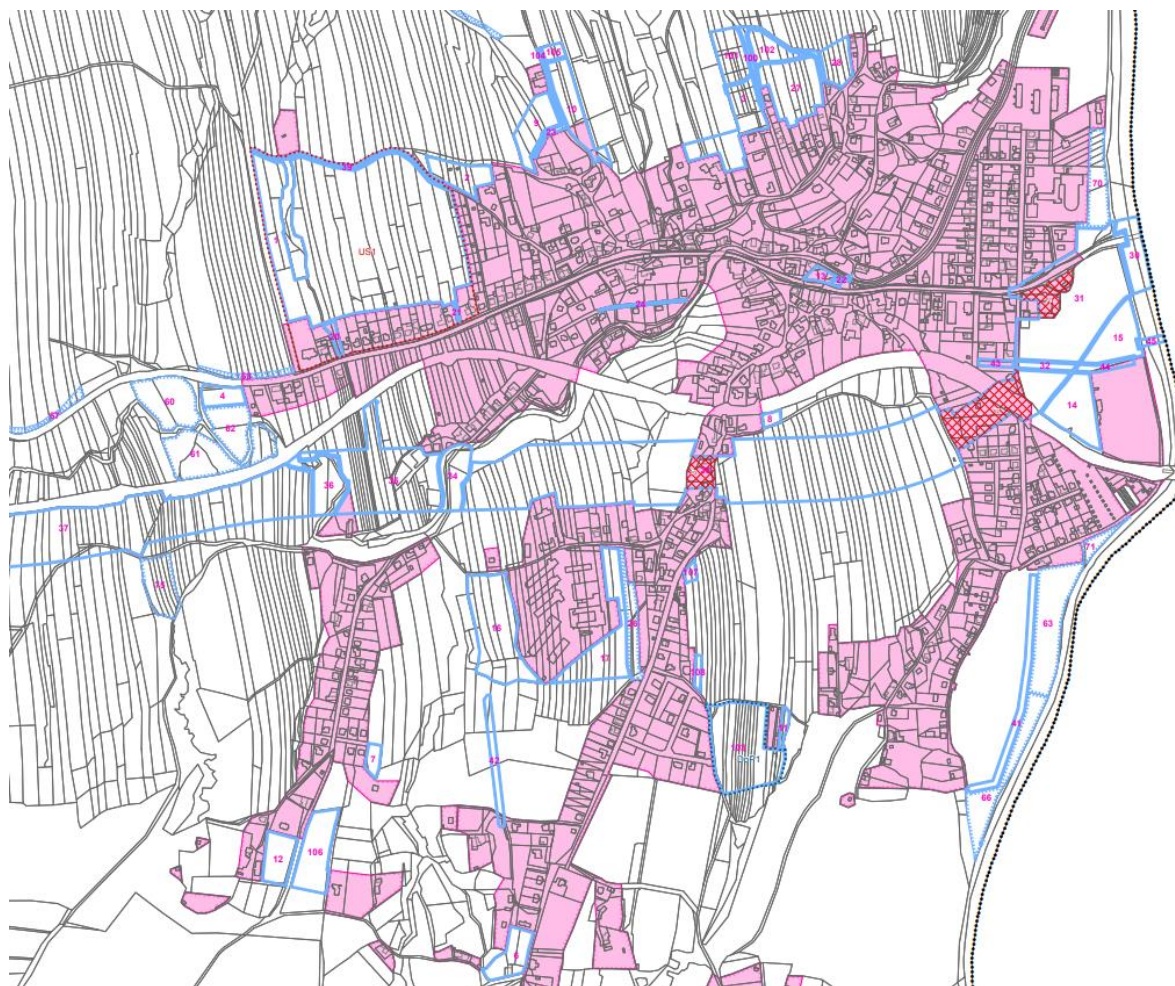
Obr. 1. 24 Hydrostatické tlaky – výstup ze softwaru EPANET 2.2



Obr. 1. 25 Hydrostatické tlaky ve vodovodní síti

2.9 POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ S OHLEDEM NA VÝHLEDOVÝ STAV ZÁSTAVBY

Na základě územního plánu obce Poličná se výhledově počítá s výstavbou rodinných domů venkovského charakteru v severní části obce. Jelikož se terén v této části obce zvedá, to znamená, že hodnoty tlaků budou s rostoucí zástavbou a nadmořskou výškou nedostatečné.



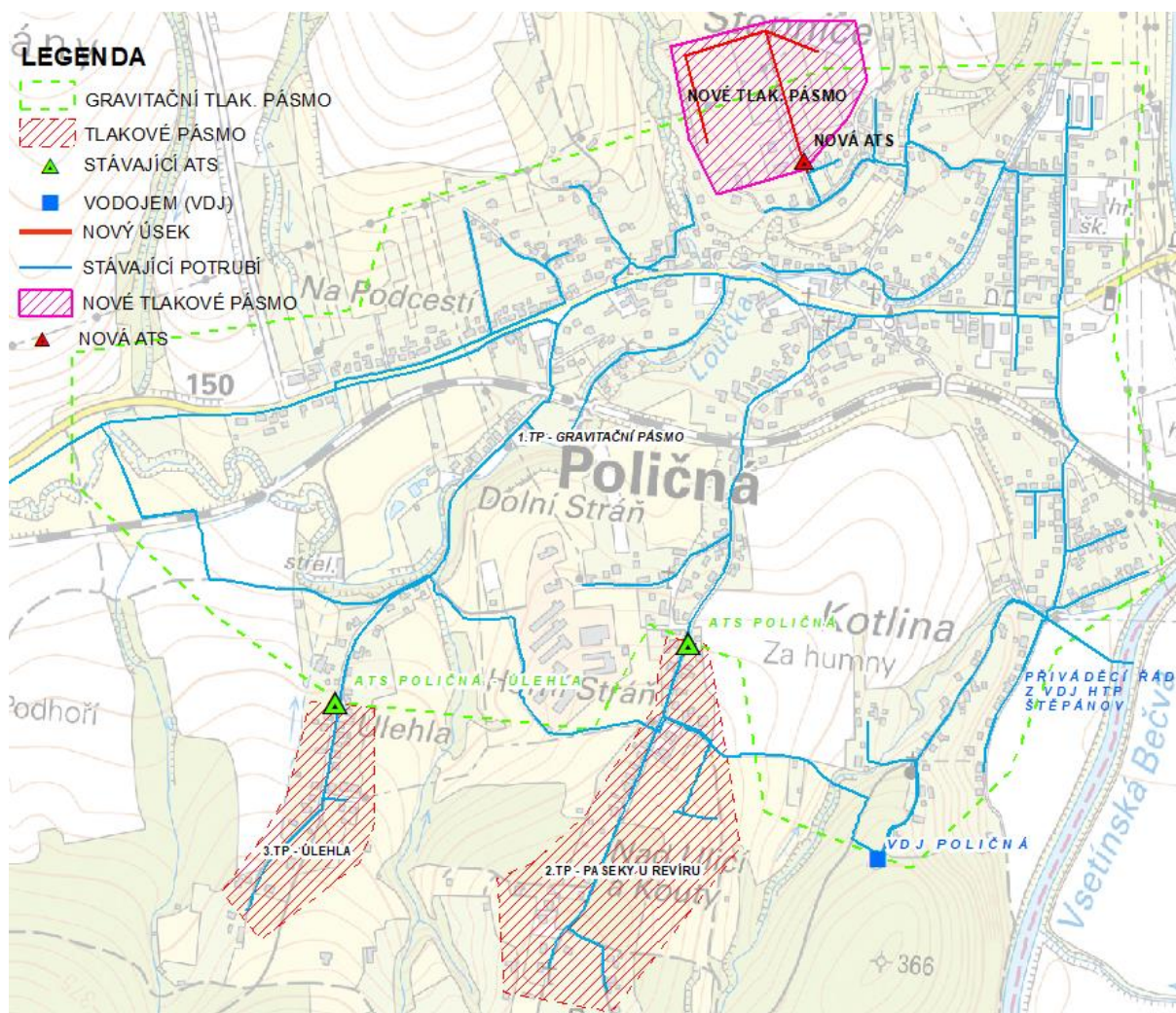
Legenda

	řešené území		US1 plochy pro ověření územní studií
	zastavěné území k 1.3.2019		DoP1 plochy pro zpracování dohody o parcelaci
	číslo návrhových ploch		plochy přestavby
	parcelní kresba		navrhované plochy - zastavitelné plochy
	vnitřní kresba parcel		navrhované plochy - plochy změn v krajině

Obr. 1. 26 Územní plán obce Poličná

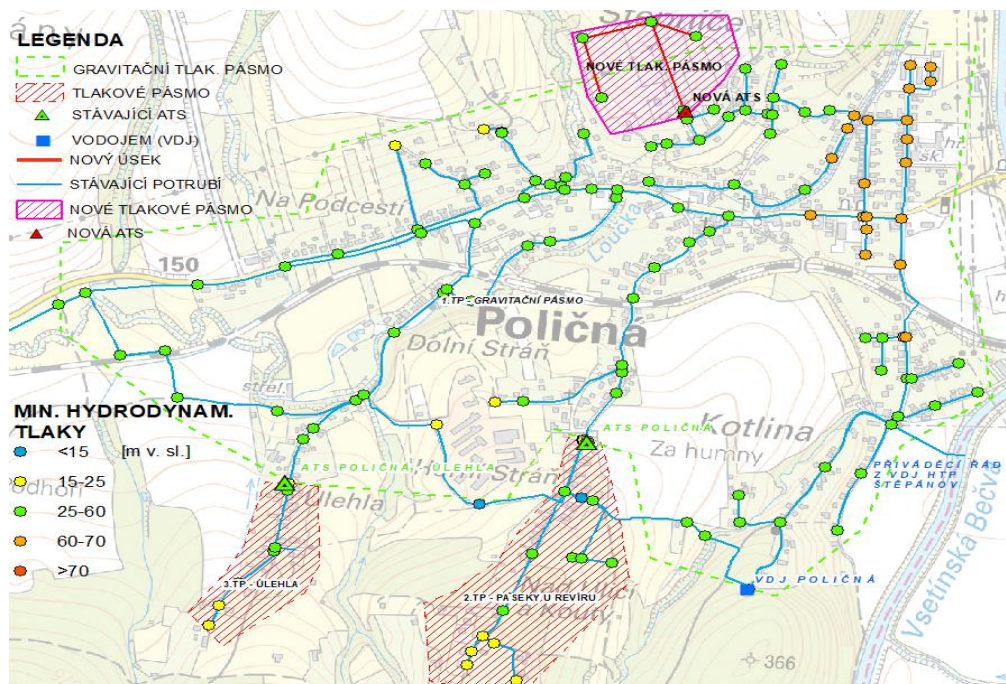
2.9.1 Návrh řešení pro optimalizaci tlakových poměrů ve vodovodní síti

V současné době hodnoty nejvyšších provozních a minimálních tlaků splňují vyhlášku 428/2001 Sb. S ohledem na výhledový stav jsem navrhl opatření v podobě zvýšení tlaků v severní části obce, kde se počítá s novou výstavbou rodinných domů, tudíž i s prodloužením vodovodní sítě. Navrhuji vytvořit novou automatickou tlakovou stanici ATS a s ní nové tlakové pásmo TP4. Automatická tlaková stanice bude zvyšovat tlak v novém úseku vodovodní sítě, kde se postupně zvyšuje nadmořská výška a je plánována výstavba nových rodinných domů. Nadmořská výška se pohybuje od 325 m n. m. do 345 m n. m. Tohle nově navržené tlakové pásmo je navrženo z PVC DN 80 o celkové délce potrubí 420 m. Pro tohle území je odhadnuta potřeba vody na 6 m³ na den.



Obr. 1. 27 Návrh opatření pro výhledový stav

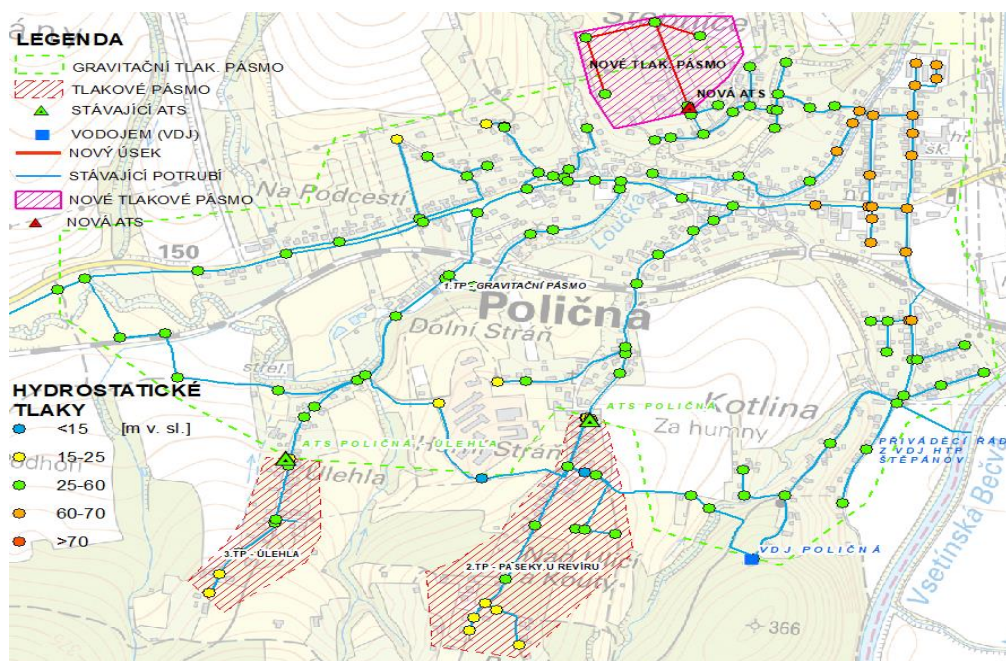
2.9.2 Minimální hydrodynamický tlak – navržené řešení



Obr. 1. 28 Minimální hydrodynamický tlak – navržené řešení

Minimální hydrodynamický tlak v novém tlakovém pásmu je 26,08 m v. sl.

2.9.3 Hydrostatický tlak



Obr. 1. 29 Nejvyšší hydrostatický tlak – navržené řešení

Nejvyšší hydrostatický tlak v novém tlakovém pásmu je 49,4 m v. sl. Hodnoty nejvyšších a minimálních tlaků se ve zbytku obce téměř nezmění.

3 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je zaměřena na tvorbu hydraulického modelu vodovodní sítě obce Poličná a na posouzení této sítě na tlakové poměry nacházející se ve spotřebišti.

V úvodní kapitole jsou uvedeny základní vztahy pro výpočty v tlakových trubních systémech. Dále je zde popsána teorie matematického modelování v trubních systémech. Jsou vyjmenovány zásady a podmínky pro vytvoření modelu, které musí být splněny. Další část této kapitoly je věnována softwarovým prostředkům, které je možno použít pro matematické modelování a pozornost je zaměřena na dostupnou softwarovou aplikaci EPANET 2.2. Jako druhým softwarovým prostředkem, který byl využit v rámci této práce byl popsán software MIKE URBAN.

Druhá kapitola práce je věnována obci Poličná, u které byl vytvořen kvazi-dynamický hydraulický model její vodovodní sítě. V první části byla představena řešená obec, její poloha a charakter zástavby. Poté je zde podrobně přiblížen způsob zásobování obce pitnou vodou a popsány jednotlivé objekty na vodovodní síti. Mezi tyto objekty patří vodojem Poličná, ATS Poličná a ATS Poličná – Úlehla. Základní informace o zásobovacím systému obce byly získány od provozovatele vodovodu, jímž je VAK Vsetín, a.s. Byla zpracována také analýza spotřeby vody z poskytnutých hodinových dat za rok 2020, na které byla založena stavba modelu. V období 25.3. 2022 až 1.4. 2022 byla v rámci bakalářské práce provedena měrná kampaň. Během této měrné kampaně byla osazena 2 tlaková čidla, která zaznamenávala ve vteřinovém intervalu hodnoty tlaků na síti. Tato kampaň byla rozdělena na dvě části. V první části měření byla čidla osazena na konce obou tlakových pásem a v druhé části byla čidla osazena na dvě vybraná místa na gravitačním pásmu. Naměřená data sloužila ke kalibraci a verifikaci hydraulického modelu.

Na základě vytvořeného hydraulického modelu byly následně posouzeny tlakové poměry na vodovodní síti obce Poličná. Posuzovány byly nejnižší provozní tlaky (minimální tlaky) a nejvyšší provozní tlaky (hydrostatické tlaky), které se za běžného používání v síti vyskytují. Posouzení bylo provedeno podle vyhlášky 428/2001 Sb. Z hydraulické analýzy bylo zjištěno, že téměř všechny části vodovodní sítě obce Poličná splňují vyhlášku 428/2001 Sb. Jen u jedné části obce nejvyšší provozní tlak lehce překračuje maximální hodnotu 0,6 MPa. Hydraulický model ukazuje v této oblasti nejvyšší provozní tlak 0,606 MPa, rozdíl můžeme považovat za zanedbatelný.

V poslední kapitole bylo navrženo opatření pro výhledový stav zástavby na základě územního plánu obce Poličná. Při tomto posouzení byla navržena nová ATS do nové plánované zástavby. Tato lokalita se nachází v místě, kde se terén zvedá. V tomto místě se dá předpokládat, že bez nového opatření by zde nebyly splněny podmínky vyhlášky č. 428/2001 Sb.

Tento hydraulický model může sloužit pro provozování vodovodní sítě nebo jako podklad pro již zmíněné rozšiřování vodovodní sítě. Model může také sloužit pro sestavení proplachovacího plánu vodovodní sítě.

Jedna kopie bakalářské práce bude předána starostovi obce Poličná a druhá kopie bude poskytnuta provozovateli vodovodní sítě VAK Vsetín, a. s.

4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HŘEBÍČEK, Jiří, Zdeněk POSPÍŠIL a Jaroslav URBÁNEK. Úvod do matematického modelování s využitím Maple [online]. Brno: MU IBA, 2010 [cit. 2022-05-15]. ISBN 978-80-7204-691-1. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js11/maple/web/mat_model.pdf
- [2] ING. JOSEF NOVÁK a kolektiv autorů. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. Praha: Medim, spol. s r.o, 2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [3] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s r. o., 2006. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [4] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: B. Doprava vody*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s r. o., 2006.
- [5] TABESH, M.; JAMASB, M.; MOEINI, R. Calibration of water distribution hydraulic models: A comparison between pressure dependent and demand driven analyses. *Urban Water Journal*, 2011, 8.2: 93-102.
- [6] ROSSMAN, A. Lewis. *EPANET 2 Users Manual*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2000.
- [7] INGEDULD, Petr. *Modeling of water distribution systems with MIKE NET*. DHI Water & Environment, 2003.
- [8] Obec Poličná [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.policna.cz/>
- [9] Počet obyvatel obce Poličná [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/10666/policna/pocet-obyvatel/>
- [10] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.9467745&y=49.4652631&z=15&l=0&q=poli%C4%8Dn%C3%A1&source=muni&id=103026&ds=2>
- [11] Územní plán obce Poličná [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.policna.cz/e_download.php?file=data/editor/86cs_6.pdf&original=307_text_oduvodneni.pdf
- [12] Program rozvoje obce Poličná [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.policna.cz/evt_file.php?file=4132&original=Program%20rozvoje%20obce%20Poli%C4%8Dn%C3%A1%202021-2025%20-%20web%20PDF.pdf
- [13] *PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ ZLÍNSKÉHO KRAJE* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://geoportal.kr-zlinsky.cz/prvkuk_v/
- [14] *Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.vakvs.cz/>
- [15] Vyhláška č. 252/2004 Sb. [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>

- [16] Sebalog P-3-1 [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z:
<https://www.sebakmt.com/cz/ctenar-portfolio/sebalog-p-3.html>
- [17] Vyhláška č. 428/2001 Sb. [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [18] ČSN 75 5301. Vodárenské čerpací stanice. Český normalizační institut, 2006.

SEZNAM TABULEK

Tab 1. 1 Délky jednotlivých dimenzí a materiálu na síti	15
Tab 1. 2 Spotřeba vody v pracovních dnech	22
Tab 1. 3 Spotřeba vody ve dnech pracovního klidu	23
Tab 1. 4 Výsledky analýzy spotřeby vody za období 1. 1. 2020 – 21. 12. 2020	24
Tab 1. 5 Rozbory jakosti pitné vody	25
Tab 1. 6 Výstup z měrné kampaně na měřicích místech č.1 a č.2	29
Tab 1. 7 Výstup z měrné kampaně na měřicích místech č.3 a č.4	30
Tab 1. 8 Hydraulická drsnost potrubí k podle materiálu a stáří potrubí.....	32
Tab 1. 9 Součinitel průtoku Q pro spotřebiště Poličná	33
Tab 1. 10 Výsledky kalibrace modelu.....	35
Tab 1. 11 Výsledky verifikace modelu	37

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. 1 Ustálené tlakové proudění mezi profily A-B	4
Obr. 1. 2 Tlakové schéma při gravitačním zásobování z vodojemu	7
Obr. 1. 3 Orientace tlakových ztrát v jednotlivých úsecích k-tého okruhu.....	10
Obr. 1. 4 Pracovní prostředí programu EPANET 2.2	12
Obr. 1. 5 Poloha obce Poličná [10]	13
Obr. 1. 6 Poloha obce Poličná vzhledem k městu Valašské Meziříčí [10]	13
Obr. 1. 7 Základní mapa obce Poličná [10].....	14
Obr. 1. 8 Schéma vodovodní sítě s objekty a hydranty.....	16
Obr. 1. 9 Čelní pohled na VDJ (vlevo) - Boční pohled na VDJ (vpravo).....	17
Obr. 1. 10 Schéma vodojemu Poličná	17
Obr. 1. 11 Armaturní komora vodojemu.....	18
Obr. 1. 12 Pohled z ulice na ATS Poličná (vlevo) - Vystrojení ATS Poličná (vpravo).....	18
Obr. 1. 13 Schéma ATS Poličná	19
Obr. 1. 14 Pohled na ATS Poličná - Úlehla (vlevo) - Čerpadla s hydrovarem (vpravo).....	19
Obr. 1. 15 Schéma ATS Poličná – Úlehla.....	20
Obr. 1. 16 Měření průtoku v AK vodojemu (vlevo) - Měření průtoku v ATS Poličná – Úlehla (vpravo).....	20
Obr. 1. 17 Programování tlakového čidla Sebalog P-3 pomocí programu Seba Data View ...	26
Obr. 1. 18 Mapa měrné kampaně (červeně vyznačená místa měření)	27
Obr. 1. 19 Osazení čidla pomocí nástavce	28
Obr. 1. 20 Osazená čidla na podzemním hydrantu	28
Obr. 1. 21 Hydraulická drsnost potrubí (úseků) a nadmořská výška uzlů	32
Obr. 1. 22 Minimální hydrodynamické tlaky – výstup ze softwaru EPANET 2.2	38
Obr. 1. 23 Minimální hydrodynamické tlaky ve vodovodní síti a nejvyšší dosažené rychlosti v potrubí	39
Obr. 1. 24 Hydrostatické tlaky – výstup ze softwaru EPANET 2.2.....	40
Obr. 1. 25 Hydrostatické tlaky ve vodovodní síti	40
Obr. 1. 26 Územní plán obce Poličná.....	41
Obr. 1. 27 Návrh opatření pro výhledový stav	42
Obr. 1. 28 Minimální hydrodynamický tlak – navržené řešení.....	43
Obr. 1. 29 Nejvyšší hydrostatický tlak – navržené řešení.....	43

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. 1 Přehled materiálu dle délky potrubí	16
Graf 1. 2 Denní spotřeba vody v období 1. 1. 2020 – 21.12. 2020	21
Graf 1. 3 Průběh spotřeby vody v pracovních dnech	22
Graf 1. 4 Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu	23
Graf 1. 5 Průběh spotřeby vody ve všech dnech	24
Graf 1. 6 Průběh tlakových rázů na 3. měřícím místě	31
Graf 1. 7 Detail průběhu tlakového rázu z grafu 1. 6	31
Graf 1. 8 Tlak v 1. měřícím místě	34
Graf 1. 9 Tlak ve 4. měřícím místě	35
Graf 1. 10 Výsledky kalibrace modelu – měřené x vypočtené tlaky	35
Graf 1. 11 Tlak na 2. měřícím místě	36
Graf 1. 12 Tlak na 3. měřícím místě	36

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

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

S ... plocha průtočného profilu [m^2]

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

h_1, h_2 ... polohové výšky [m]

P ... tlak [Pa]

ρ ... 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]

λ ... součinitel tření

L ... délka úseku [m]

d ... vnitřní průměr potrubí [m]

k ... absolutní drsnost potrubí [m]

Re... Reynoldsovo číslo

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

l... délka potrubí [m]

ξ ... 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

PDM... model řízený tlakem

VD... vodní dílo

HTP... hlavní tlakové pásmo

OC... ocelové potrubí

DN... průměr potrubí
PVC... polyvinylchlorid
PE... polyethylen
LT... litina tvárná
ATS... automatická tlaková stanice
VDJ... vodojem
TP2... tlakové pásmo 2
TP3... tlakové pásmo 3
VAK... vodovody a kanalizace
Q_p... průměrný denní průtok
Q_m... maximální denní průtok
Q_h... maximální hodinový průtok
Q_{min}... minimální hodinový průtok
k_h... koeficient hodinové nerovnoměrnosti
k_d... koeficient denní nerovnoměrnosti
MZ... Ministerstvo zdravotnictví
NMH... nejvyšší mezná hodnota
MH ... mezná hodnota
DH ... doporučená hodnota

SEZNAM PŘÍLOH

1. Přehledná situace vodovodní sítě M 1:8000
2. Výsledky hydraulické analýzy – současný stav – minimální hydrodynamické tlaky M 1:8000
3. Výsledky hydraulické analýzy – současný stav – hydrostatický tlak M 1:8000

SUMMARY

This bachelor thesis is focused on the creation of a hydraulic model of the water supply network of the municipality of Poličná and on the assessment of this network on the pressure conditions in the consumption area.

In the introductory chapter the basic relations for the calculations in pressure pipe systems are presented. Furthermore, the theory of mathematical modelling in pipe systems is described. The principles and conditions for the development of the model that must be fulfilled are listed. The next part of this chapter is devoted to the software tools that can be used for mathematical modelling and the focus is on the available software application EPANET 2.2, developed in the United States of America. As the second software tool that has been used within this thesis, the MIKE URBAN software has been described.

The second chapter of the thesis is devoted to the municipality of Poličná, for which a quasi-dynamic hydraulic model of its water supply network was created. In the first part, the municipality Poličná, its location and the character of the built-up area were presented. Then the method of supplying the municipality with drinking water is presented in detail and the individual objects on the water supply network are described. These objects include the Poličná water reservoir, the Poličná ATS and the Poličná - Úlehla ATS. Basic information on the municipality's water supply system was obtained from the water supply system operator, VAK Vsetín, a.s. A water consumption analysis was also prepared from the provided hourly data for the year 2020, on which the model construction was based. A metering campaign was run on the network between 25 March 2022 and 1 April 2022. During this metering campaign, 2 pressure sensors were installed to record pressure waveforms on the network at one second intervals. This campaign was divided into two parts. In the first part of the measurement, sensors were fitted to the ends of both pressure bands and in the second part, sensors were fitted to two selected locations on the gravity band. The measured data were used to calibrate and verify the hydraulic model.

On the basis of the developed hydraulic model, the pressure conditions on the water supply network of the municipality of Poličná were assessed. Minimum and maximum pressures were assessed. The hydraulic analysis showed that almost all parts of the Poličná water supply network comply with Decree 428/2001 Coll. Only in one part of the village the maximum pressure slightly exceeds the maximum value of 0.6 MPa. The hydraulic model shows a maximum pressure of 0.606 MPa in this area, the difference can be considered negligible.

In the last chapter, measures were recommended for the future state of development based on the Poličná municipality master plan. In this assessment, a new ATS was proposed for the new planned development. The site is located in a location where the terrain rises. At this location it can be assumed that without the new measure the conditions of Decree No 428/2001 Coll. would not be met.

The bachelor thesis met all the objectives set. This hydraulic model can be used for the operation of the water supply network or as a basis for the aforementioned extension of the water supply network. The model can also be used to draw up a cleaning plan for the water supply network.

One copy of the bachelor thesis will be handed over to the mayor of the municipality of Poličná and the other copy will be provided to the operator of the water supply network VAK Vsetín, a. s.