



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# HYDRAULICKÁ ANALÝZA VODOVODNÍ SÍTĚ OBCE OSTOPOVICE

HYDRAULIC ANALYSIS OF THE WATER SUPPLY NETWORK OF THE MUNICIPALITY  
OF OSTOPOVICE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zdeněk Jaroš

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Zdeněk Jaroš
<b>Název</b>	Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Ostopovice
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

---

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 diplomové práce bude vytvořen podrobný kvazidynamický hydraulický model celé vodovodní sítě obce Ostropovice, 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 DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

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

## ABSTRAKT

Práce je zaměřena na hydraulickou analýzu vodovodní sítě obce Ostopovice, okres Brno-venkov. V rámci práce byl proveden terénní průzkum spotřebiště a následně vytvořen podrobný kvazidynamický hydraulický simulační model vodovodní sítě. Sestavený hydraulický model byl následně kalibrován a verifikován na základě měření hydraulických veličin na vodovodní síti. V modelu jsou simulovány charakteristické provozní stavy vodovodu. S využitím výsledků hydraulické analýzy byly posouzeny tlakové poměry s ohledem na stávající rozsah a typ zástavby, zohledňuje se také výhledový rozsah zástavby v návaznosti na platný územní plán obce. Součástí práce jsou také navržená opatření vedoucí k optimalizaci tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Ostopovice.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulická analýza, kalibrace, verifikace, vodovodní síť, tlakové poměry

## ABSTRACT

The theses focuses on a hydraulic analysis of a water supply network of a village called Ostopovice, located in South Moravia. Theses presents a detailed quasi-dynamic hydraulic simulation of the water supply network based on own consumer field survey. Subsequently, the assembled model was calibrated and verified by hydraulic data measured on the water supply network. The model was made to simulate characteristic water supply system operating conditions. Using the hydraulic analysis results, the theses assesses network pressure conditions with regards to the existing building range and type, taking into the account the extent of expected house development of the area. The work concludes with a proposition for measures leading to the water supply network pressure conditions optimization.

## KEY WORDS

Hydraulic analysis, calibration, verification, water supply network, network pressure conditions

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Zdeněk Jaroš *Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Ostopovice*. Brno, 2021. 108 s., 12 s. příl. Diplomová 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 diplomové práce s názvem *Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Ostopovice* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 7. 1. 2021

---

Bc. Zdeněk Jaroš  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Ostopovice* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 1. 2021

---

Bc. Zdeněk Jaroš  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Ručkovi, Ph.D., za užitečné rady, věcné připomínky a trpělivost během konzultací.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>Stručná historie vodovodů na jižní Moravě a Vysočině .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b>	<b>Stávající stav zásobování pitnou vodou v ČR.....</b>	<b>5</b>
1.2.1	Období sucha v ČR.....	5
1.2.2	Zásobování vodou z vodovodů v ČR.....	7
<b>1.3</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>HYDRAULICKÉ SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍ SÍTĚ .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Tlakový průtok potrubím při ustáleném režimu .....</b>	<b>11</b>
2.1.1	Průtoková rovnice.....	12
2.1.2	Rovnice kontinuity .....	12
2.1.3	Bernoulliho rovnice .....	12
2.1.4	Tlakové ztráty.....	13
2.1.5	Dimenzování vodovodních řadů.....	15
<b>2.2</b>	<b>Hydraulické modelování v reálném čase .....</b>	<b>15</b>
2.2.1	Současnost v hydraulickém modelování.....	15
2.2.2	Historický vývoj hydraulických simulačních modelů .....	16
2.2.3	Proč v budoucnu používat real-time modelování .....	17
2.2.4	Navržená struktura real-time hydraulického modelu.....	19
2.2.5	Příklady real-time modelování v praxi .....	20
2.2.6	Software pro real-time hydraulické modelování.....	25
<b>3</b>	<b>ŘEŠENÁ LOKALITA – VODOVODNÍ SÍŤ OBCE OSTOPOVICE .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Zájmové území.....</b>	<b>30</b>
3.1.1	Počet obyvatel .....	32
3.1.2	Hospodářství a průmysl v obci .....	32
3.1.3	Občanská vybavenost obce.....	32
<b>3.2</b>	<b>Vodovod obce Ostopovice .....</b>	<b>34</b>
3.2.1	Zdroj vody .....	36
3.2.2	Čerpací stanice, hygienické zabezpečení.....	37
3.2.3	Výtlačný řad do vodojemu .....	38
3.2.4	Vodojem .....	39
3.2.5	Popis zásobovacího systému obce.....	44
3.2.6	Provozovatel vodovodu .....	46
3.2.7	Měření průtoků, tlaků a hladiny v zásobovacím systému.....	46
3.2.8	Napojení vodovodu obce na Vířský oblastní vodovod .....	47
3.2.9	Analýza spotřeby vody .....	48
<b>3.3</b>	<b>Terénní průzkum.....</b>	<b>52</b>
<b>3.4</b>	<b>Měrná kampaň na vodovodní síti.....</b>	<b>52</b>



3.4.1	Osazení tlakových čidel.....	53
<b>3.5</b>	<b>Vyhodnocení měrné kampaně .....</b>	<b>55</b>
<b>3.6</b>	<b>Analýza nejistot.....</b>	<b>57</b>
3.6.1	Nejistota typu A.....	57
3.6.2	Nejistota typu B .....	58
3.6.3	Kombinovaná standardní nejistota .....	60
3.6.4	Rozšířená standardní nejistota U .....	60
<b>3.7</b>	<b>Aplikace nejistot na data získaná měrnou kampaní.....</b>	<b>60</b>
<b>3.8</b>	<b>Tvorba hydraulického modelu .....</b>	<b>66</b>
3.8.1	Tlaková pásma.....	66
3.8.2	Topologie, výškopis sítě.....	66
3.8.3	Objekty na vodovodní síti.....	67
3.8.4	Uzlové odběry .....	67
3.8.5	Kalibrace hydraulického modelu.....	67
3.8.6	Verifikace hydraulického modelu.....	69
<b>3.9</b>	<b>Posouzení stávajících tlakových poměrů ve vodovodní síti.....</b>	<b>70</b>
3.9.1	Minimální hydrodynamický tlak .....	70
3.9.2	Maximální hydrostatický tlak.....	72
<b>3.10</b>	<b>Stáří vody ve vodovodní síti.....</b>	<b>73</b>
<b>3.11</b>	<b>Posouzení tlakových poměrů s ohledem na výhledový stav zástavby.....</b>	<b>74</b>
3.11.1	Minimální hydrodynamický tlak .....	78
	.....	79
3.11.2	Maximální hydrostatický tlak.....	79
3.11.3	Návrh opatření k optimalizaci tlakových poměrů.....	80
<b>4</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>91</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>104</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>107</b>

---

<b>SUMMARY.....</b>	<b>108</b>
---------------------	------------

# 1 ÚVOD

## 1.1 STRUČNÁ HISTORIE VODOVODŮ NA JIŽNÍ MORAVĚ A VYSOČINĚ

Jedny z prvních vodovodů se v Čechách a na Moravě datují již do středověku. Nejstarší dochovanou zprávou je listina markraběte Jošta, pocházející z roku 1378. Z této listiny pochází zmínky o vodovodu v Jihlavě. Další zmínkou z roku 1390 je například klášterní vodovod ve městě Znojmě, z roku 1468 je dochována první zmínka o veřejném vodovodu, který využíval jako zdroje čtyři studny v obci Přímětice. V následujících obdobích vznikaly nové vodovody především ve větších městech, či důležitých sídlech. Mechanismus dopravy vody tvořilo dřevěné potrubí a jako zdroje sloužily rybníky a studny, voda byla také dopravována z různých pramenů do kašen nacházejících se na náměstích. [23]

K významnějšímu rozmachu vodovodů však začalo docházet od roku 1860 do konce devatenáctého století. V těchto letech docházelo k výstavbě a uvedení do provozu moderních vodovodů především ve Znojmě, Jihlavě, Třebíči nebo Židlochovicích. Během dvacátého století k budování moderních vodovodů sáhla převážná většina sídel. [23]

Zásobování a odkanalizování bylo v kompetenci měst a obcí. Před druhou světovou válkou byl tento koncept vlastnictví a provozování vodovodů a kanalizací nejčastější. Vodárenská družstva byla zakládána v případech, že vodovod sloužil společně více obcím. Po druhé světové válce došlo k podstatným změnám. Patrnou změnou bylo zřízení krajské vodohospodářské správy v roce 1951. Tato správa se soustředila na řízení v oblasti vodovodů, kanalizací, vodních toků a meliorace. Vodohospodářská infrastruktura tak přešla do vlastnictví státu, výjimku tvořily pouze malé vodovody a kanalizace, které zůstaly ve správě obcí. [23]

V roce 1960 došlo k reorganizaci státu a tím k vzniku okresní vodohospodářské správy, která provozovala vodovody, kanalizace, ale také vodní toky. Těchto správ bylo v Jihomoravském kraji celkem čtrnáct. S těmito správami však byly značné problémy, především v oblasti koordinace provozu vodních toků, a tak došlo roku 1966 ke vzniku správ povodí. [23]

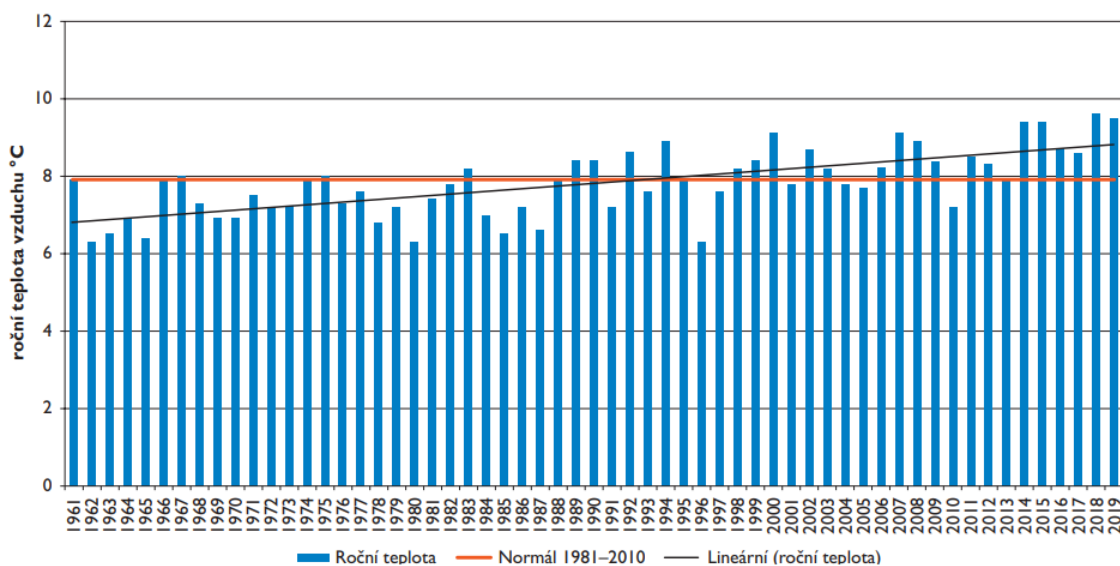
K další změně došlo roku 1977, kdy byly zřizovány krajské podniky – pro Jihomoravský kraj to byly Jihomoravské vodovody a kanalizace. Z okresních vodohospodářských správ se staly samostatné závody, kterých bylo v Jihomoravském kraji celkem čtrnáct. Takové složení bylo platné do roku 1988, kdy došlo k osamostatnění Brněnských vodovodů a kanalizací. V roce 1990 následovalo osamostatnění dalších podniků v okresech Břeclav, Hodonín, Kroměříž a Prostějov. Vlivem legislativních změn začala přecházet zodpovědnost za zásobování vodou ze státu na obce a infrastruktura byla následně předána do rukou obcím a svazkům. V šesti okresech v jihozápadní Moravě se vlastníky velké většiny vodárenské infrastruktury staly svazky obcí a měst. [23]

## 1.2 STÁVAJÍCÍ STAV ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU V ČR

### 1.2.1 Období sucha v ČR

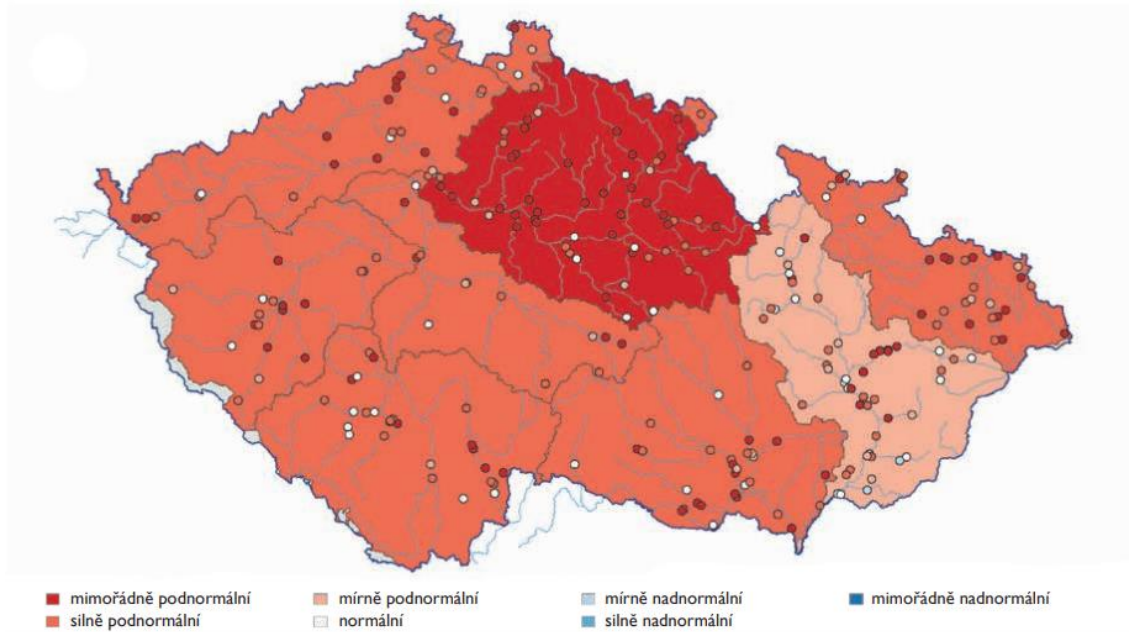
Období sucha se v ČR začíná datovat rokem 2014, nejvíce suché roky byly 2015 a 2018. Rok 2019 byl pak s průměrnou roční teplotou 9,5 °C druhým nejteplejším rokem od roku 1961. Sucho jako takové je způsobeno nedostatkem atmosférických srážek, od roku 2014 byly všechny roky, kromě roku 2017, srážkově podprůměrné. Jedním z negativních faktorů je vysoká teplota vzduchu, která způsobuje vyšší ztráty vody např. výparem a transpirací. Dlouhodobě se v průměru teplota v ČR pozvolna zvyšuje. Trend rostoucích teplot je patrný z grafu 1.1. [37]

Graf 1.1 Roční průměrné teploty v ČR 1961-2019 [37]



### *Mělké vrty – hladina podzemní vody (v roce 2019)*

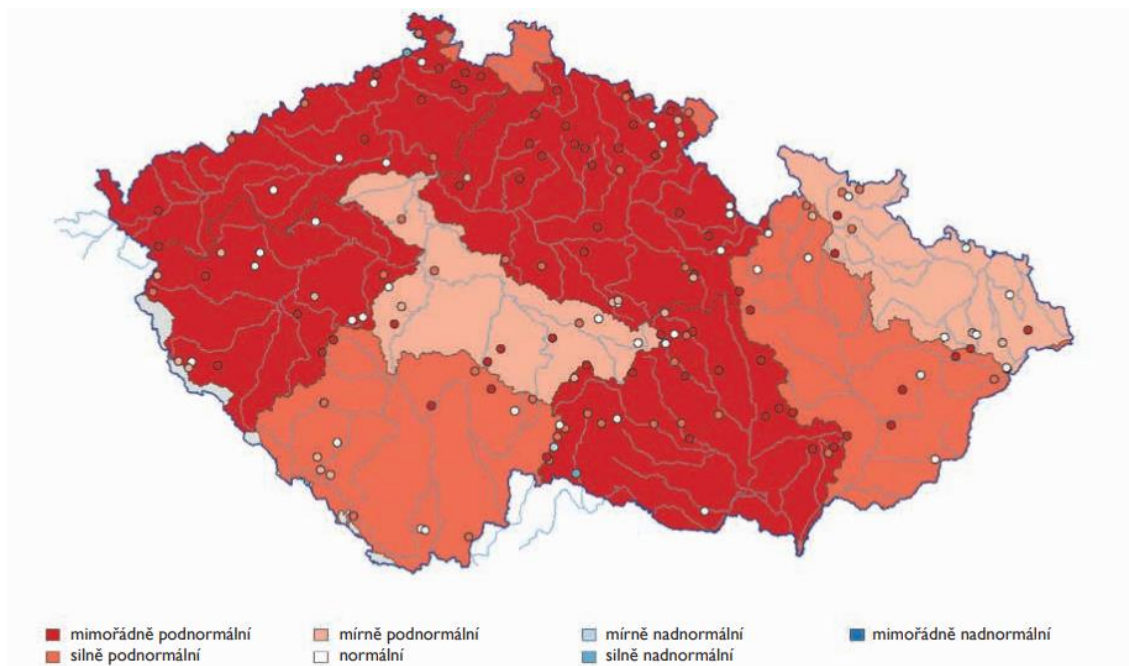
V období od ledna do března byla hladina podzemních vod většiny mělkých vrtů na normální úrovni. Ve vegetačním období nastává výrazný pokles hladiny, koncem dubna bylo až 82 % těchto mělkých vrtů na úrovni silného až mimořádného sucha. V květnu a červnu došlo k nepatrnému zlepšení. V červenci došlo opět k poklesu hladiny podzemních vod a tento měsíc byl klasifikován také jako nejsušší. Zlepšení bylo patrné až s nástupem podzimu, ale v prosinci došlo k opětovnému poklesu hladin podzemní vody na celém území ČR, kromě povodí Moravy, kde zůstaly hladiny v normálním stavu, u ostatních povodí byl patrný stav silně podnormální úrovně hladiny podzemní vody. [37]



Obrázek 1.1 Stav hladin mělkých vrtů v červenci 2019 [37]

### ***Prameny – vydatnost (v roce 2019)***

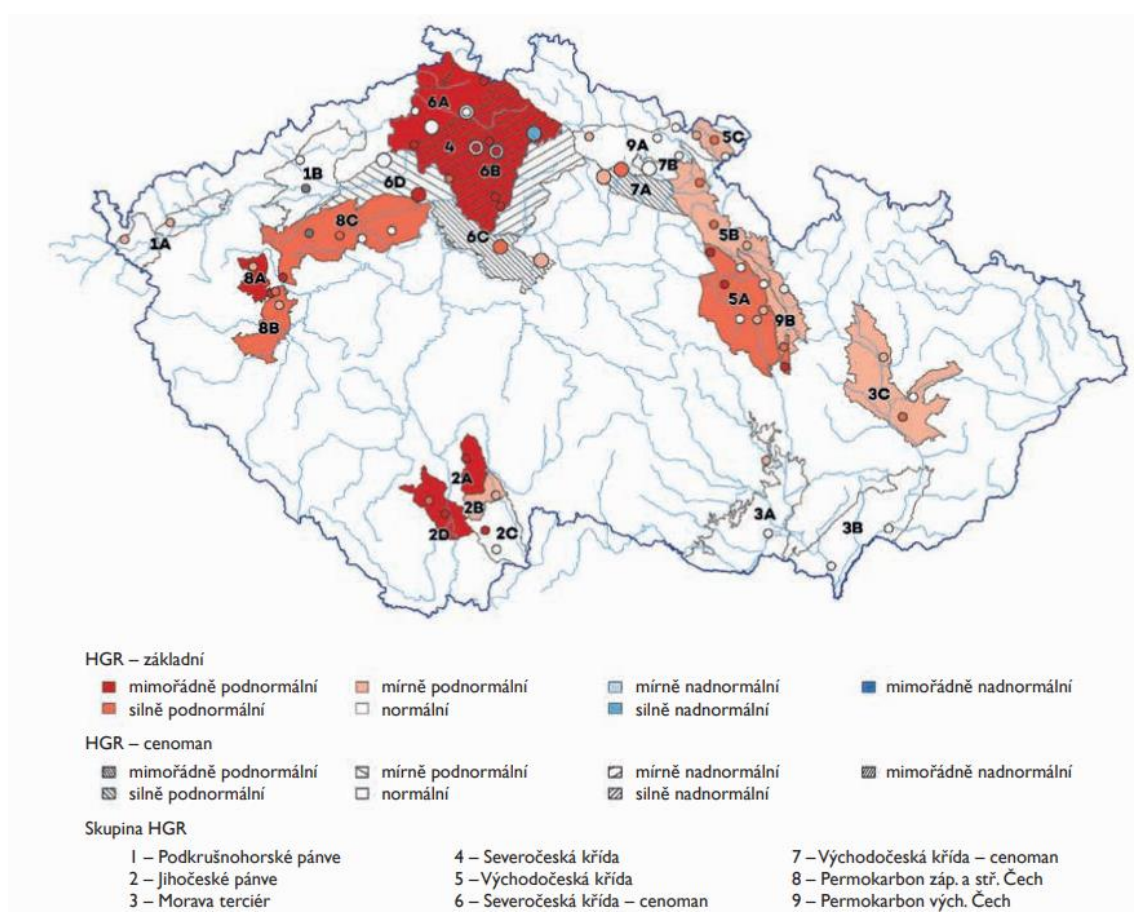
Ke snižování vydatnosti pramenů začalo docházet, stejně jako u mělkých vrtů, s nástupem vegetačního období. V dubnu roku 2019 byla již většina pramenů na úrovni silného až mimořádného sucha. Nejnižší vydatnosti bylo dosaženo v první polovině května, kde 69 % pramenů v ČR dosahovalo hodnot silně až mimořádně podnormálních. Mezi nejvíce zasažené oblasti patřilo povodí horního, středního a dolního Labe, povodí Dolní Vltavy, povodí Dyje. V těchto zmíněných povodích trvalo silné až mimořádné sucho od dubna až do prosince, k mírnému zlepšení došlo v období června. [37]



Obrázek 1.2 Stav vydatnosti pramenů v srpnu 2019 [37]

### ***Hluboké vrty – hladina podzemní vody (v roce 2019)***

Hladina podzemních vod u většiny hlubokých vrtů byla po celý rok 2019 silně nebo mimořádně podnormální. Nejhorší stav hladin byl v květnu – u 42 % vrtů byla hladina silně nebo mimořádně podnormální, téměř totožné stavy nastaly v období od července do září. Naopak v těchto měsících bylo 40 % vrtů s hladinou v normálu. [37]



**Obrázek 1.3 Stav hladiny podzemních vod v hlubokých vrtech v srpnu 2019 [37]**

### **1.2.2 Zásobování vodou z vodovodů v ČR**

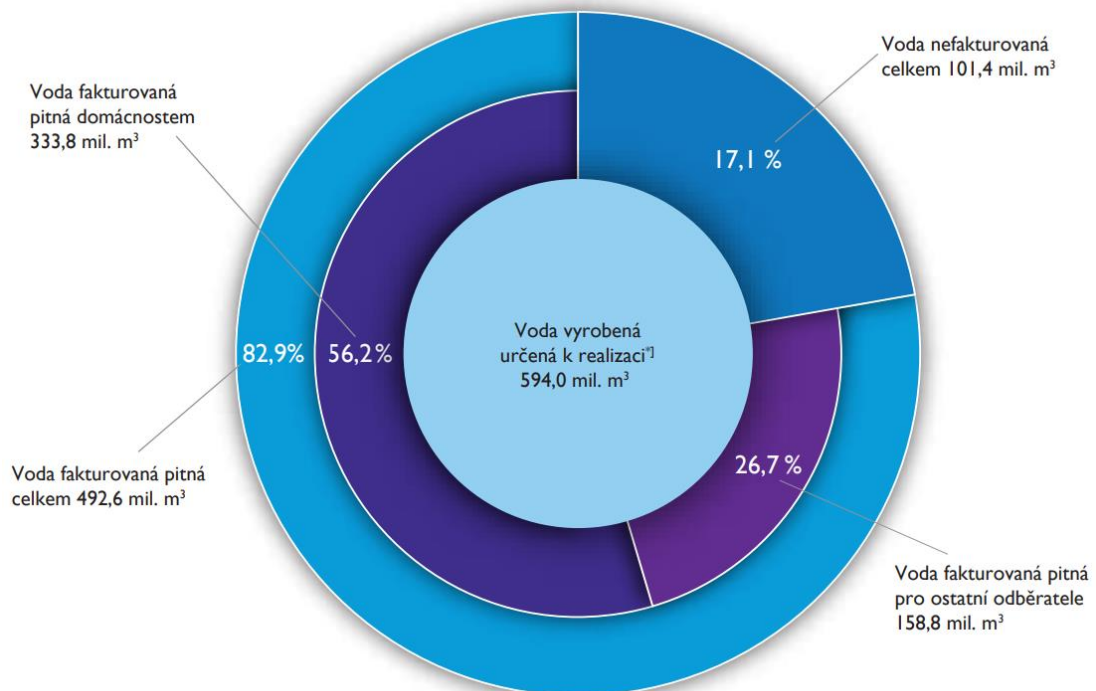
Dle dat ČSÚ bylo v ČR v roce 2019 z vodovodů zásobováno na 10,09 mil. obyvatel, což odpovídá cca 94,6 % z celkového počtu žijících obyvatel na území ČR. Celkové množství vyrobené pitné vody v tomto roce činilo 602,4 mil. m<sup>3</sup>, voda fakturovaná činila 492,6 mil. m<sup>3</sup>, z čehož 333,8 mil. m<sup>3</sup> připadalo na domácnosti. Ztráty pitné vody činily 86,3 mil. m<sup>3</sup> (14,5 % z vody určené k realizaci). V roce 2019 dosahovalo specifické množství vody fakturované 133,8 l/os/den a voda fakturovaná domácnostem 90,6 l/os/den. Oproti předchozím rokům je tedy evidentní nárůst u množství vody fakturované celkem, jak je patrné z tabulky 1.1. [36]

**Tabulka 1.1 Zásobování vodou z vodovodů v letech 1989, 2014–2019 [36]**

Ukazatel	Měrná jednotka	1989	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Obyvatelé (střední stav)	tis. obyv.	10 364	10 525	10 543	10 565	10 584	10 626	10 669
Obyvatelé skutečně zásobovaní vodou z vodovodů	tis. obyv.	8 537,0	9 917,2	9 929,7	9 972,5	10 027,4	10 064,1	10 090,1
	%	82,4	94,2	94,2	94,4	94,7	94,7	94,6
Voda vyrobená z vodovodů	mil. m <sup>3</sup> /rok	1 251,0	575,4	599,6	593,3	603,8	609,7	602,4
	% k 1989	100,0	46,0	47,9	47,4	48,3	48,7	48,2
Voda fakturovaná celkem	mil. m <sup>3</sup> /rok	929,4	468,7	476,8	478,9	482,0	490,4	492,6
	% k 1989	100,0	50,4	51,3	51,5	51,9	52,8	53,0
Specifická potřeba z vody vyrobené	l/os. den	401,0	158,9	165,4	162,5	164,9	165,9	163,5
	% k 1989	100,0	39,6	41,2	40,5	41,1	41,4	40,8
Specifická množství vody fakturované celkem	l/os. den	298,0	129,4	131,5	131,2	131,7	133,5	133,8
	% k 1989	100,0	43,4	44,1	44,0	44,2	44,7	44,9
Specifická množství vody fakturované pro domácnost	l/os. den	171,0	87,3	87,9	88,3	88,7	89,2	90,6
	% k 1989	100,0	51,0	51,4	51,6	51,8	52,2	52,3
Ztráty vody na 1 km řadů	l/km den	16 842,0 <sup>9)</sup>	3 417,2	3 519,3	3 167,9	3 409,4	3 303,5	2 993,5
Ztráty vody na 1 zásob. obyvatele	l/os. den	90,0 <sup>9)</sup>	26,5	27,3	24,7	26,7	25,8	23,4

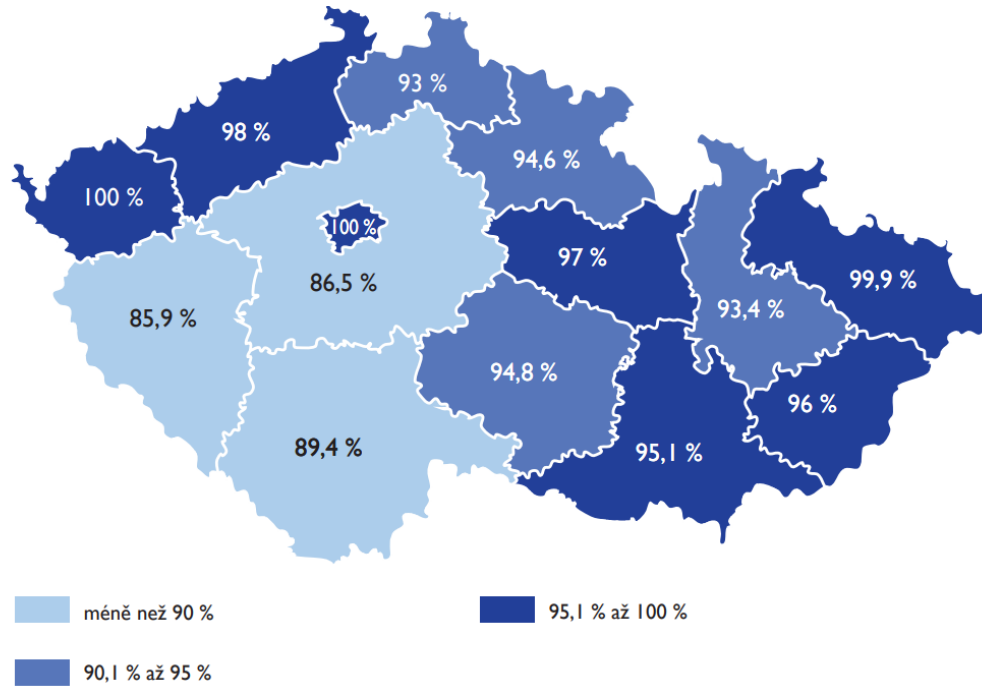
Celková délka vodovodní sítě za rok 2019 dosahovala 78 983 km, oproti předchozímu roku tak došlo k prodloužení o nově vybudovaných 233 km. [36] Grafické vyjádření vody vyrobené určené k realizaci, včetně dílčích složek, je patrný z grafu 1.2.

**Graf 1.2 Schéma využití vody vyrobené určené k realizaci v roce 2019 [37]**



Nejvíce zásobených obyvatel pitnou vodou bylo v roce 2019 v Karlovarském kraji (100 %), Praha (100 %), Moravskoslezský kraj (99,9 %), nejnižšího podílu zásobených obyvatel bylo naopak dosaženo v Plzeňském kraji (85,9 %) a ve Středočeském kraji (86,5 %). [36] Podrobnější procentuální vyjádření napojenosti obyvatel na vodovodní síť je patrné z grafu 1.3.

**Graf 1.3 Zásobování obyvatel vodou z vodovodů v roce 2019 [37]**



V roce 2019 průměrná cena vodného činila 39,30 Kč/m<sup>3</sup> bez DPH, stočného pak 34,70 Kč/m<sup>3</sup> bez DPH. [37] Z tabulky 1.2 jsou patrné průměrné ceny vodného a stočného, v jednotlivých krajích, v roce 2019.

**Tabulka 1.2 Průměrné ceny vodného a stočného, v jednotlivých krajích, v roce 2019 [37]**

Území, kraj	Cena pro vodné (bez DPH)	Cena pro vodné (s DPH)	Cena pro stočné (bez DPH)	Cena pro stočné (s DPH)	Cena pro vodné a stočné (bez DPH)	Cena pro vodné a stočné (s DPH)
	Kč · m <sup>-3</sup>	Kč · m <sup>-3</sup>	Kč · m <sup>-3</sup>	Kč · m <sup>-3</sup>	Kč · m <sup>-3</sup>	Kč · m <sup>-3</sup>
Liberecký	44,80	51,52	42,90	49,34	87,70	100,86
Ústecký	44,20	50,83	41,80	48,07	86,00	98,90
Hl. město Praha	42,70	49,11	35,30	40,60	78,00	89,70
Středočeský	41,90	48,19	34,20	39,33	76,10	87,52
Karlovarský	40,10	46,12	36,80	42,32	76,90	88,44
Pardubický	35,90	41,29	37,30	42,90	73,20	84,18
Královéhradecký	36,10	41,52	35,60	40,94	71,70	82,46
Jihomoravský	36,10	41,52	36,20	41,63	72,30	83,15
Zlínský	37,20	42,78	32,00	36,80	69,20	79,58
Plzeňský	40,80	46,92	30,50	35,08	71,30	82,00
Jihočeský	37,60	43,24	29,90	34,39	67,50	77,63
Moravskoslezský	36,20	41,63	32,90	37,84	69,10	79,47
Vysočina	38,50	44,28	28,80	33,12	67,30	77,40
Olomoucký	34,10	39,22	33,90	38,99	68,00	78,20
<b>Česká republika</b>	<b>39,30</b>	<b>45,20</b>	<b>34,70</b>	<b>39,91</b>	<b>74,00</b>	<b>85,10</b>



### 1.3 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vytvoření kvazidynamického hydraulického modelu vodovodní sítě obce Ostopovice. Před započítím měrné kampaně a samotné stavby hydraulického modelu byl proveden podrobný terénní průzkum celého spotřebiště. Vytvořený hydraulický model byl kalibrován a poté verifikován na základě, během měrné kampaně, naměřených hydraulických veličin. Simulovány byly charakteristické provozní stavy a v závěrečné fázi práce bylo provedeno posouzení tlakových poměrů se zohledněním stávajícího i výhledového rozsahu zástavby. V samotném závěru práce bylo navrženo a modelováno opatření, které povede ke zlepšení hydraulických poměrů na vodovodní síti.

## 2 HYDRAULICKÉ SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍ SÍTĚ

Hydraulické modelování vodovodních sítí může sloužit k provozování a s ním souvisejícímu řízení stávající vodovodní sítě, k tvorbě projektů nových vodovodních sítí, rozšiřování, sanace nebo úpravě stávajících vodovodů. Hydraulických modelů se velmi často využívá také k analýze kvality vody v již fungujících vodovodních sítích. Informace z hydraulického modelu mohou dále posloužit k ověření kapacity vodovodů a následně potvrdit či vyvrátit možnost napojení nových odběratelů. Základem správného a přesného modelu je jeho verifikace a kalibrace, která je provedena na základě reálných hodnot naměřených na vodovodní síti. [1]

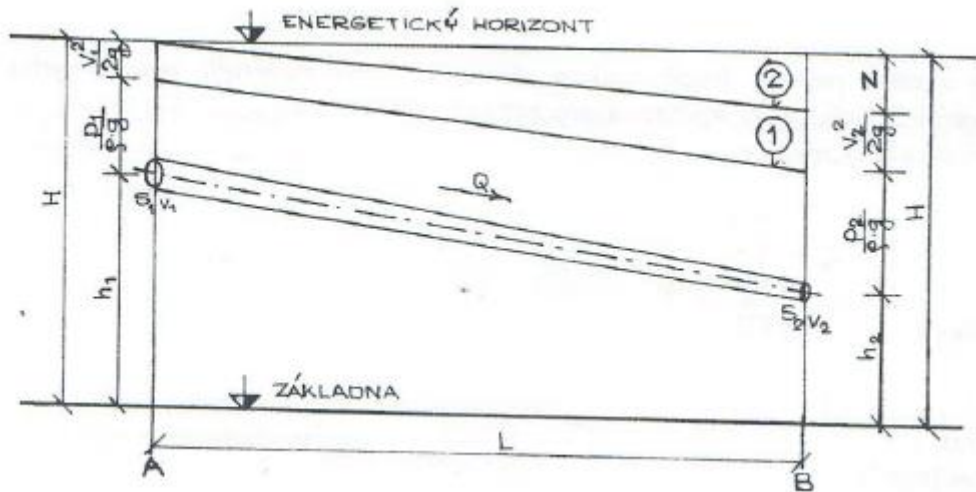
Hydraulické modely vodovodních sítí se dělí na:

### Podle časového charakteru

- *Stacionární modely* – ustálené proudění, které je v celém časovém kroku neměnné. Jsou charakteristické jedním konkrétním zatěžovacím stavem v daném časovém kroku s odpovídajícími odběry ze sítě. [1]
- *Dynamické modely* – neustálené proudění. Modely reprezentované změnou tlakových a průtokových poměrů. Časový krok je velmi krátký, pohybující se v řádu sekund, či méně. Dynamické modely jsou používány především k simulaci vodních rázů, které mohou způsobovat poškození potrubí nebo armatur. [1]
- *Kvazi-dynamické modely* – jedná se o posloupnost stacionárních modelů, při kterých dochází ke změně zatěžovacích stavů na vodovodní síti. Časový interval mezi jednotlivými posloupnostmi jsou minuty až hodiny. Ke změně proudění však může dojít (např. změna hladiny ve vodojemu), ale pouze na rozhraní časových intervalů. Po dobu celého časového intervalu je tedy proudění konstantní [1]

### 2.1 TLAKOVÝ PRŮTOK POTRUBÍM PŘI USTÁLENÉM REŽIMU

V drtivé většině hydraulických modelů vodovodních sítí se jedná o turbulentní proudění v uzavřených profilech. Turbulentní proudění je takové proudění, při kterém voda protéká plným průřezem a tlak se v různých místech liší od atmosférického. K vyjádření tlakových poměrů se v hydraulice využívá grafického zobrazení tlakové čáry (obr.2.1), která udává hodnotu tlakové výšky a volné hladiny. Při navrhování a posuzování dimenzí vodovodního potrubí je třeba brát v potaz, že dochází k naplnění předpokladů ustáleného průtokového režimu. Při proudění vody uvnitř potrubí tak dochází ke vzniku tlakových ztrát, které vznikají třením vody o vnitřní strany potrubí a vlivem místních odporů. [2]



Obrázek 2.1 Ustálené tlakové proudění v potrubí (1 – tlaková čára, 2 – energie) [2]

Při tlakovém proudění v hydraulice rozvodných sítí se uplatňují následující rovnice:

### 2.1.1 Průtoková rovnice

Je vyjádřením objemu vody ve vodovodním potrubí za jednotku času.

$$Q = v S \quad (2.1)$$

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

$S$  ... plocha průtočného průřezu potrubí [ $\text{m}^2$ ],

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

### 2.1.2 Rovnice kontinuity

Neboli rovnice spojitosti, vyjadřuje zákon zachování hmotnosti v diskrétní podobě.

$$Q = v_1 S_1 = v_2 S_2 = v_3 S_3 = \text{konst.} \quad (2.2)$$

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

$S$  ... plocha průtočného průřezu potrubí [ $\text{m}^2$ ],

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

### 2.1.3 Bernoulliho rovnice

Je vyjádřením zákona zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny. Udává fakt, že součet polohové, tlakové výšky a rychlostní výšky je stálý pro všechny průřezy. Při pohybu kapaliny uvnitř potrubí dochází ke tření o stěny a ke vnitřnímu tření v kapalině. Tímto jevem dochází ke změně určité části mechanické energie např. na energii tepelnou. [3]

Přeměna energie se v hydraulice značí jako ztráta  $h_z$  a vyjadřuje úbytek energetické výšky.

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_z \quad (2.3)$$

$\frac{p}{\rho g}$  ... je tlaková výška [m]

$\frac{\alpha v^2}{2g}$  ... je rychlostní výška [m]

Kde:  $h$ ...polohové výšky [m],

$P$  ... tlak [Pa],

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

$\alpha$ ... Coriolisovo číslo,

$v$ ... rychlost kapaliny [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$h_z$ ... ztrátová výška [m].

#### 2.1.4 Tlakové ztráty

K tlakovým ztrátám dochází při proudění kapaliny uvnitř potrubí. Celkové tlakové ztráty se skládají ze dvou ztrát: ztráty místní a ztráty třením. [2]

$$h_z = h_t + h_m \quad (2.4)$$

Kde:  $h_t$  ... ztráta třením [m],

$h_m$  ... ztráta místní [m].

#### *Ztráty třením*

Ztráty třením značíme  $h_t$  a vznikají při tření kapaliny uvnitř potrubí o stěny. Liší se v závislosti na použitém materiálu konkrétního potrubí (především vlivem rozdílných drsností), délce potrubí, průměru potrubí a průtočné rychlosti uvnitř potrubí. Jedná se o tření, které vzniká třením kapaliny po délce potrubí. Ztráta třením narůstá úměrně se zvětšující se délkou potrubí. Ztráty třením se v hydraulice počítají dle vztahu Darcy-Weissbach. [2], [3]

$$h_t = \lambda \frac{L}{D} \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (2.5)$$

Kde:  $\lambda$  ... součinitel tření,

$L$  ... délka potrubí [m],

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

Součinitel tření lze stanovit v závislosti na režimu proudění podle několika rozdílných vzorců. Pro vodovody lze univerzálně využívat vzorce podle vztahu White-Colebrook. [2]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{2,51}{\text{Re} * \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 * D}\right) \quad (2.6)$$

- Kde: Re ... Reynoldsovo číslo [-],  
D ... průměr potrubí [m],  
k ... absolutní drsnost potrubí [m].

Pro výpočet součinitele tření je nejdříve třeba spočítat tzv. Reynoldsovo číslo

$$\text{Re} = \frac{v * D}{\nu} \quad (2.7)$$

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

Kinematická viskozita je závislá na teplotě a s rostoucí teplotou klesá.

### ***Ztráty místní***

Prakticky mají význam především u hydraulicky krátkých potrubí, jimiž mohou být např. shybky, sací potrubí čerpadel apod. Místní ztráty způsobují především lomy na potrubí, zúžení nebo rozšíření, případně různé druhy armatur (šoupátka, klapky, ventily). [3]

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

Kde:  $\xi$  ... součinitel místní ztráty, který závisí na rozměru a druhu odporu (najdeme ho v tabulkách).

**S místní ztrátou je vhodné počítat pokud:**

$$\frac{l}{d} \leq 1000 \quad (2.9)$$

- Kde: l ... délka potrubí [m],  
d ... světlost potrubí [m].

**Místní ztrátu lze zanedbat pokud:**

$$\frac{l}{d} > 1000 \quad (2.10)$$

V tomto případě se jedná o hydraulicky dlouhé potrubí a místní ztráty jsou zanedbatelné vůči ztrátám třecím. [2]

Kde:  $l$  ... délka potrubí [m],

$d$  ... světlost potrubí [m].

### 2.1.5 Dimenzování vodovodních řadů

Při dimenzování vodovodního potrubí je vždy nutné stanovit potřebnou průřezovou plochu profilu, která vychází z návrhového průtoku, materiálu potrubí. Doporučené hodnoty rychlostí ve vodovodním potrubí by neměly přesahovat následující hodnoty: [2]

- Potrubí rozvodné sítě:  $v = 0,8 - 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Potrubí gravitačních zásobních řadů:  $v = 1,0 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Potrubí výtlačných řadů:  $v = 0,6 - 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Sací potrubí:  $v = 0,5 - 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

## 2.2 HYDRAULICKÉ MODELOVÁNÍ V REÁLNÉM ČASE

Hydraulické simulační modely vodovodních sítí se běžně používají pro účely návrhu nových a provozování již vybudovaných vodovodních sítí. Často však není využito jejich plného potenciálu, protože v EU jsou tyto modely ve většině případů kalibrovány z dat naměřených v terénu během jediného historického časového horizontu a postrádají tak aktuálnost. V těchto případech kalibrované modely odrážejí provozní podmínky sítě, které v daném období převládaly. Pro možnost zajištění aktivní správy vodovodní sítě musí být použity hydraulické modely, které budou obsahovat informace o aktivních prvcích sítě. Tyto hydraulické modely musí být schopny přistupovat k aktuálním informacím o síti a na základě nich řídit požadované simulace. Dříve byly tyto možnosti limitovány vysokými nároky na sběr a přenos dat z terénu. Nedávné inovace a snížení nákladů na přenos a sběr dat mají za následek rostoucí počet senzorů na vodovodních sítích, které jsou schopny automaticky přenášet data z místa měření do místa použití. V důsledku toho mají vodohospodáři přístup ke stálému proudu aktuálních dat, což potenciálně umožňuje novou éru „real-time“ modelování. [4]

### 2.2.1 Současnost v hydraulickém modelování

Každodenní provoz systémů zásobování vodou řídí kvalifikovaný personál, který na základě svých zkušeností a odborného úsudku spravuje ovládací prvky, jako jsou čerpadla, ventily, šoupata apod., aby zajistil požadavky zásobování vodou. Jelikož spotřeba vody má tendenci sledovat opakované vzorce, personál chápe, co je potřebné

pro zajištění běžného provozu, pokud ale dojde k neplánované události jako je porucha na potrubí, musí často reagovat reaktivním způsobem, obvykle na základě nedostatečných informací, které poskytl např. zákazníci jež událost postihla. Pro zlepšení standardů poskytování služeb je třeba přejít od reaktivního přístupu k proaktivnější strategii řízení. Jedním z nástrojů, které lze pro dosažení tohoto posunu použít, je simulační model hydraulické sítě. K softwaru pro hydraulickou simulaci ve vodním hospodářství patří např. EPANET (US Environmental Protection Agency), Aquis (7T), Infoworks (Wallingford software), SynerGEE (Advantica). Tyto simulační softwarové balíčky umožňují implementaci hydraulických modelů vodovodních distribučních sítí. [4]

### ***Konvenční modelování vodovodních distribučních sítí***

Klasický simulační hydraulický model distribuční sítě se skládá z informací o vodovodní infrastruktuře, včetně délek potrubí, průměrů, konektivity, topografie sítě a dalších dynamických parametrů, jako jsou odběry, čerpadla, vodojemy a různé ventily. Modely se běžně používají k simulaci proudění a tlaku za období 24 hodin, čímž je poskytnut dostatek informací. Tyto modely se převážně používají pro správu sítě, řízení úniků a návrh schémat snižování tlaků. [4]

### ***Modelování distribučních sítí v reálném čase (real-time modelování)***

Real-time simulační model vyžaduje stejné informace jako konvenční model, ale pro okrajové podmínky výpočtu využívá aktuální data v reálném čase. Real-time model je schopen zobrazit aktuální stav a předpověď pro několik příštích časových kroků na základě aktuálních měření a předdefinovaných vzorců. Složitější modely mohou mít jako simulační okrajové podmínky uloženy až stovky měření. [4]

V real-time modelu se simulace provádí v diskrétním čase s konstantním krokem, který se také označuje jako simulace s pevným krokem. V real-time simulaci musí být čas potřebný pro vyřešení vnitřních stavových rovnic a funkcí představujících systém kratší než fixní krok. Pokud doba výpočtu překročí čas stanoveného kroku, tento jev se označuje jako překročení. Simulace v reálném čase by ideálně měla vytvářet vnitřní proměnné a výstupy ve stejné době jako její fyzický protějšek. [35]

Časový interval měřených dat na vodovodní síti a frekvence výpočtu systémových rovnic a souvisejících kroků musí být tak častá, aby se případný zásah do hydraulického systému, jako je např. manipulace s uzávěrem nebo hydrantem projevila ve výsledcích, v ideálním stavu ihned, případně v horizontu několika minut.

### **2.2.2 Historický vývoj hydraulických simulačních modelů**

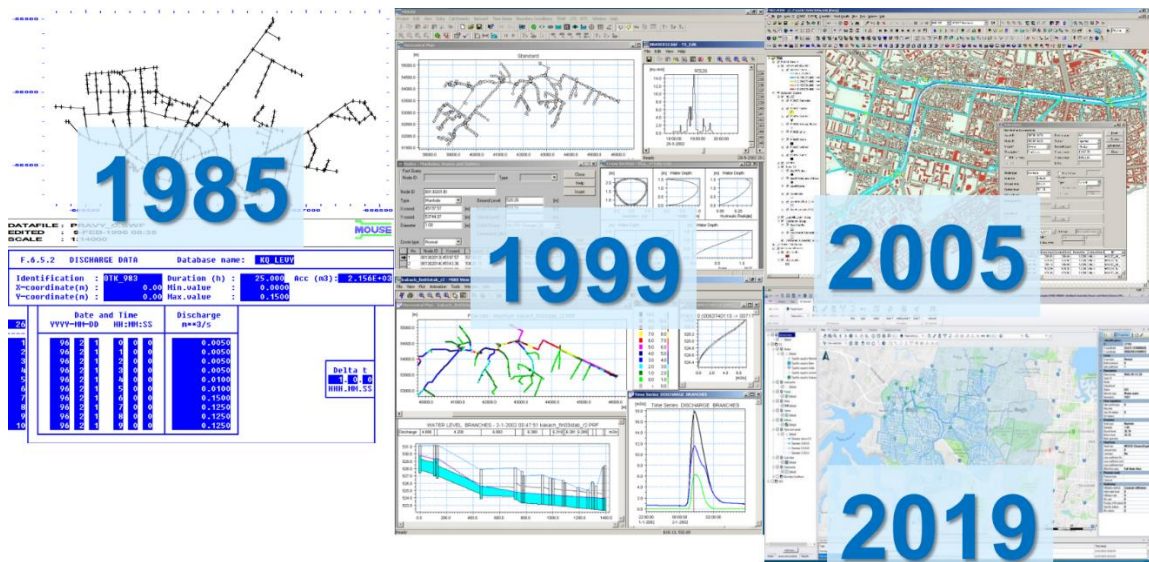
V nadcházejících kapitolách avizované softwarové balíčky se vyvinuly od pokusů a omylů, použitím různým metod optimalizace ke spolehlivým nástrojům.

V roce 1999 bylo vynaloženo značné úsilí o propojení hydraulických simulačních modelů s real-time daty z telemetrických systémů. Cílem bylo spojit dobře kalibrovaný hydraulický model se systémem SCADA, který by plnil databázi měření průtoků a tlaků ze strategických uzlů v síti téměř v reálném čase. Data však byla přenášena pomocí

telefonních linek a kabelových modemů, které se často nemohly připojit k některým zařízením. Systém byl pomalý a trpěl problémy s poškozením dat. [4]

#### Generace simulačních modelů:

- 1. generace – prováděla výpočet pouze jednotlivých rovnic s analogickým zpracováním,
- 2. generace – jednalo se o jednoúčelové modely, které vznikaly především v 60. letech minulého století a byly využívány ve velkých laboratořích,
- 3. generace – 70. léta minulého století – vznik komplexnějších modelů, které umožňovaly zpracování většího počtu vstupních dat,
- 4. generace – 80. - 90. léta minulého století – vznik systémů, které se daly ovládat pomocí menu (nedokonalé grafické zpracování) a běžely na platformách pro PC, DOS,
- 5. generace – současnost – kvalitní grafické rozhraní, programy pro WIN, GIS, komunikace server-klient,
- 6. generace – budoucnost ve využití umělé inteligence (AI), real-time modelování (RTC). [5]



Obrázek 2.2 Vývoj prostředí MOUSE [5]

### 2.2.3 Proč v budoucnu používat real-time modelování

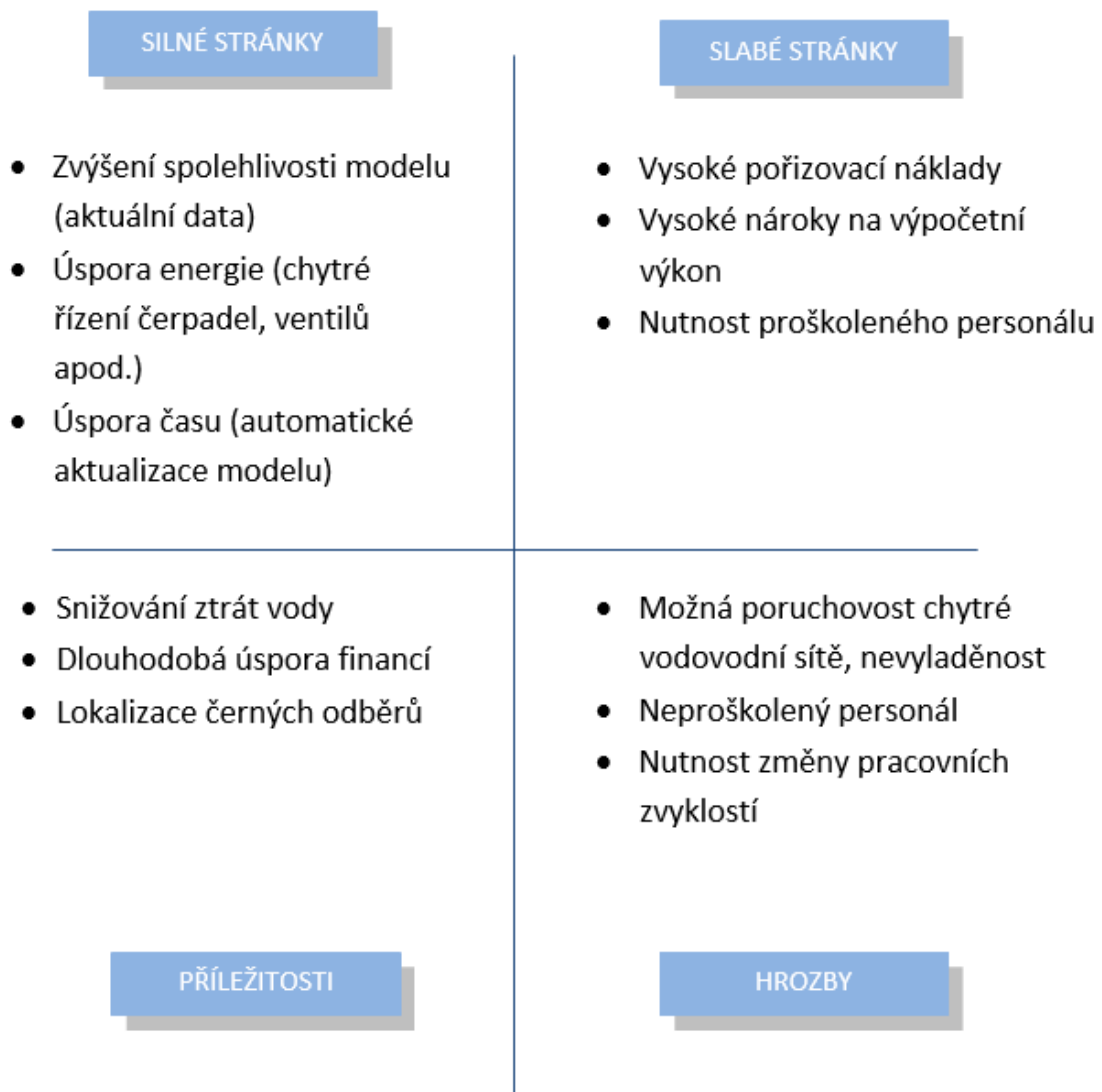
Vlivem změn klimatu a rostoucí urbanizace po celém světě je čím dál více kladen důraz na zlepšování využitelnosti vodních zdrojů a snižování ztrát vody. Předpokládá se, že změna klimatu v zemích jako např. Jihoafrická republika postupně povede k vysušování klimatu. Primárním účinkem změny klimatu je narušení koloběhu vody. Z velké části jsou změny klimatu doprovázeny snižováním dostupnosti vody. Hlavní možností úspory vody je minimalizace ztrát vody v důsledku neefektivní infrastruktury. Velký důraz by měl tedy být kladen na údržbu a rekonstrukci vodárenské infrastruktury. Druhou možností je efektivní řízení tlaku ve vodovodních sítích. Tato možnost je méně nákladná a bylo



prokázáno, že správným řízením tlaku dochází ke snížení úniků vody a snížení frekvence praskání potrubí. Řízení tlaku tedy nejen šetří vodu, ale také šetří náklady na údržbu. [6]

Tohoto lze dosáhnout pomocí hydraulických modelů. Hydraulické modelování je důležité pro diagnostiku provozních podmínek sítě. V současné době však většina hydraulických modelů, které se primárně používají pro účely plánování v oblasti vod, představují ustálený stav. Ustálená povaha takových modelů limituje jejich spolehlivost a účinnost. Je to z důvodů toho, že neumožňují automatické nastavení akčních prvků modelu. Příkladem akčních prvků může být čerpadlo s proměnnými otáčkami, tlakový regulační ventil nebo průtokový ventil. Budoucí hydraulické modely by proto měly zohledňovat proměnné podmínky v reálném čase, aby bylo dosaženo vyšší spolehlivosti a zjednodušení procesu modelování. [6]

### SWOT ANALÝZA



Obrázek 2.3 SWOT analýza chytré vodovodní sítě a real-time modelování

## 2.2.4 Navržená struktura real-time hydraulického modelu

Pro tyto účely byla ve studii, kterou publikoval Abu-Mahfouz a kol. představena struktura real-time hydraulického modelu, která se skládá ze tří částí: chytrá vodovodní síť, aktivní správa sítě a dynamický hydraulický model v reálném čase. Velmi důležitou informací je právě spotřeba vody, protože poptávka po vodě se během dne mění, mění se tím i potřeba vody v každém uzlu, což ovlivňuje úniky vody na pozadí. Zahrnutí těchto informací do modelu je důležité pro dobrou analýzu úniků vody a správné řízení tlaku. [6]

### *Chytrá vodovodní síť*

Pro řešení problémů se ztrátou vody je možné vyvinout několik technik a systémů. Například algoritmus detekce úniků, inteligentní měření tlaku a dynamické hydraulické modely. Pro efektivní fungování těchto systémů je však vyžadována síť, která umožňuje monitorování a kontrolu mechanismů v reálném čase. Například internet věcí (IoT), bezdrátové senzorové sítě (WSN) a další lze použít pro vybudování inteligentní vodovodní sítě. Pro tyto účely byla vyvinuta platforma WaterGrid-Sense, která umožňuje monitorování a ovládání komponent vodovodní sítě, jako jsou vodoměry, tlakové senzory, průtokové ventily, čerpadla apod., v reálném čase. [6]



Obrázek 2.4 Schéma IoT (internet věcí) [7]

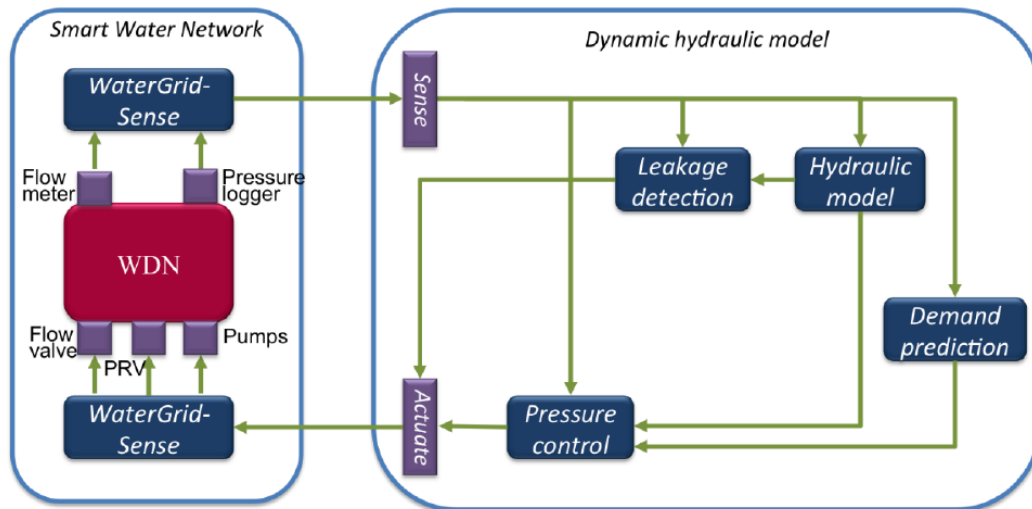
### *Aktivní správa sítě*

Inteligentní vodovodní síť je dynamická a skládá se z velkého množství senzorů a akčních prvků. Proto je správa a konfigurace těchto sítí považována za náročný úkol. Snaha je vyvinout řešení pro správu vodovodní sítě – např. monitorování, řízení, rekonfigurace síťových komponent a zajištění bezpečnosti a efektivního provozu sítě. [6]

### *Dynamický hydraulický model v reálném čase*

Většina off-line hydraulických modelů je v ustáleném stavu, což může omezit spolehlivost a účinnost vodovodních sítí. V těchto modelech jsou tisíce neznámých parametrů aproximovány na základě krátkodobého vzorku hydraulických dat. Výsledky kalibrace tedy nemusí přesně představovat provozní podmínky, které mohou nastat. Dynamický hydraulický model, který nepřetržitě zohledňuje real-time hydraulická měření, poskytuje realističtější předpovědi. Dynamický model používá data snímaná v reálném čase k vyhodnocení aktuálních podmínek v síti a k automatickému odesílání řídicích signálů do různých síťových komponent. Dynamický hydraulický model

v reálném čase se skládá z několika komponent, mezi které patří: real-time synchronizace a integrace dat, imputace dat, predikce odběrů, algoritmus detekce úniků. [6]



Obrázek 2.5 Systémová architektura chytré sítě [6]

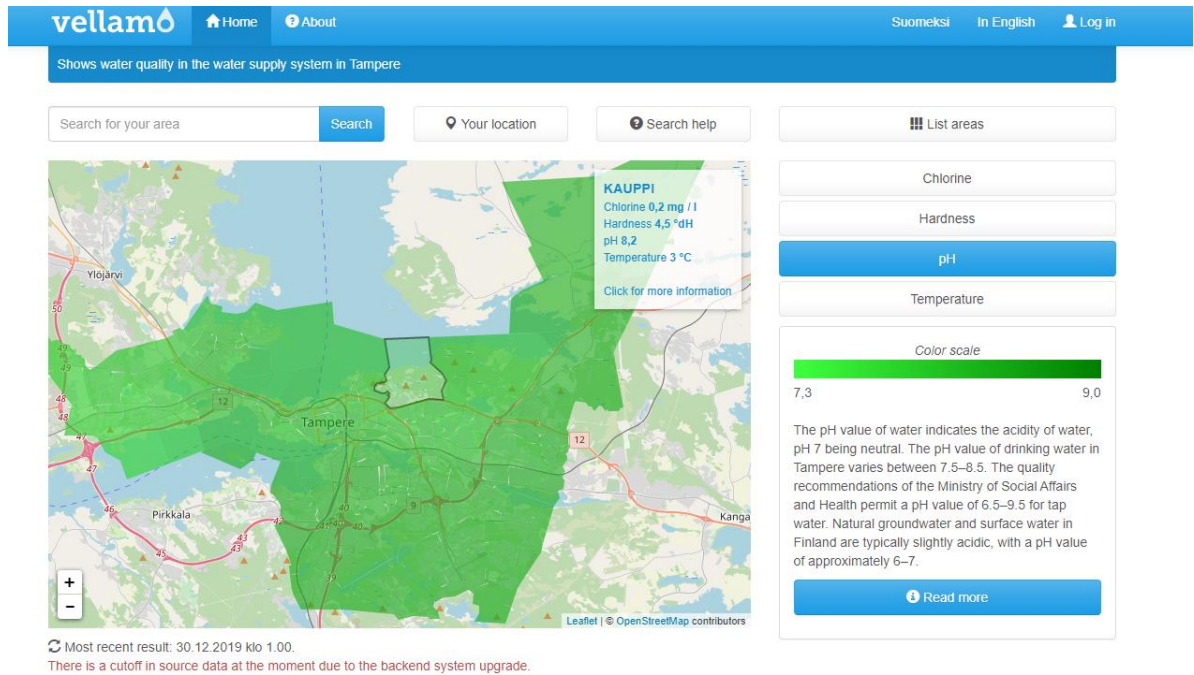
### 2.2.5 Příklady real-time modelování v praxi

Hydraulické modely vodovodních sítí jsou hlavním opěrným bodem pro řešení celé řady úloh. Pro zajištění co nejvyšší míry důvěryhodnosti prováděných simulací je třeba zajistit aktuální data bez nutnosti ručního dohledávání změn na síti, které mohou být ovlivněny lidským faktorem. Právě množství, kvalita zpracování a rychlost toku informací předurčuje kvalitu rozhodovacích procesů v organizaci. V této kapitole budou nastíněny některé příklady real-time modelování v praxi.

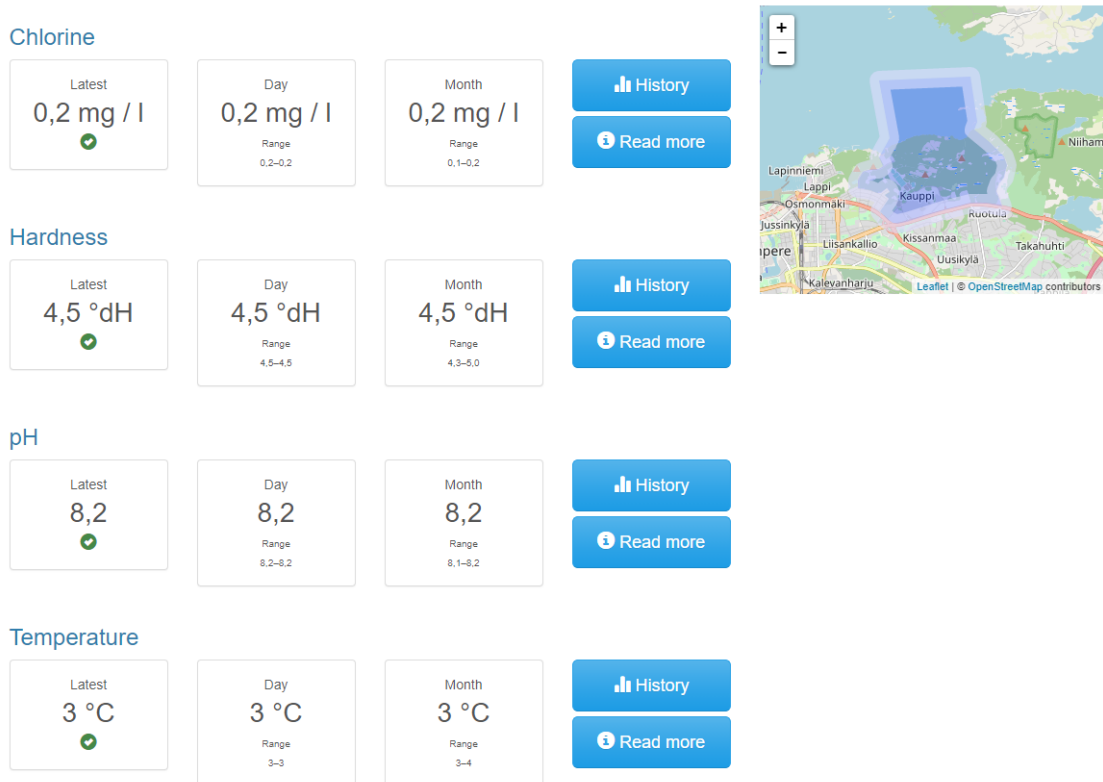
#### *Hydraulický model kvality vody města Tampere*

Real-time hydraulický model kvality zásobování vodou byl vyvinut pro vodárenskou společnost ve městě Tampere v jižním Finsku. Systém zásobování vodou se skládá ze 6 zdrojů podzemní vody a 2 zdrojů povrchové vody, 16 tlakových stanic, 6 vodojemů. Celková délka sítě činí přibližně 800 km. Model se skládá téměř z 5400 uzlů a 6500 úseků. Simulované parametry zahrnují stáří vody, teplotu, pH, tvrdost a volný chlór. Systém SCADA ukládá měření tlaku, průtoku a hladiny pro všechny stanice a vodojemy každých pět minut do relační databáze MySQL. Každý zdroj vody má real-time měření pH, teploty vody a volného chlóru, které jsou také ukládány každých pět minut. Výsledný kalibrovaný hydraulický model je sestaven pomocí rozšíření RTX (Real-Time Extension) pro EPANET. Jednou za hodinu je model aktualizován na základě dat z předchozí hodiny ze systému SCADA a je provedena simulace. Výsledky jsou ukládány ve formátu pro geografické informační systémy GIS a také v relační databázi. Část výsledků je prezentována široké veřejnosti pomocí webového uživatelského rozhraní. Podrobné výsledky však nejsou dostupné veřejnosti, místo toho bylo město Tampere rozděleno na 200 oblastí, v nichž se výsledky zobrazují jako vážený průměr

výsledků ze všech uzlů v dané oblasti. Real-time model kvality vody pro webové rozhraní vyvolal u široké veřejnosti velký zájem. Několikrát se však stalo, že real-time měření kvality ukazovalo nesprávné výsledky, které se pak následně šířily simulací. V důsledku toho byly zaznamenány stížnosti veřejnosti na kvalitu vody. Nejčastějším problémem bylo pH upravené vody, kdy pH metry udávaly hodnotu pH 6,5, což nebylo reálné, aby měla upravená voda takto nízké pH. [11]



Obrázek 2.6 Ukázka výsledků hydraulického modelu ve webovém rozhraní [12]

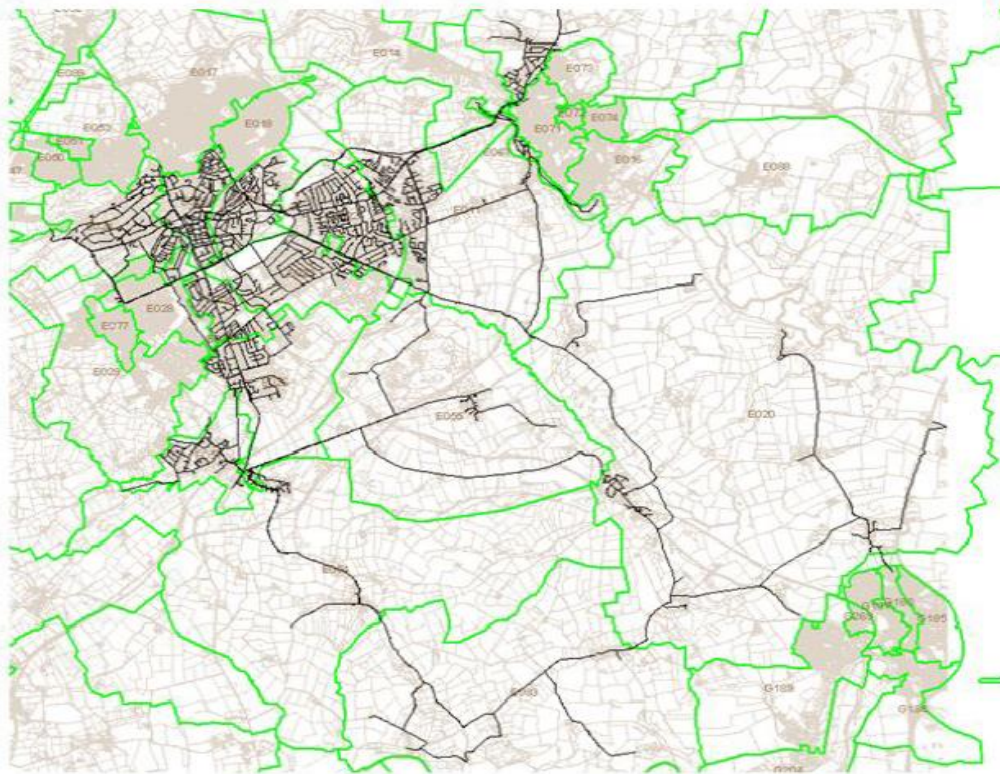


Obrázek 2.7 Ukázka výsledků hydraulického modelu ve webovém rozhraní – podrobnější výsledky [12]

### *Real-time model vodovodní sítě ve Velké Británii*

Real-time hydraulický model využívající software AQUIS pokrýval rozsáhlou oblast města ve Velké Británii, přibližně se 160 000 odběrateli. Vodovodní síť byla vybavena 77 měřeními v reálném čase. Celková topologie hydraulického modelu čítala 9081 úseků a 8571 uzlů. Hydraulický model byl poháněn údaji o průtoku a tlaku, téměř v reálném čase, shromážděnými pomocí komunikačních technologií GPRS, které stahovaly data v 15minutových intervalech. Real-time hydraulický model byl sestaven na základě kalibrovaného offline modelu, který byl poskytnut vodárenskou společností. Propojení modelu s real-time daty bylo dosaženo pomocí systému SCADA, který poskytuje údaje o průtoku a tlaku pro simulaci okrajových podmínek. Naměřená data byla pomocí systému GPRS předána přes FTP serveru University of Sheffield a pomocí systému Windows byla aktualizovaná data automaticky kopírována do úložiště souborů. DataManager, online databázová aplikace pro konfiguraci, předzpracování a správu nezpracovaných dat pro použití s AQUIS, přistupovala k uloženým souborům a přenášela je do integrované databáze MS Access, kde byly uloženy všechny průtokové a tlakové časové řady používané modelem. Real-time model byl propojen s databází a předzpracovatel poté zkontroloval nezpracovaná data podle definovaných parametrů, zda neobsahují chybějící nebo poškozená data. Tam, kde data chyběla nebo byla poškozena, bylo možné použít emulaci dat – nahrazení výchozí hodnotou, případně nahrazení průměrnou hodnotou nebo nahrazení hodnotou z jiného měření. Po dokončení

předběžného zpracování byla data uložena jako okrajové podmínky pro simulace v příslušných uzlech. [13]



Obrázek 2.8 Rozsah real-time modelu ve Velké Británii [13]

### ***Real-time hydraulický model vodovodní sítě v ČR - město Písek***

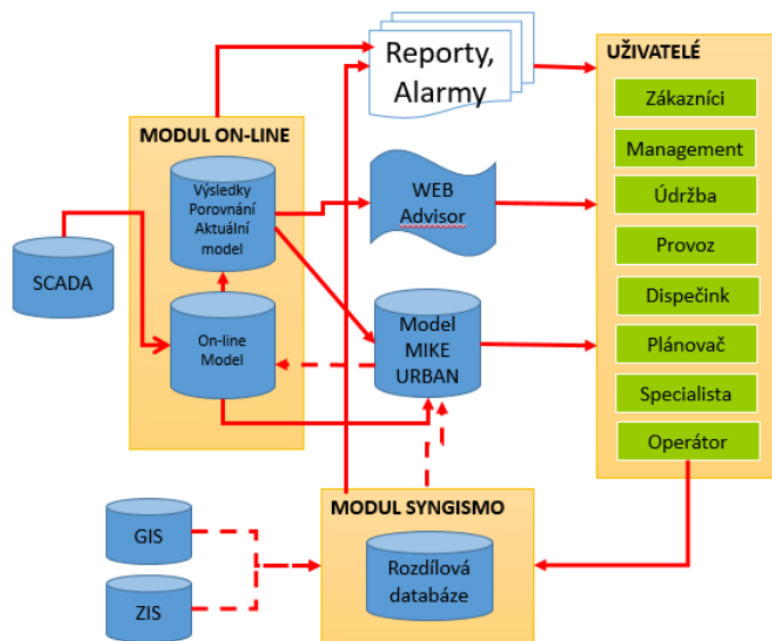
Cílem real-time hydraulického modelu vodovodní sítě města Písek bylo efektivní dlouhodobé využívání vodárenského systému se zaměřením na optimalizaci provozních parametrů sítě, zlepšení ekonomiky provozu a investic, plánování budoucí funkce systému v souladu s koncepcí rozvoje města a poskytování služeb zákazníkům. Řešení je provedeno pomocí stále aktuálního modelu vodárenské infrastruktury, který je napojen na data dispečerského systému SCADA. Tato real-time data zajišťují automatické aktualizace okrajových podmínek modelu, následně probíhá simulace a výsledky jsou ukládány do databáze, kde slouží ke kontrole s naměřenými daty, vizualizaci a vyhodnocení. Hydraulický model vytvořila v roce 2017 společnost DHI a celková cena činila 2,5 milionu Kč bez DPH. Systém na základě srovnání naměřených a vypočítaných výsledků poskytuje informace o mimořádných situacích ve vodovodní síti, poruchách a únicích vody. Nový real-time hydraulický model by měl také přinést úsporu v podobě ztrát vody. Hydraulický model provádí automatizované výpočty každých 10 minut a poskytuje tak cenné informace o aktuálním provozním stavu vodovodní sítě. [14]

Aktuálnost hydraulického modelu je zajišťována pomocí aktualizací z dat GIS a ZIS. K tomuto účelu slouží modul SYNGISMO, který zajišťuje porovnání objektů modelu s GIS a případně zajistí aktualizaci rozdílných objektů. [14]

Samotné modelové prostředí běží v aplikaci MIKE URBAN, která zajišťuje kompletní nástroje pro správu, provádění výpočtů a analýz, jako jsou běžné stavy, či havarijní události, plánování budoucího rozvoje infrastruktury apod. Pro plánování odstávek vodovodních řadů, připojování nových uživatelů, výpočty požárního zásobování vodou, tvorbu analýz výpadků zásobovacího řadu nebo zdroje, simulaci šíření znečištění apod. slouží aplikace WEB Advisor, která je dostupná pro počítače i mobilní zařízení a je tak vhodná pro práci v terénu. [14]

Hydraulický model je provozován v režimu real-time, k čemuž slouží modul On-line, který v přednastaveném časovém kroku provádí: připojování k datům z dispečinku (SCADA), načtení naměřených dat na vodovodní síti, aktualizace modelu, spuštění výpočtu, uložení výsledků do databáze, ukládání naměřených dat do databáze, vyhodnocení kontrolních podmínek, připravení reportů a alarmů. [14]

Výhodou modelu v režimu real-time je, že po dokončení výpočetní operace jsou výsledky okamžitě k dispozici pro další práci v aplikaci Mike Urban, WEB Advisor. Všichni připojení uživatelé tak mohou používat aktuální model. [14]



Obrázek 2.9 Schéma navrženého řešení [14]

Ke stejnému řešení se rozhodl sáhnout také provozovatel vodárenské infrastruktury v Ostravě, kdy Ostravské vodovody a kanalizace a.s. v roce 2017 zařadily realizaci projektu „Vytvoření modelu vodovodní sítě města Ostravy v prostředí Mike Urban a implementace nástroje Syngismo“ mezi hlavní události roku 2017. Dalším projektem DHI v ČR je např. realizace real-time hydraulického modelu pro město Sokolov.

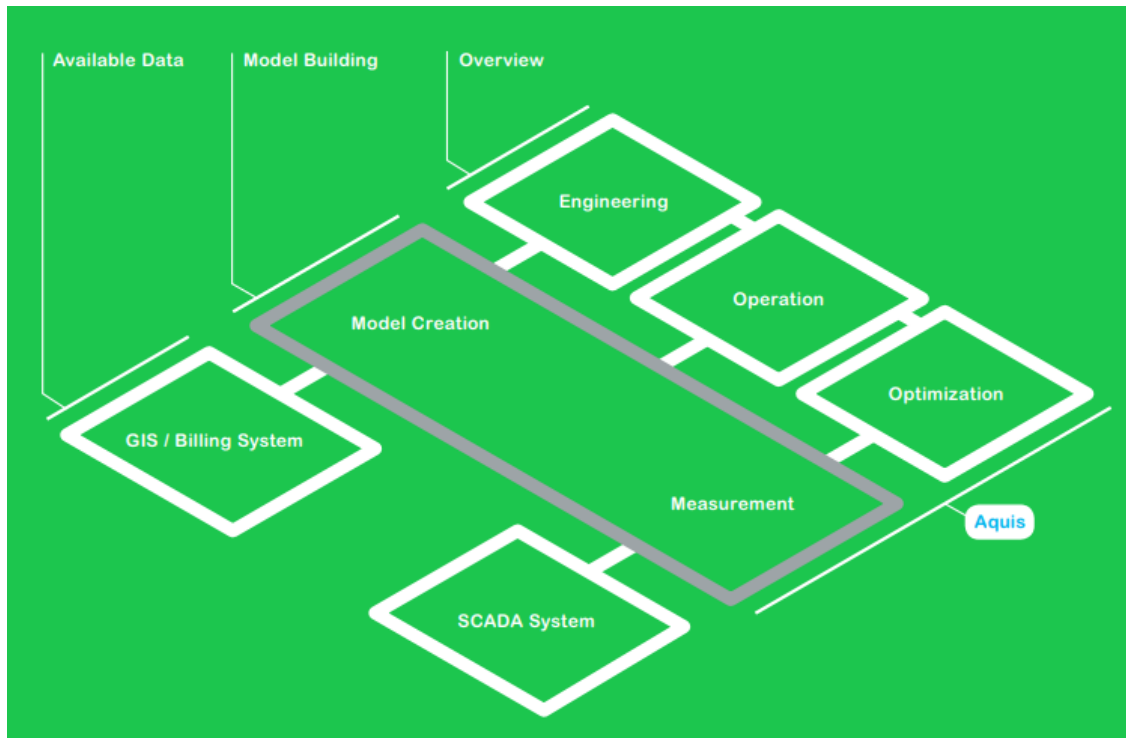
## 2.2.6 Software pro real-time hydraulické modelování

### *Aquis*

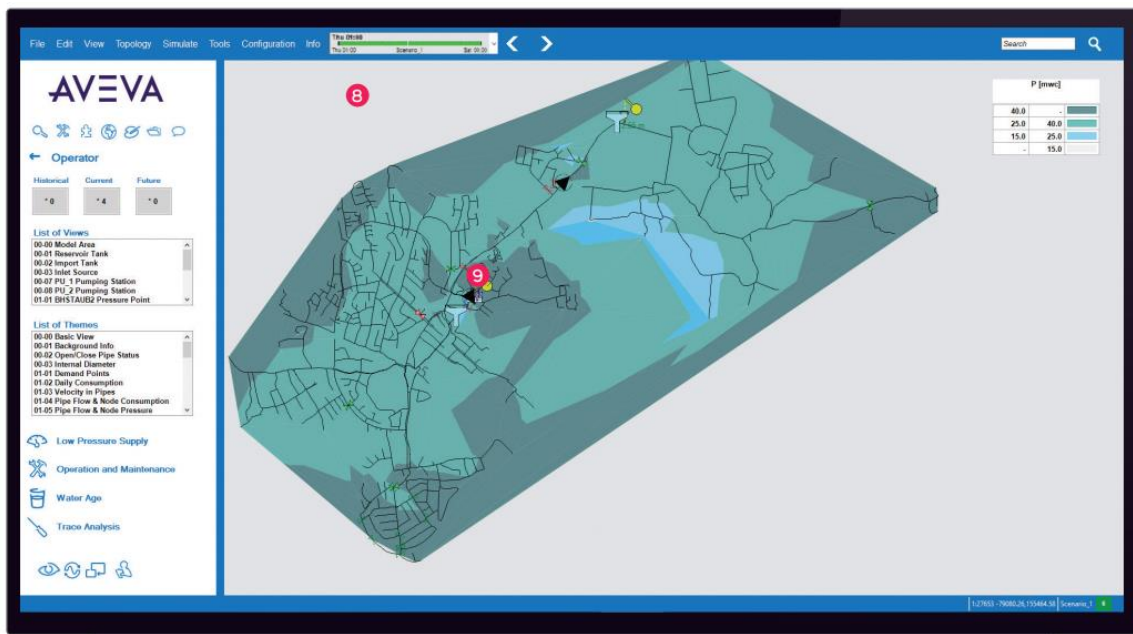
Společnost: Schneider Electric

Aquis umožňuje práci s GIS daty a je plně integrován do systému SCADA, může tak pracovat jak off-line, tak real-time. Model vodovodní sítě založený na systému Aquis je napájen real-time naměřenými daty ze SCADA. Model umožňuje práci s různými proměnnými, jako je vstupní tlak, stáří vody, množství chemikálií ve vodě nebo průtok. Pomocí simulací lze posoudit dopady různých zásahů, jako je např. otevírání nebo zavírání ventilů, na dodávky vody spotřebitelům. Aquis poskytuje provozovateli úplný přehled o všech aspektech jeho distribuční sítě. Aquis umožňuje zobrazování informací s barevným škálováním o stáří vody, tlaku a průtoku, což reflektuje přehlednou prezentaci aktuálního fungování vodovodní sítě. Provozovatel může kliknout na jakýkoli uzel v síti a zobrazit data z měření např. tlak v konkrétním místě. Pro všechny parametry sítě je možné předem nakonfigurovat mezní hodnoty, při jejichž překročení dojde ke spuštění alarmu. Obsluha může jednoduše simulovat uzavření uzávěrů na síti kliknutím myši. Poté dojde ke spuštění predikce vlivu uzavření na provoz sítě a v případě překročení předem stanovených mezních hodnot simulační model spustí alarm. Obsluha tak může rychle a snadno poradit pracovníkům v terénu, zda je bezpečné uzavřít konkrétní uzávěr. Další obdobné scénáře lze simulovat a vyhnout se tak vzniku různých problémů. Systém Aquis dále také umožňuje snadnější a rychlejší identifikaci úniků nebo černých odběrů. Před samotným zahájením udržovacích prací je možné simulovat různé scénáře, ke kterým by mohlo dojít a mohly by mít dopad na provozování sítě. Je možné také experimentovat s různými provozními režimy a připravit tak pohotovostní plány pro různé situace, ke kterým by mohlo dojít. V případě havárie Aquis umožňuje přehrání toho, co se stalo během dané události. Aquis nabízí řadu optimalizačních modulů např. snížení nákladů za energie optimalizací čerpadel a nádrží. Díky schopnostem předpovídat chování sítě v reálném čase umožňuje snížení provozních a energetických nákladů spojených s činnostmi v oblasti distribuce vody tím, že poskytuje operátorům informace o dopadu plánovaných a neplánovaných událostí, a to ještě dříve, než k nim dojde. Tam kde není možné získat data ze SCADA, program vytváří virtuální senzory. Na základě reálných senzorů, umístěných přímo na síti, v kombinaci s virtuálními senzory monitoruje celou vodovodní síť. [8], [9]





Obrázek 2.10 Zjednodušené schéma systému Aquis [9]



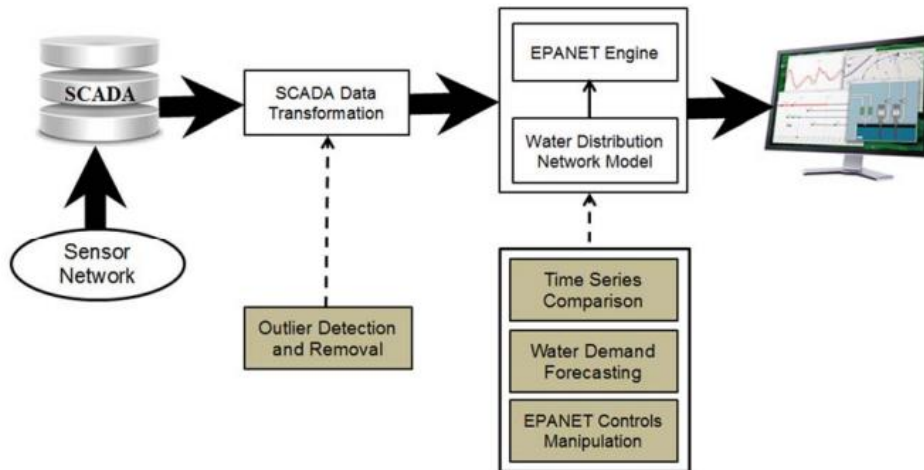
Obrázek 2.11 Ukázka uživatelského prostředí [10]

### ***Epanet-RTX (Real-Time eXtension)***

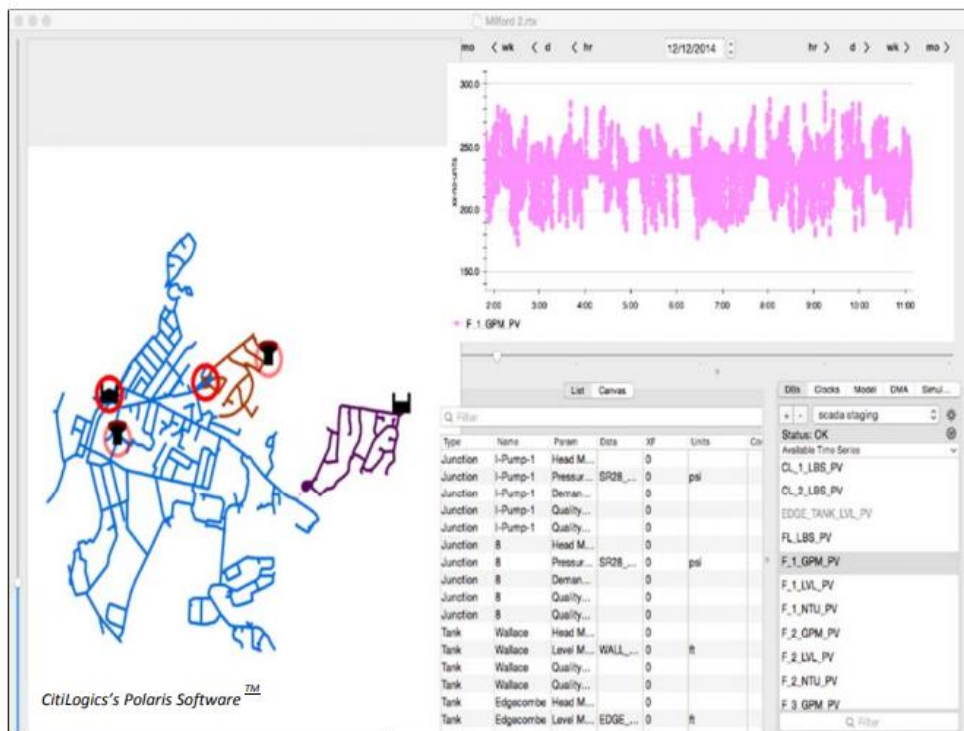
Společnost: Enviromental Protection Agency of United States

Epanet-RTX rozšiřuje možnosti softwaru EPANET a umožňuje vodárenským společnostem propojit jejich hydraulický model vodovodní sítě s daty ze systému SCADA. Propojení se SCADA pomáhá vodárenským společnostem při každodenních

provozních činnostech, ale také v případě plánování v oblasti vodárenské infrastruktury. Epanet-RTX je softwarový nástroj pro tvorbu hydraulického modelu vodovodní sítě a modelování kvality vody v reálném čase. Rozšíření přidává real-time analýzy do hydraulického modelu vodovodní sítě. Hydraulický model v reálném čase poskytuje vodárenským společnostem nástroje potřebné ke zlepšení systému provozu, řízení a k dosažení cílů, jako je např. zajištění řízení kvality vody, správa spotřeby energie, přesnější detekce úniků, správa tlaků. Hydraulický model používající rozšíření Epanet-RTX může být kalibrován a verifikován na základě reálných dat získaných v reálném čase. [15]



Obrázek 2.12 Schéma modelu založeného na rozšíření Epanet-RTX [15]

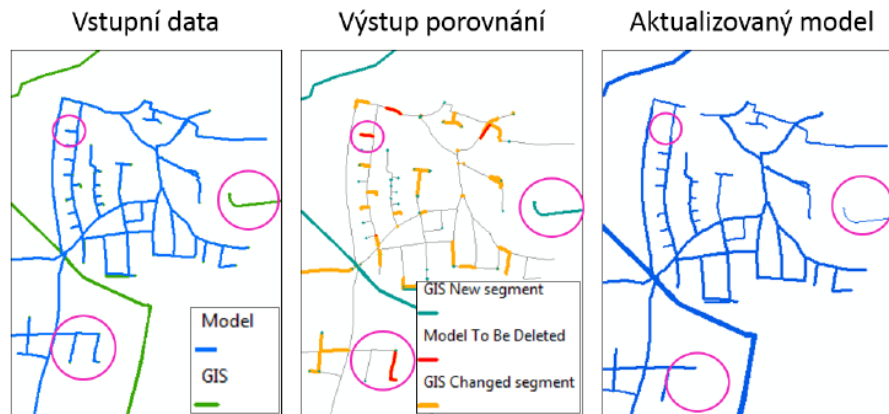


Obrázek 2.13 Real-time model města Milford založený na Epanet-RTX [15]

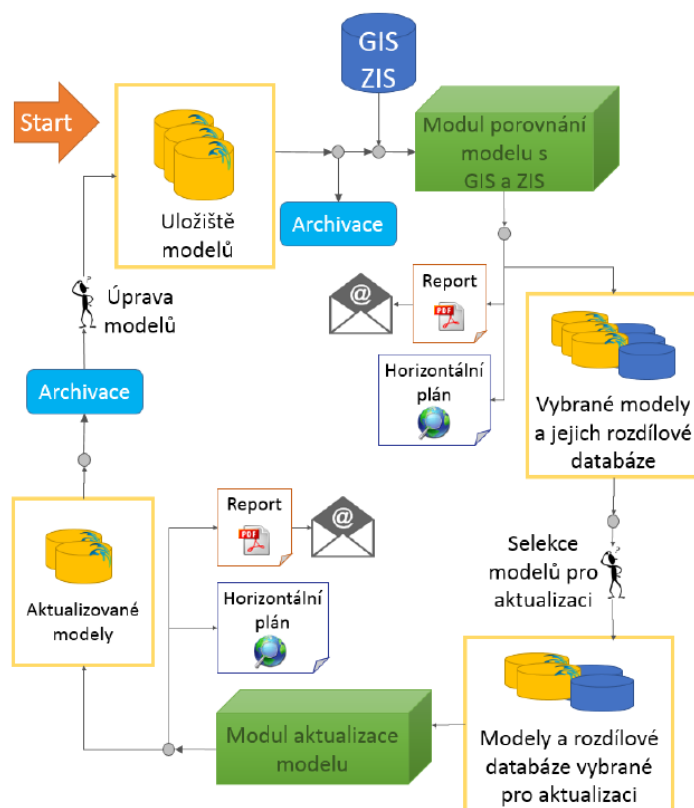
## Syngismo

Společnost: DHI

Software Syngismo umožňuje aktualizace dat hydraulických modelů vodovodních ale také kanalizačních sítí. Systém Syngismo je určen pro hydraulické modely vytvořené v programovém prostředí Mike Urban. Aktualizace dat hydraulického modelu probíhá průběžně na základě aktuálních dat v GIS. Jedná se především o data typu topologie sítě, atributy potrubí a data zákaznického informačního systému ZIS. V prvním kroku „porovnání“ dojde k vyhodnocení odlišnosti dat v modelu a v GIS. Následně je proveden report poskytující informace o aktuálnosti modelu. V dalším kroku „aktualizace“ jsou na základě rozhodnutí operátora provedeny změny modelu, které byly reportovány ve fázi „porovnání“. V programu Mike Urban, případně ArcGIS je možné kontrolovat originální data, reporty z porovnání dat a aktualizace modelu. V případě, že operátor nechce provést aktualizaci dat některých prvků modelu, je možné tyto prvky označit a nechat beze změny. Nezbytnou součástí aktualizace je závěrečná kontrola a úprava modelu. Tento finální krok provádí operátor, který také zodpovídá za finální podobu modelu.



Obrázek 2.14 Porovnání modelu s GIS



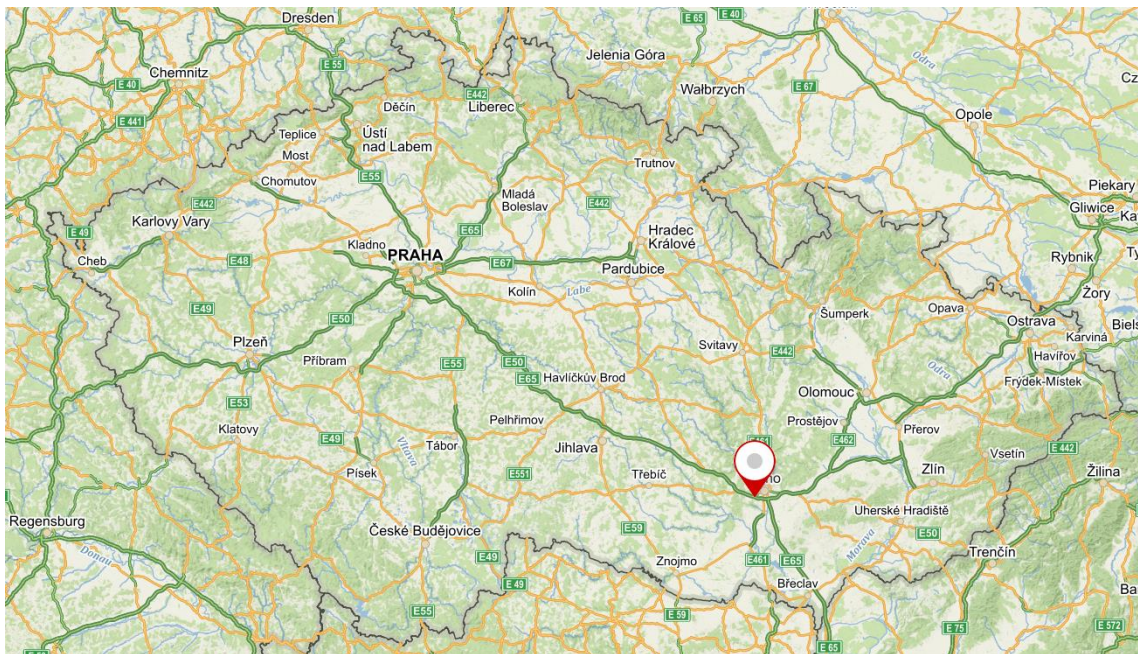
Obrázek 2.15 Schéma systému Syngismo

K hlavním benefitům nástroje Syngismo se řadí úspora času a automatická kontrola aktuálnosti modelu.

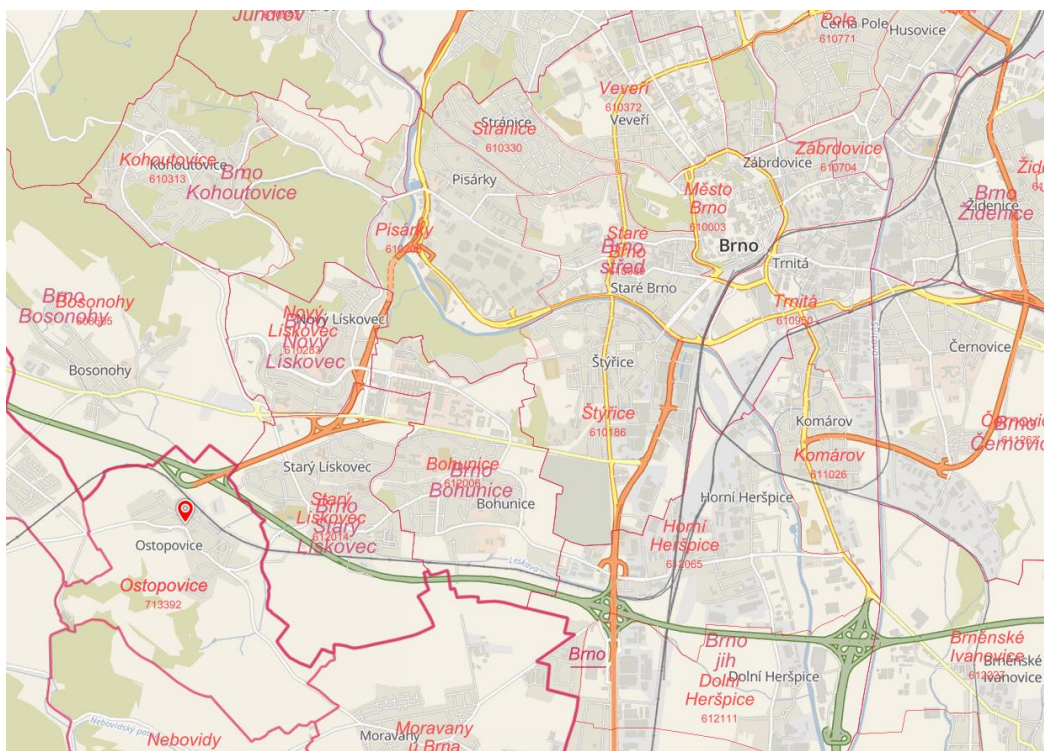
## 3 ŘEŠENÁ LOKALITA – VODOVODNÍ SÍŤ OBCE OSTOPOVICE

### 3.1 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Obec Ostopovice je situována na jihozápadní hranici města Brna, konkrétněji na území Brno-venkov, v Jihomoravském kraji. Severovýchod Ostopovic sousedí s městskou částí Brna – Starý Lískovec, na jihu a jihovýchodu pak s obcemi Moravany, Nebovidy. Dále pak na západě s obcí Střelice a na severozápadě s obcí Troubsko a Bosonohy. Ostopovice se svou polohou nacházejí na území Bobravské vrchoviny a Dyjsko-svrateckého úvalu. Mezi obcí Ostopovice a městskými částmi Brna protéká tok Leskava a je zde situována dálnice D1. V katastrálním území obce se nachází také silnice III. třídy a železnice, avšak nejbližší vlaková zastávka se nachází v obci Troubsko. Spojení s městem Brnem je v Ostopovicích řešeno pomocí městské autobusové dopravy. V katastrálním území obce se vyskytuje nespočet zahrádkářských a chatových pozemků, které jsou využívány především pro rekreaci. Katastrální území Ostopovic je také hojně využíváno pro zemědělskou činnost. [16]



Obrázek 3.1 Poloha obce Ostopovice na území ČR [19]



Obrázek 3.2 Situace širších vztahů – poloha obce Ostopovice vzhledem k městu Brnu [18]



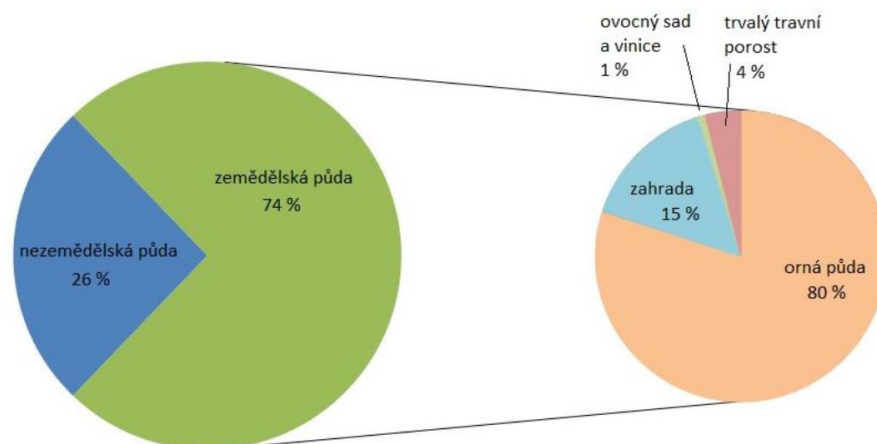
Obrázek 3.3 Základní mapa obce Ostopovice [24]

### 3.1.1 Počet obyvatel

Celkový počet obyvatel obce Ostopovice k 1.1.2020 byl dle Českého statistického úřadu 1802, z čehož 955 obyvatel připadá na muže, s průměrným věkem 40,4 let a 847 obyvatel tvoří ženy, s průměrným věkem 43,1 let. Celkový věkový průměr obyvatel je 41,7 let. Oproti předešlým rokům je patrný postupný nárůst obyvatel na území Ostopovic (v roce 2015 celkem 1638 obyvatel, 2020 celkem 1802 obyvatel), jedinou výjimku tvoří rok 2005. [16], [17]

### 3.1.2 Hospodářství a průmysl v obci

Ostopovice byly historicky vnímány jako vinařská obec se svažnými pozemky, na kterých se pěstovala především vinná réva a ovocné sady. Počátkem 20. století však, katastrální území prošlo značnou obměnou. Zemědělská půda dnes činí téměř 74 % obecního území, 26 % je pak nezemědělská půda. Orná půda čítá 80 %, zahrady 15 %, trvalý travní porost 4 %, ovocný sad a vinnice 1 % z celkové zemědělské plochy obce. Převážná většina zemědělské půdy obce je obhospodařována firmou ZEVO Střelice. V obci působí velké množství živnostníků a mikropodniků, které svou kapacitou většinou nepřesahují 10 zaměstnanců. Mezi významné firmy v obci patří například společnost Spomat – zabývající se výrobou spojovacího materiálu, dále firma Senergos a.s. a Onio spol. s.r.o. [16]



Obrázek 3.4 Členění půdy v obci Ostopovice [16]

### 3.1.3 Občanská vybavenost obce

V obci lze nalézt sokolovnu se sálem s kapacitou přibližně 200 osob a k ní přilehlou restauraci SPORT ŠENK. Najdeme zde také obecní úřad, který je situován v centru obce. V centru nenalezneme žádný větší obchod s potravinami, je zde pouze malý obchod, který je vzdálený od středu obce. Obec disponuje také mateřskou a základní školou. Hostinec nalezneme vedle základní a mateřské školy, v jejichž areálu je mimo jiné možné využívat také pobočky České pošty. Mezi další občanskou vybavenost obce lze řadit především různé drobné živnosti, provozované občany obce, jako například krejčovství, kadeřnictví, daňový poradce, účetnictví, vinotéka apod. Obec disponuje vlastním

sběrným střediskem. Podrobnější výpis služeb provozovaných v obci Ostopovice bude uveden na orientační mapce, která vznikla během předběžného průzkumu v obci (zakreslení je pouze orientační).



- |                             |                               |                                |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| ① Zámečnictví               | ⑭ Pomocné práce               | ⑳ Česká pošta                  |
| ② Potřeby pro chovatele     | ⑮ Restaurace                  | ㉑ Vodoinstalatérství, topenář. |
| ③ Sanace Brno               | ⑯ Vinotéka                    | ㉒ Daňový poradce               |
| ④ Výroba eurooken           | ⑰ TJ Sokol, pivnice           | ㉓ Autodoprava                  |
| ⑤ Šicí stroje               | ⑱ Svářecí technika Krejčík    | ㉔ Vinotéka, atelier Luca       |
| ⑥ Hes                       | ㉒ Bez obalu                   | ㉕ Obecní úřad                  |
| ⑦ Čistírna peří             | ㉓ Minimarket                  | ㉖ Bojlery                      |
| ⑧ Typo, pneumatiky, zahrady | ㉔ Podkovářství                | ㉗ Svět vín                     |
| ⑨ Sběrné středisko          | ㉕ Rychlá pomoc s PC           | ㉘ Gastroslam                   |
| ⑩ Eon - sklad               | ㉖ On Air hotel                | ㉙ Umělecké kovářství           |
| ⑪ LPD Brno                  | ㉗ Relaxační studio, knihovna  |                                |
| ⑫ Senergos                  | ㉘ Dámské krejčovství          |                                |
| ⑬ Kadeřnictví               | ㉙ Základní umělecká škola, MŠ |                                |

Obrázek 3.5 Orientační náčrt provozovaných služeb v obci Ostopovice



## 3.2 VODOVOD OBCE OSTOPOVICE

První zmínky o obci Ostopovice pochází již z roku 1237, v tomto roce se na místě dnešních Ostopovic usadili původní osadníci. Osadu založili v centru dnešní obce, a to pravděpodobně z důvodu silně vyvěrajících pramenů pitné vody, které se nacházely v tomto místě. Uprostřed osady byla mělčina, na které se nacházela voda vycházející ze zdrojů. Na tomto místě došlo k vytvoření malého průtokového brodiště. Ještě v nedávné minulosti bylo možné toto brodiště zpozorovat, avšak během modernizace obce došlo k jeho zrušení. [20]

První vodovod v obci Ostopovice byl zaveden v roce 1940, v několika následujících letech, 1945–1955, 1968, 1971, 1974 a počátek 80. let minulého století, docházelo k jeho postupnému rozšiřování. Nejnovější řady v obci byly dobudovány v roce 2003. Rozšiřování vodovodní sítě především v dřívějších letech probíhalo samovolně a bez projektové dokumentace. [21]

Během 70. let minulého století se začínají objevovat výrazné problémy s vodou, vlivem nichž nebylo možné zajistit dostatečný průtok z důvodu rychlé výstavby nových domů. [20]

Tyto problémy provází obec až do roku 1981, kdy jsou provizorně řešeny dovozem cisteren s pitnou vodou. Dalším problémem je elektrifikace – v rámci veřejných úspor je omezováno veřejné osvětlení. V roce 1981 kvůli přetrvávajícím problémům s pitnou vodou dojde k rozhodnutí zastavit další výstavbu obytných budov v obci. V roce 1982 je hlavním cílem pro obec dostavba vodovodu a mateřské školky. Obecní vodovod je v téže roce úspěšně dostavěn a k jeho spuštění dochází 22.12.1982. Výrazným nedostatkem se však zdá být fakt, že voda z tohoto vodovodu je označena jako užitková, nikoli však pitná (při praní prádla např. docházelo k jeho zabarvení). V roce 1983 dochází k výraznému zhoršení kvality vody – barva je nahnědlá a voda není pitná. V roce 1984 byl projednán návrh výstavby akumulární nádrže na vodu, která měla zlepšit zásobování obce vodou. [20]

V červnu roku 1990 se konalo plenární zasedání národního výboru, jedním z bodů byly informace týkající se napojení obce na brněnský vodovod. V listopadu téhož roku se konalo opětovné zasedání, kde však bylo projednáno, že napojení obce na Brněnský vodovod společně s dalšími akcemi se odkládá. V červnu roku 1994 převzal obecní úřad dohled nad správou obecního vodovodu. Nedostatek vody v obci byl mimo jiné umocněn vysokým odběrem některých obyvatelů – běžná denní spotřeba z vodovodu činila 100 m<sup>3</sup> a v období sucha se zvyšovala až na 300 m<sup>3</sup>. Tento problém obec řešila rekonstrukcí čerpacích stanic a osazením vodoměrů. [20]

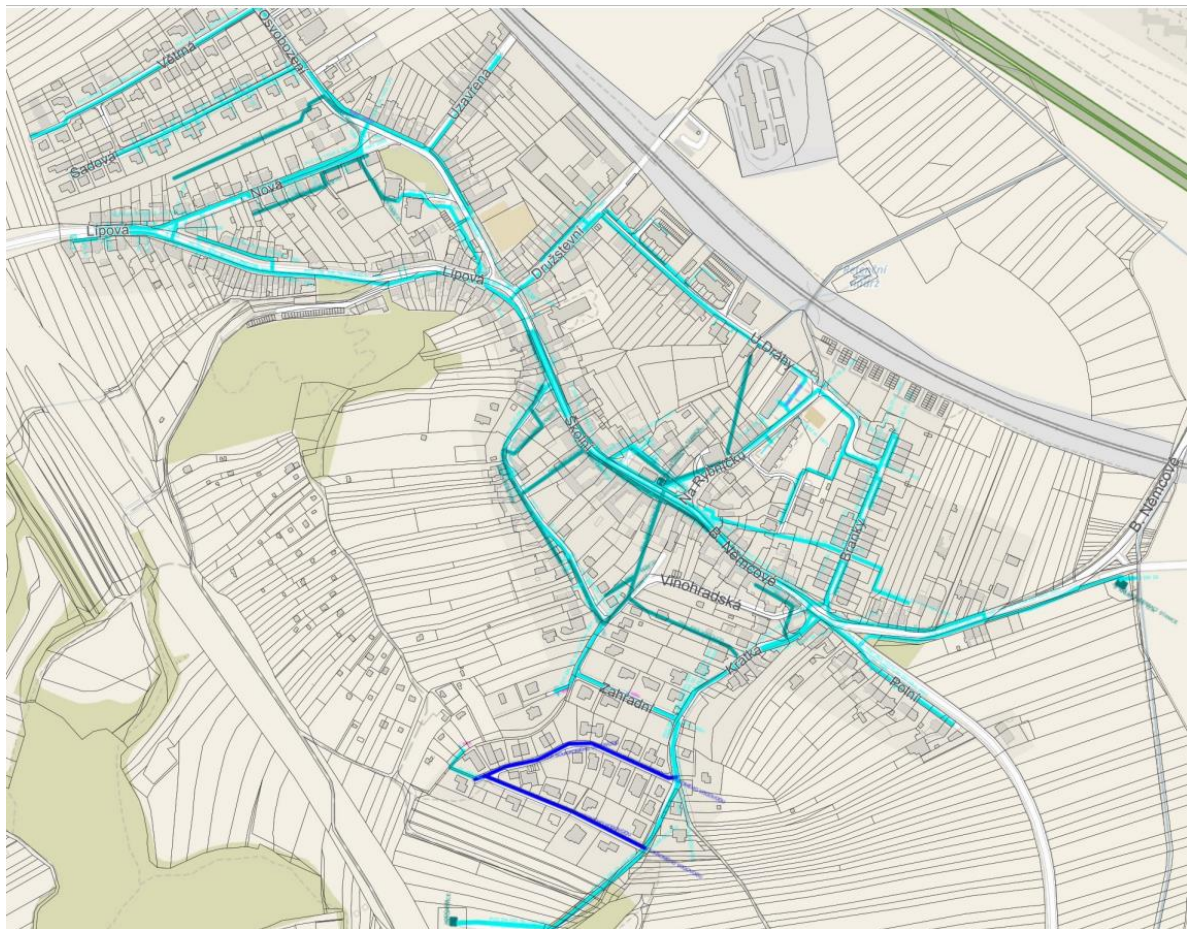
Počátek roku 2000 byl opět ve znamení problémů s dodávkou pitné vody, kdy hlavní zdroj vody (vrt hluboký 67 metrů, u silnice směr Starý Lískovec) vykazoval nedostatečnost pro zásobování. Tento problém byl zapříčiněn především havarijním stavem a zanesením. Vrt byl v téže roce vyčištěn do hloubky 55 metrů a při využití posilovacího vrtu u kaple se předpokládalo, že vydatnost bude postačovat. Čištěný vrt byl tedy přestrojen pomocí nové plnostěnné plastové pažnice o průměru 160 mm, která

zasahovala do hloubky 48 metrů. Od této hloubky do hloubky 55 metrů zasahovala perforovaná pažnice. Bohužel však po zprovoznění byly zjištěny opět problémy s vydatností zdroje a vedení obce tak přijímá návrh na obnovu stávajícího zdroje a vybudování vodojemu. Od roku 2001 je obec zásobována převážně prostřednictvím vrtu OS-1A, jehož cílem bylo nahradit původní vrt OS-1 z 80. let, který ztratil svou funkčnost vlivem zavalení. Vrt OS-1A je hluboký 70 metrů s maximální vydatností  $4,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Průměrný čerpaný denní objem dosahuje hodnoty  $190 \text{ m}^3$  (cca  $2,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). V případě velmi suchého období je možné zapojit jako posilovací zdroj vody studnu v obci u kaple. Na podzim roku 2002 obec začíná realizovat projekt rekonstrukce obecní vodovodní sítě a výstavbu vodojemu, který se bude nacházet nedaleko mostu tzv. Říšské dálnice. Celkové náklady dosahují 15 milionů korun, s příspěvkem 50 % ze státních dotací. V roce 2004 je do zkušebního provozu uvedena nově vybudovaná část obecního vodovodu včetně vodojemu. Vlastníkem vodárenské infrastruktury je sama obec Ostopovice, jejím provozovatelem je od 1. 10. 2016 Vodárenská akciová společnost, a.s. [20]

### Aktuální ceny vodného a stočného (od 1. 1. 2021):

Vodné: 44,46 Kč vč. DPH

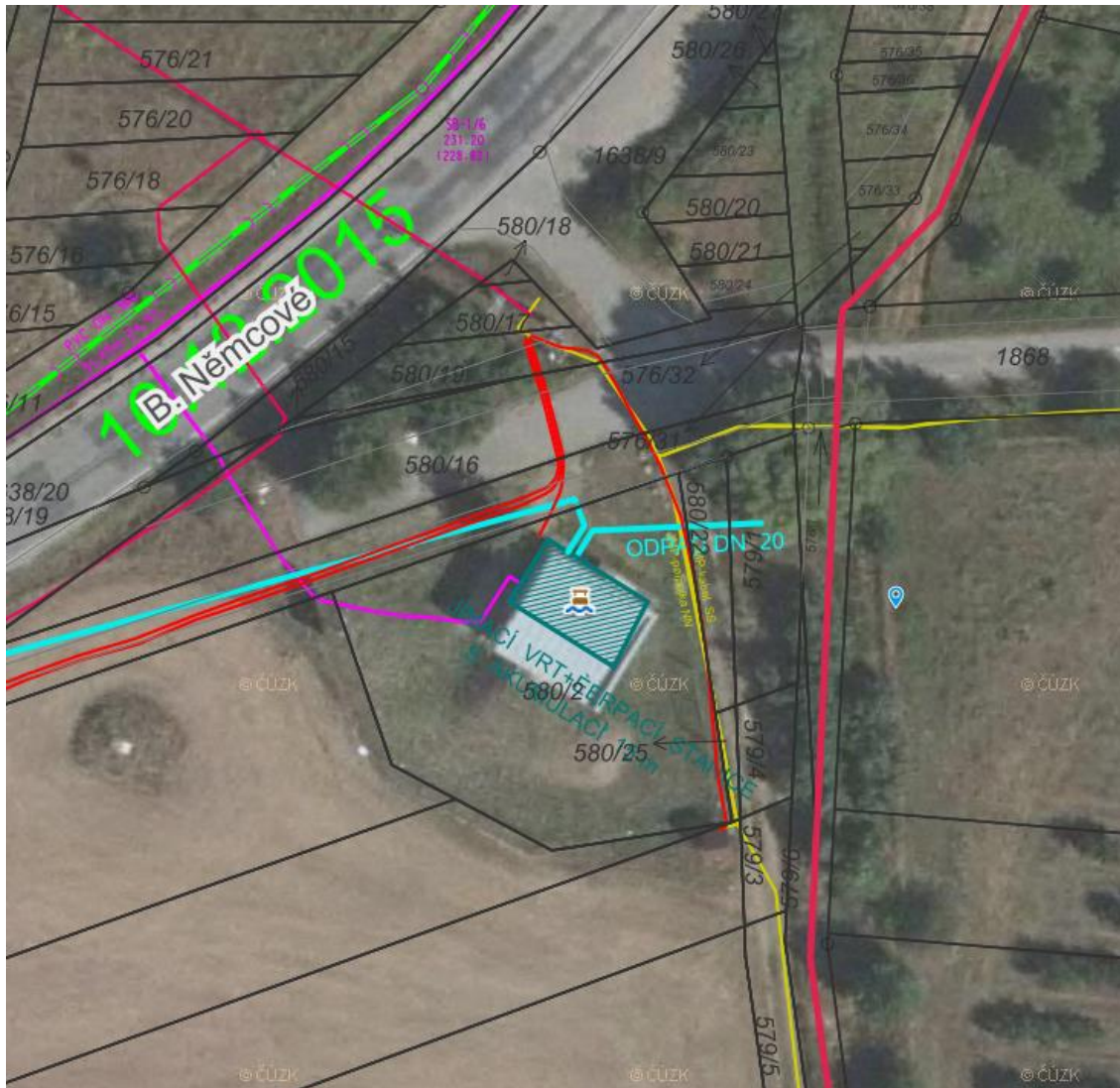
Stočné: 40,54 Kč vč. DPH



Obrázek 3.6 Vodovod obce Ostopovice [22]

### 3.2.1 Zdroj vody

Obec Ostopovice je zásobena podzemní vodou pomocí nově vybudovaného vrtu na východním okraji obce. Podnětem pro zbudování nového jímacího zařízení byly technické problémy vyskytující se během provozu starého vrtu z 80. let minulého století. Jímací vrt včetně čerpací stanice se nachází na parcele číslo 580/2 v k.ú. Ostopovice. [21]



Obrázek 3.7 Zdroj vody a ČS na parcele č. 580/2

Celý objekt je chráněn proti vniknutí cizích osob pomocí oplocení. Garantovaná vydatnost nového vrtu je  $4 \text{ l.s}^{-1}$ . Vrt disponuje ponorným čerpadlem Grundfos. V tabulce uvedené níže je možné vidět bližší specifikace jímacího zařízení. [21]

Tabulka 3.1 Bližší specifikace jímacího zařízení

Typ ponorného čerpadla	Grundfos SP17-9
Průtok	$Q = 2,5\text{--}3,00 \text{ l.s}^{-1}$
Statická výška	$H = 84 \text{ m}$

Dopravní výška	$H = 92-96 \text{ m}$
Příkon čerpadla	$P_m = 5,5 \text{ kW}$
Počet čerpadel	1 ks

Voda z vrtu je do vodojemu čerpána kontinuálně a s konstantním odebíraným množstvím, které pokrývá maximální denní potřebu vody v obci. Na výtlačném potrubí za čerpadlem je rovněž osazena zpětná klapka. Světlost potrubí ve vrtu je G2“, které se před čerpací rozšiřuje na profil DN 80. [21]

Původním zdrojem vody pro obec byly dvě kopané studny hloubky 5,5 a 3,0 metrů, které byly uprostřed obce, dále jímací vrt v blízkosti stávajícího vrtu. Tyto zdroje jsou již v nevyhovujícím stavu a nadále nebudou provozovány. [21]

### 3.2.2 Čerpací stanice, hygienické zabezpečení

Čerpací stanice se nachází stejně jako zdroj vody na parcele číslo 580/2 v k.ú. Ostopovice, celý objekt je oplocen. Objekt čerpací stanice je původní zděný o rozměrech 6,0 x 10,0 m, střecha objektu je plochá. Vnitřní uspořádání je následující: vstupní prostor, strojovna, místnost sloužící pro dávkování dezinfekce. Objekt neprošel žádnou výraznou stavební úpravou. [21]

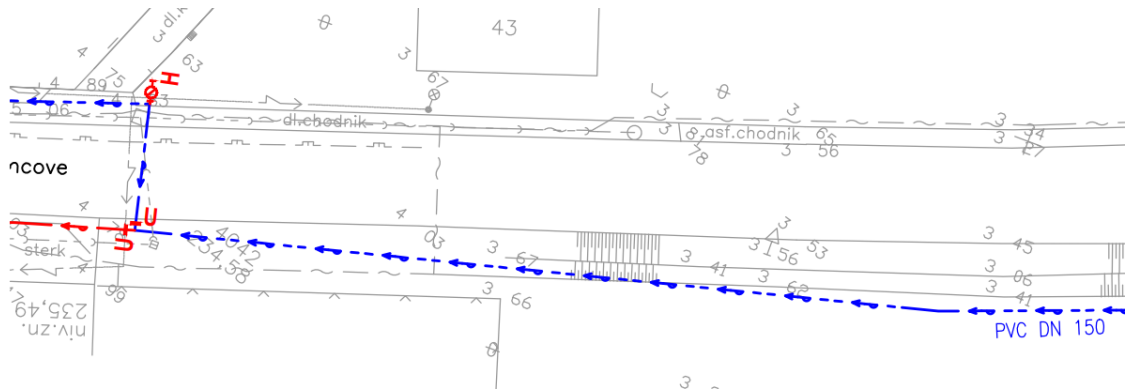


Obrázek 3.8 Objekt ČS a zdroje vody

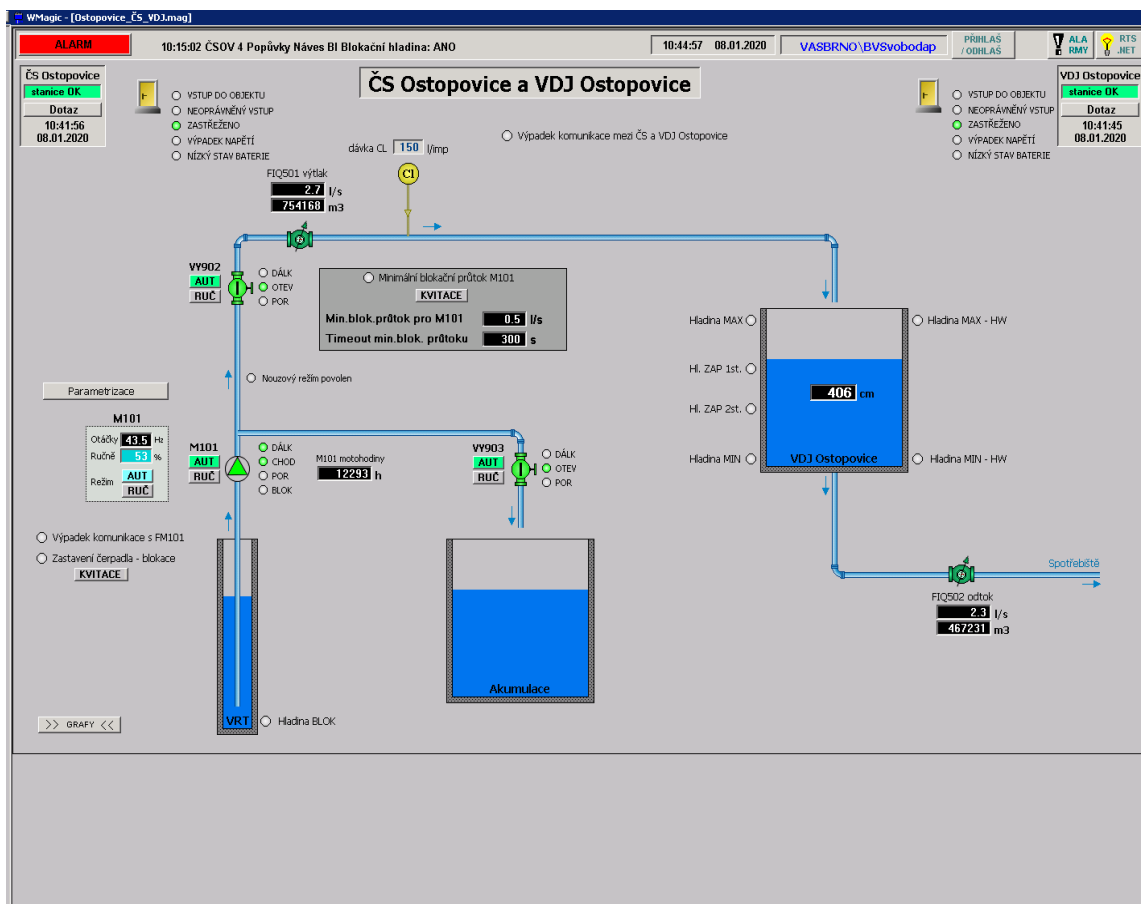
Do čerpací stanice je voda z vrtu čerpána pomocí čerpadla Grundfos s potrubím profilu DN 80. V čerpací stanici se na potrubí nachází zařízení pro měření tlaku, následně se potrubí větví do dvou částí – výtlačné potrubí do vodojemu a potrubí sloužící k vypouštění přebytečné vody přes akumulaci nádrží do potoka. Výtlačné potrubí disponuje zpětnou klapkou, uzávěrem s elektropohonem U1 DN 80, měřením průtoku DN 40 a ručním uzávěrem – pro případ nutnosti odstavení výtlačného potrubí. Na potrubí dále nalezneme odbočku DN 80, která slouží pro vypouštění vody z výtlačného řadu. Na výtlačném potrubí je napojena tlaková nádoba, o objemu  $V = 300$  l, plnící funkci rázové ochrany a je opatřena gumovým vakem (není potřebný kompresor, vzduch lze doplnit ručně). Hygienické zabezpečení vody je realizováno v místnosti k tomu určené a je dávkováno přímo do výtlačného potrubí směr vodojem, ale až za odbočkou pro vypouštění potrubí. Jako dezinfekční činidlo je používán neředěný chlornan sodný, díky tomu není nutné provádět přívod vody pro ředění roztoku. V místnosti pro dávkování dezinfekce jsou umístěny dvě nádrže s chlornanem sodným, ve složení jedna provozní + jedna jako rezerva. Čerpadlo se sacím košem, které se nachází v provozní nádrži je přímo připojeno na dávkovací čerpadlo. Čerpadlo spíná v závislosti na minimální nastavené hodnotě chlornanu sodného. Výtlačné potrubí je provedeno z PE 6x4 a prochází stávající betonovou nádrží a je umístěno na stěnách, na potrubí se nachází pouze jedna armatura, a to zpětná klapka s uzávěrem. Toto potrubí je následně zaústěno do výtlačného potrubí DN 80 přes vstřikovací ventil. Na potrubí DN 80 je návarek G 1/2“, kterým je do místnosti vedeno potrubí G 1/2“ s čistou vodou, slouží k očištění obsluhy v případě, že by došlo k potřísnění chlornanem sodným. Větev, která slouží k vypouštění vody z akumulaci nádrže do potoka, je v provozu pouze v případě přesažení maximální provozní hladiny ve vodojemu. [21]

### 3.2.3 Výtlačný řad do vodojemu

Výtlačné potrubí do vodojemu z části využívá původní potrubí ze starého vrtu, které je z PVC DN 150, cca 175 metrů. Zbytek původního výtlačného potrubí slouží jako zásobovací potrubí. Navazující nové výtlačné potrubí je provedeno z PVC DN 100 a je většinou vedenou krajnicí vozovky a intravilánem obce. Mimo obec je výtlačné potrubí vedeno souběžně se zásobovacím řadem z vodojemu, odpadem z vodojemu a přípojkou NN. Výtlačný řad je veden ve veřejných pozemcích s dodržением bezpečnostního pásma 1,5 m od kraje potrubí na každou stranu. Směrové změny potrubí jsou zabezpečeny pomocí tvarovek, lomová místa na potrubí z PVC jsou opatřena kotevními bloky z betonu. Potrubí je uloženo v hloubkách od 1,60 m do 2,17 m a na povrchu je opatřeno výstražnou páskou PVC s identifikačním vodičem. Výtlačné potrubí je možné na začátku obce v případě havárie přímo propojit s rozvodnou sítí obce. K tomuto účelu slouží 2 uzávěry, uzávěr za propojovacím uzlem směrem k vodojemu je v běžném provozu stále otevřen a uzávěr na propoji s rozvodnou sítí je trvale uzavřen. Žádné další armatury, jako jsou hydranty, uzávěry apod. již na výtlačném potrubí nejsou. [21]



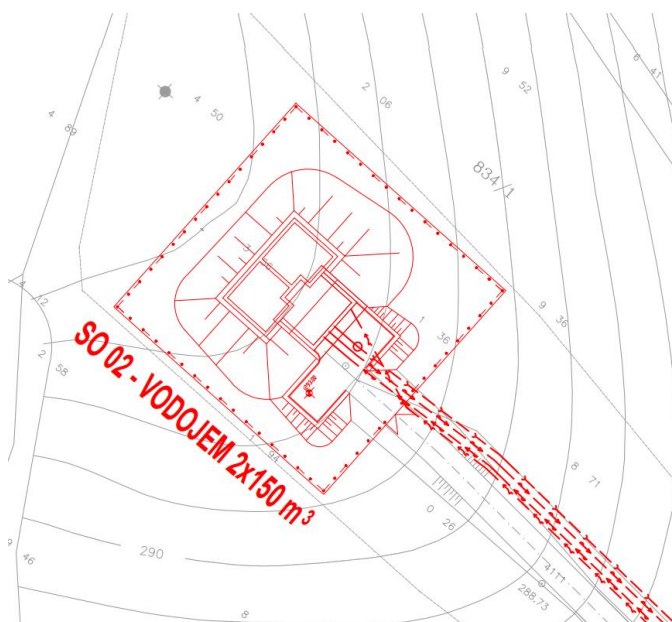
Obrázek 3.9 Dva uzávěry na výtlačném potrubí (směr vodojem a směr rozvodná síť obce)



Obrázek 3.10 Schematizace SCADA: ČS – výtlačný řad – vodojem

### 3.2.4 Vodojem

Vodojem se nachází přibližně 400 metrů jižně od okraje obce na parcele číslo 502/1 ležící v k.ú. Ostopovice. Vodojem spolu s armaturní komorou utváří jeden dilatační celek. Ve vodojemu se nachází dvě akumulční nádrže obdélníkového tvaru o rozměrech 6,00x5,70 m a o objemu 150 m<sup>3</sup>. Minimální provozní hladina ve vodojemu dosahuje kóty 290 m n.m. a maximální provozní hladina kóty 295 m n.m. Výška hladiny vody tak může dosahovat až 5,0 m. [21]



Obrázek 3.11 VDJ Ostopovice



Obrázek 3.12 Čelní pohled na VDJ Ostopovice

Tloušťka dna nádrží i stěn činí 400 mm a celá konstrukce je provedena z vodostavebního betonu s ocelovou výztuží. V místech, kde byl proveden výkop pro stavební konstrukci

vodojemu, byla umístěna drenáž DN 125, která je vyvedena do kanalizační šachty. Základová spára byla provedena hutněním šterkopískového podsypu 2x150 mm s podkladním betonem tloušťky 100 mm. Poté bylo provedeno vybetonování vlastní konstrukce dna stěn vodojemu. Ke vstupu do nádrží slouží ponorkové dveře, které jsou z části zatopené vodou z akumulčních nádrží. Stropní konstrukce nádrží byla provedena z betonových panelů a na ně utvořena železobetonová membrána z betonu tloušťky 50 mm, s následnou tepelnou izolací s parotěsnou zábranou a hydroizolací. Konstrukce je dále překryta vrstvou zeminy o tloušťce 400 mm, zemina je oseta travním porostem. Dno akumulčních nádrží je vyspádováno směrem k odběrné jímce. Odběrná jímka je vyspádována k odpadnímu potrubí. Vnější líce stěn jsou opatřeny hydroizolací a ta je chráněna geotextilií. Větrání nádrží je realizováno v přední části přes armaturní komoru. Větrací otvor s filtrační vložkou je rozměru DN 200 a je umístěn nad vstupními dveřmi. [21]

Armaturní komora je taktéž obdélníkového tvaru o rozměrech 6,7x4,8 m. Trubní vystrojení nádrží je umístěno v suterénu armaturní komory. Pro výstavbu byl použit hutněný šterkopískový podsyp tloušťky 15 cm s následným položením podkladního betonu tloušťky 10 cm. Suterén armaturní komory je proveden z železobetonové desky z vodostavebního betonu tloušťky 400 mm s odvodňovací jímkou. Dno armaturní komory je z vodostavebního betonu, stěny a strop z betonu B20. Stěny jsou izolovány tepelnou izolací s následnou hydroizolací proti zemní vlhkosti. Strop suterénu je proveden z železobetonové desky tloušťky 200 mm. Pro sestup do suterénu bylo osazeno ocelové schodiště. O zastřešení armaturní komory se stará sedlová střecha opatřená dřevěným krovem s uložením na pozednicích, které jsou ukotveny ocelovými pásky a zabetonovány do ztužujícího věnce. Větrání suterénu armaturní komory zajišťuje ocelové potrubí ukončené v úrovni podlahy. Vstup do podkroví je proveden pomocí ocelových dveří s tepelnou izolací. Kanalizační šachta je umístěna před armaturní komorou, je do ní zaústěno potrubí z drenáže a dešťové kanalizace. Areál vodojemu je oplocen a ke vstupu slouží ocelová vrata. [21]

V suterénu armaturní komory se nachází přívodní potrubí DN 80, které přechází na DN 50, kvůli osazenému vodoměru. Následně se rozšiřuje na DN 80 a dělí se na dvě větve, z nichž každá je zaústěna do akumulční nádrže. Odběr vody z nádrží je realizován potrubím DN 150. Odběrné potrubí je propojeno s přívodním pomocí propojovacího potrubí profilu DN 80. Potrubí bezpečnostního přelivu je DN 150 a je do něho připojeno vypouštěcí potrubí DN 80. Prostup přívodního potrubí do nádrží je proveden pod hladinou vody. [21]

Na přívodním potrubí jsou osazeny armatury z nerez:

- TP-kus DN 100, T-kus DN 100/80, redukce DN 100/80, filtr DN 80, montážní vložka DN 80, regulační ventil DN 80, redukce DN 80/50, F-kus DN 50, vodoměr DN 50, TP-kus DN 50, montážní vložka DN 50, F-kus DN 50 s odbočením DN 15, redukce DN 80/50, T-kus DN 80/80, šoupátko DN 80, montážní vložka DN 80



Propojovací potrubí mezi přívodním a odběrným potrubím je provedeno z nerezů DN 80 a skládá se z:

- Koleno DN 80, F-kus DN 80, regulační ventil DN 80, montážní vložka DN 80, šoupátko DN 80, F-kus DN 80 s odbočením na DN 50 (pro čištění nádrží), koleno DN 80, trubka DN 80, koleno DN 80

Odběrné potrubí směr Ostopovice je gravitační z profilů DN 65 a DN 125 a jsou na něm tyto armatury z nerezů:

- Odbočka DN 125/15, T-kus DN 150/150, potrubí DN 150 s odbočkou na DN 15 a DN80, montážní vložka DN 150, šoupátko DN 150, T-kus DN 150/80, TP-kus DN 150 s kotevní přírubou, šoupátko DN 80, odvzdušňovací a zavzdušňovací ventil.

Odběrná potrubí z nádrží jsou osazena šoupátky DN 150 a montážní vložkou DN 150. Potrubí jsou opatřena vtokovými koši. [21]

Potrubí bezpečnostního přelivu je profilu DN 150, na koncích těchto potrubí v každé nádrží jsou osazeny přírubové vtoky DN 150. Potrubí jsou osazeny:

- Montážní vložkou DN 80, šoupátkem DN 80

Odpadní potrubí obou akumulčních nádrží je zaústěno do kanalizační šachty. Ze dna kanalizační šachty následně vychází odpadní potrubí z PVC 225x10x8 mm o délce 403,5 m a je vedeno z vodojemu souběžně s výtlačným a zásobovacím řadem. [21]

Vodojem je vybaven snímačem hladiny (minimální a maximální provozní hladina), který přenáší signály o stavu hladiny do čerpací stanice. Dále je vybaven signalizací dveřního kontaktu – hlídání vstupu do objektu. Přes síť GSM a následně pomocí SMS jsou hlášeny poruchy, případně vstupy do objektu vodojemu. [21]



**Obrázek 3.13** Nedostavěná Říšská dálnice v blízkosti vodojemu



**Obrázek 3.14** Pohled z vodojemu Ostopovice

### 3.2.5 Popis zásobovacího systému obce

Vodovodní síť v obci je z části okružová a z části větvená a je rozdělena do dvou tlakových pásem – TP 1 ČS Ostopovice zahrnující potrubí výtlačného řadu a TP 2 VDJ Ostopovice zahrnující zásobovací potrubí a rozvodné potrubí obce. Vodovodní síť byla v průběhu let budována z různých materiálů jako je litina, ocel, PE, PVC. Nové dobudované řady, v roce 2003, byly vyhotoveny z PVC DN 150–80, případně z HD-PE DN 50. Kromě nejstarších úseků vodovodní sítě je veškeré potrubí uloženo ve veřejných pozemcích, nejčastěji v krajnicích silnice, chodnicích. Způsob uložení potrubí v dřívějších letech není ověřen, u nově budovaných řadů jsou směrové odchylky trasy řešeny pomocí tvarovek – hrdlová kolena. Veškeré lomy na potrubí z PVC jsou opatřeny betonovými kotevními bloky. Není zřejmé, zda jsou původní vodovodní řady uloženy do chrániček, nové vodovodní řady jsou však v místech křížení se silnicí III. uloženy v chráničkách z HDPE. Vodovodní síť disponuje celkem 32 podzemními hydranty (18 původních 14 nově osazených). Všechny hydranty jsou požární. Pro případ havárie jsou na jednotlivých větvích vodovodní sítě připraveny sekční uzávěry, které umožní odstavení části vodovodní sítě. Zastoupení jednotlivých materiálů a délek je patrné z tabulek 3.2 a 3.3

**Tabulka 3.2** Legenda materiálů

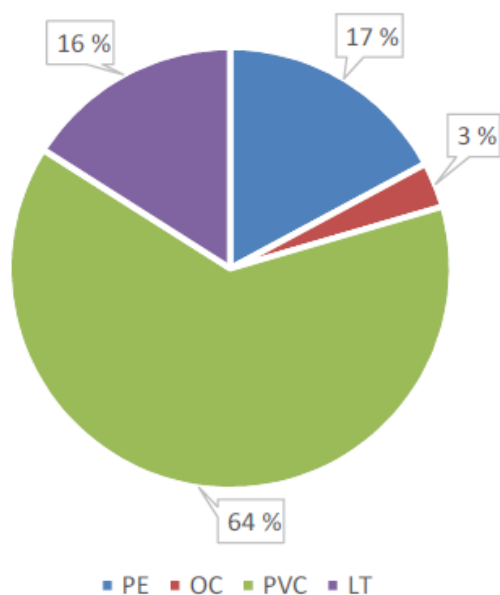
PE	-	lineární polyethylen
OC	-	ocel
PVC	-	polyvinylchlorid
LT	-	tlaková litina šedá

**Tabulka 3.3** Zastoupení materiálů dle délek

Materiál	Délka [m]	Zastoupení [%]
PE	1486	17
OC	289	3
PVC	5511	64
LT	1385	16
Celková délka [m]	8671	

V grafu 3.1 je graficky znázorněno zastoupení materiálů vodovodní sítě dle délek. V tabulce 3.4 je patrné zastoupení dimenzí dle délek a toto zastoupení je graficky popsáno také v grafu 3.2. V tabulce 3.5 můžeme vyčíst staří vodovodního potrubí, o jaký materiál se jedná a celkovou délku tohoto materiálu. Je zřejmé, že v provozu je stále velké množství úseků, starší roku 1980. Graficky jsou pak tyto informace interpretovány grafem 3.3.

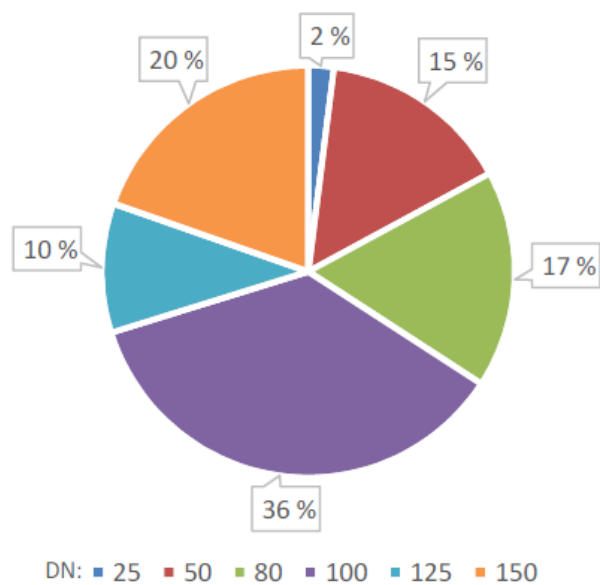
**Graf 3.1 Zastoupení materiálů dle délek**



**Tabulka 3.4 Zastoupení dimenzí dle délek**

DN	Délka [m]	Zastoupení [%]
25	173	2
50	1308	15
80	1484	17
100	3123	36
125	881	10
150	1703	20
Celková délka [m]	8671	100

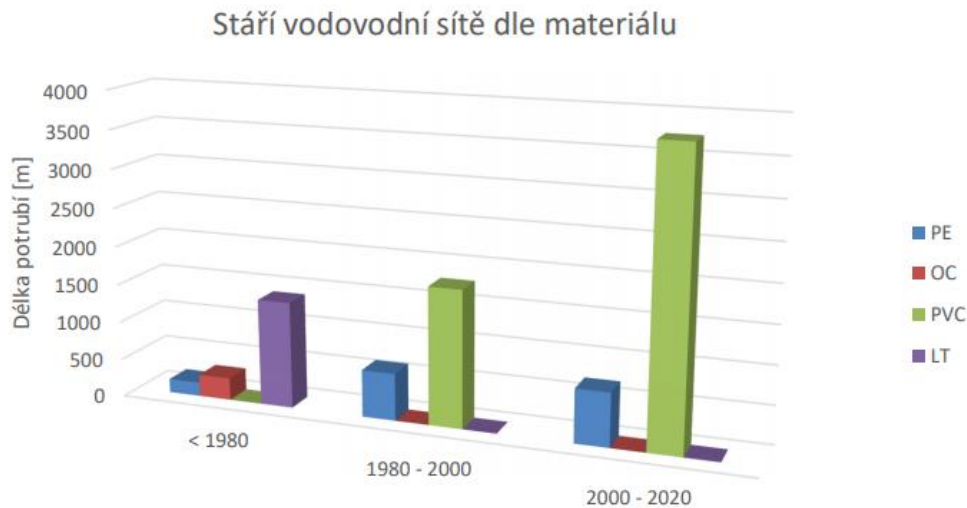
**Graf 3.2 Zastoupení dimenzí dle délek**



**Tabulka 3.5 Stáří potrubí dle materiálu**

MAT/ROK	< 1980	1980 - 2000	2000 - 2020	Celková délka [m]
PE	180	612	695	1486
OC	289	0	0	289
PVC	0	1775	3736	5511
LT	1385	0	0	1385
Celkem [m]	1854	2386	4431	8671

**Graf 3.3 Stáří vodovodní sítě dle materiálu**



### 3.2.6 Provozovatel vodovodu

Současným vlastníkem vodovodu je sama obec Ostopovice. Od 1.10.2016 se provozovatelem vodovodu a kanalizace v obci stává Vodárenská akciová společnost, a.s., konkrétně divize Brno-venkov.

#### *Divize Brno-venkov*

**Sídlo divize:** Soběšická 156, 638 00 Brno

Provozy divize Brno-venkov sídlí v Tišnově, Židlochovicích, Ivančicích, Rosicích a také Pozořicích. Tyto provozy zajišťují dodávky vody a odvádění odpadních vod pro 116 obcí a jejích částí. [23]

### 3.2.7 Měření průtoků, tlaků a hladiny v zásobovacím systému

#### *Měření průtoků*

Měření průtoků na vodovodu obce Ostopovice probíhá na dvou místech. Prvním místem měření je strojovna čerpací stanice, která se nachází v bezprostřední blízkosti vrtu. Měření zde probíhá na výtlačném potrubí DN 80, na kterém je osazeno měření průtoků

DN 40. Druhým místem měření průtoků je armaturní komora vodojemu. Měření je realizováno na potrubí směrem do spotřebiště, osazený vodoměr je profilu DN 50. [21]



Obrázek 3.15 Měření průtoků v armaturní komoře vodojemu

### ***Měření tlaků***

Jediným místem měření tlaků je v čerpací stanici, která se nachází u vrtu. V čerpací stanici je měření tlaku osazeno na výtlačné potrubí DN 80, za měřením tlaku se potrubí dělí na dvě větve – hlavní výtlač do vodojemu a vypouštění přebytečné vody přes akumulaci nádrž do potoka. [21]

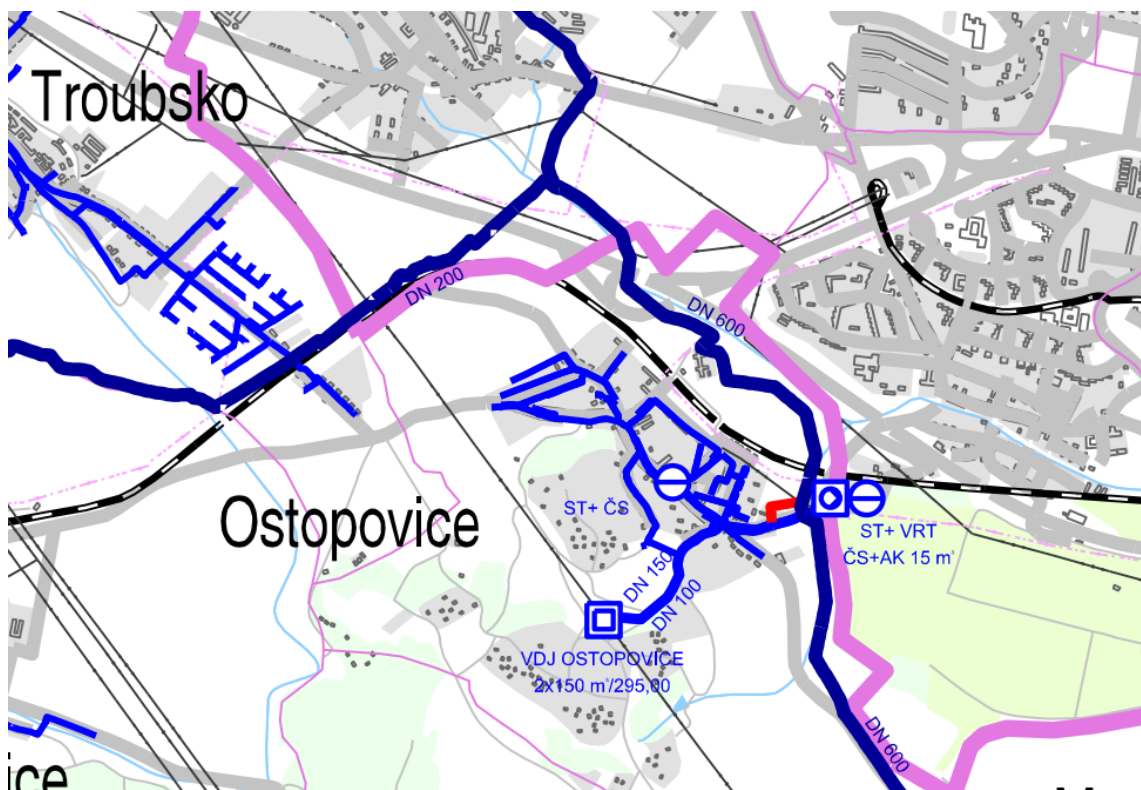
### ***Měření hladiny***

Měření hladiny je instalováno v čerpací stanici a ve vodojemu. V čerpací stanici je měření hladiny osazeno z důvodu blokování čerpadla minimální hladinou, tak aby nedocházelo k chodu čerpadla naprázdno. Ve vodojemu je osazeno měření hladiny ponorným tenzometrem BP201.1, minimální hladina je nastavena na hodnotu 290 m n.m. a maximální hladina na hodnotu 295 m n.m. Ve vodojemu je také osazeno záložní měření hladiny, které plní svou funkci v případě selhání provozu hlavního měření hladiny. Záložní měření hladiny je realizováno pomocí plovákových spínačů SL201.2, SL201.3. Ve vodojemu je osazen rádiový modem, který zajišťuje přenos signálů o stavu hladiny do čerpací stanice. [21]

## **3.2.8 Napojení vodovodu obce na Vířský oblastní vodovod**

K 1.10.2020 došlo k napojení vodovodu obce Ostopovice na Vířský oblastní vodovod. Stavba proběhla pod názvem „Napojení vodovodu Ostopovice na vodovodní přívaděč VOV“. Stavbu realizoval současný provozovatel vodárenské infrastruktury, na území obce Ostopovice, VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s., investorem akce byla obec Ostopovice. Aktuálně se v surové vodě z obecního zdroje, vlivem geologického

podloží, nacházejí vyšší hodnoty manganu, vápníku a hořčíku. Z tohoto důvodu je voda označována jako značně tvrdá, což na stupnici tvrdosti odpovídá hodnotám 3,2–5,3 mmol.l<sup>-1</sup>. Naopak voda přiváděná z Vířského oblastního vodovodu nese označení měkká, jedná se totiž o vodu z povrchového zdroje s minimálním obsahem manganu. K napojení na Vířský oblastní vodovod došlo především z důvodu zlepšení jakosti pitné vody a zvýšení kapacity vody v síti pro současné, ale i budoucí odběratele. Dle provozovatele vodovodu v obci bude docházet k mísení vody z místního zdroje a vody z Vířského oblastního vodovodu. Ze začátku bude voda ředěna v poměru 1:2 (1 díl voda z vrtu, 2 díly vody z Vířského oblastního vodovodu), s tím že optimální poměr ředění může být na základě výsledků rozborů upraven. Smícháním vody z podzemního a povrchového zdroje dojde ke zlepšení kvality vody a naplnění vyhlášky č.252/2004 Sb., která hovoří o hygienických požadavcích na pitnou a teplou vodu a četnost kontroly pitné vody. [25]

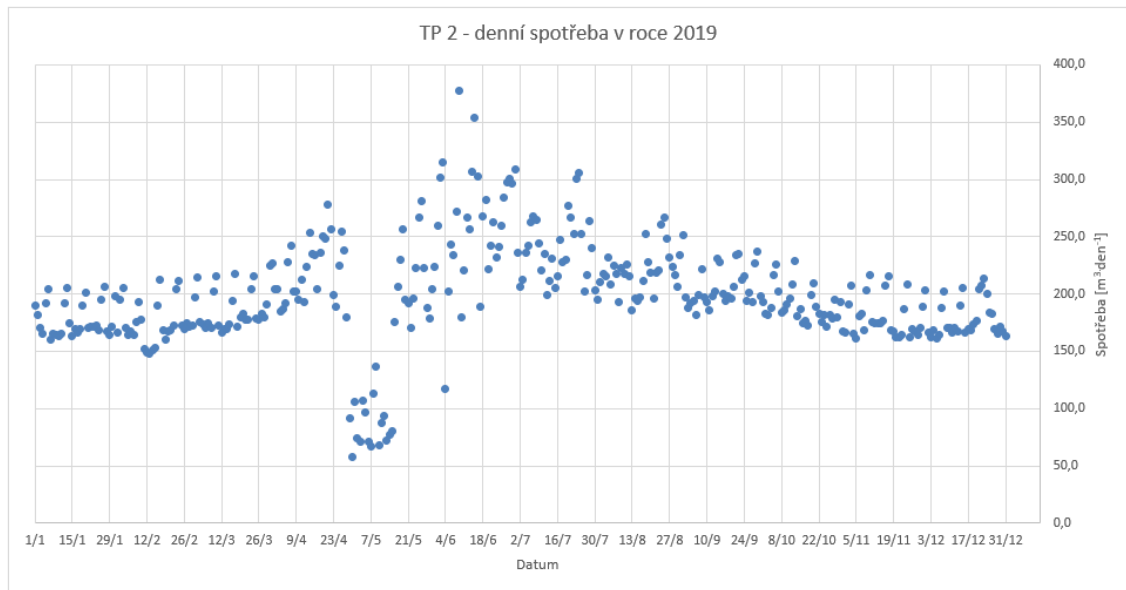


Obrázek 3.16 Napojení vodovodu obce Ostopovice na Vířský oblastní vodovod (vyznačeno červeně) [26]

### 3.2.9 Analýza spotřeby vody

Na odtoku z VDJ Ostopovice směrem do spotřebišť je osazeno měření průtoku. Během měření dochází k zaznamenávání průměrných hodinových průtoků v intervalu celého roku. Odečet je prováděn automaticky a data jsou dostupná v systému SCADA, odkud je možné data exportovat. V analýze spotřeby vody ve spotřebišti byly zpracovány průtoky za období 1. 1. 2019–31. 12. 2019. Data o průtocích byla poskytnuta provozovatelem vodovodní sítě v obci.

**Graf 3.4 Denní spotřeba vody za období 1. 1. 2019–31. 12. 2020**



Surová data byla následně roztríděna podle toho, zda se jedná o pracovní den nebo naopak den pracovního klidu tzn. víkendy a státní svátky, poté byla data statisticky zpracována a byly vypočteny hodnoty:

$Q_p$  – průměrný denní průtok byl vyhodnocen průměrem hodinových průtoků.

$Q_d$  – maximální denní průtok byl stanoven z denních průtoků, které byly stanoveny jako součet hodinových průtoků v jednotlivých dnech.

$Q_h$  – výsledný hodinový průtok byl určen na základě dílčích naměřených hodinových průtoků v jednotlivých dnech.

$Q_{\min}$  – minimální hodinový průtok z hodinových průtoků.

$k_d$  – koeficient denní nerovnoměrnosti podle vztahu:

$$k_d = \frac{Q_d}{Q_p}, \quad (3.1)$$

$k_h$  – koeficient hodinové nerovnoměrnosti podle vztahu:

$$k_h = \frac{Q_h}{Q_d}, \quad (3.2)$$

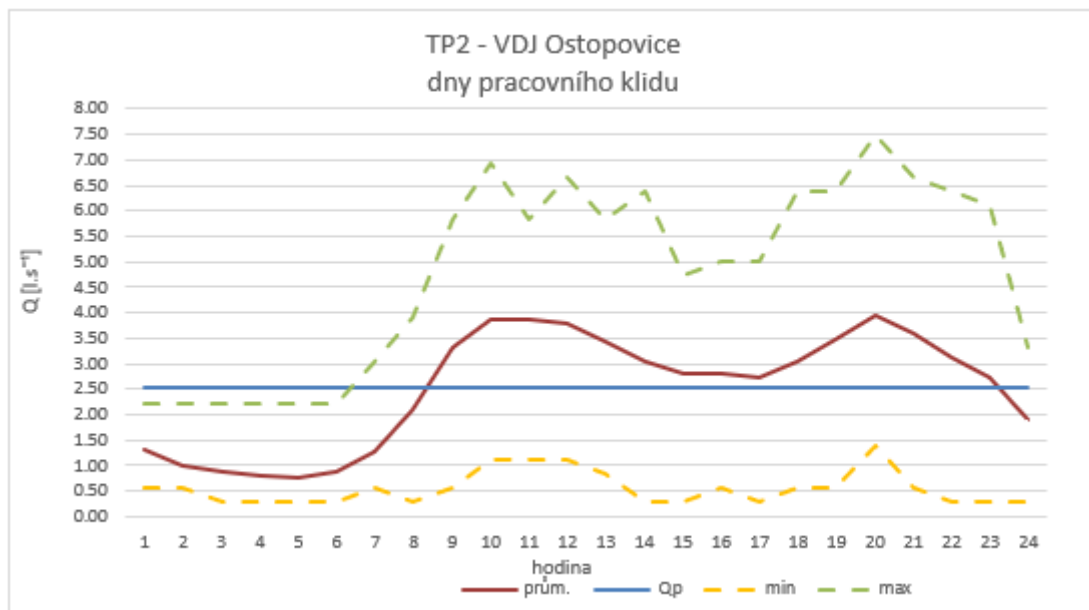
Podrobné výsledky z provedené analýzy spotřeby vody jsou patrné z tabulek a grafů uvedených níže.



**Tabulka 3.6 Spotřeba vody v obci Ostopovice – dny pracovního klidu**

Průtoky		
$Q_p$	2.52 l/s	
$Q_d$	4.36 l/s	377.0 m <sup>3</sup> /d
$Q_h$	6.39 l/s	
$Q_{min}$	0.28 l/s	
Koeficienty		
$k_h$	1.46	
$k_d$	1.73	

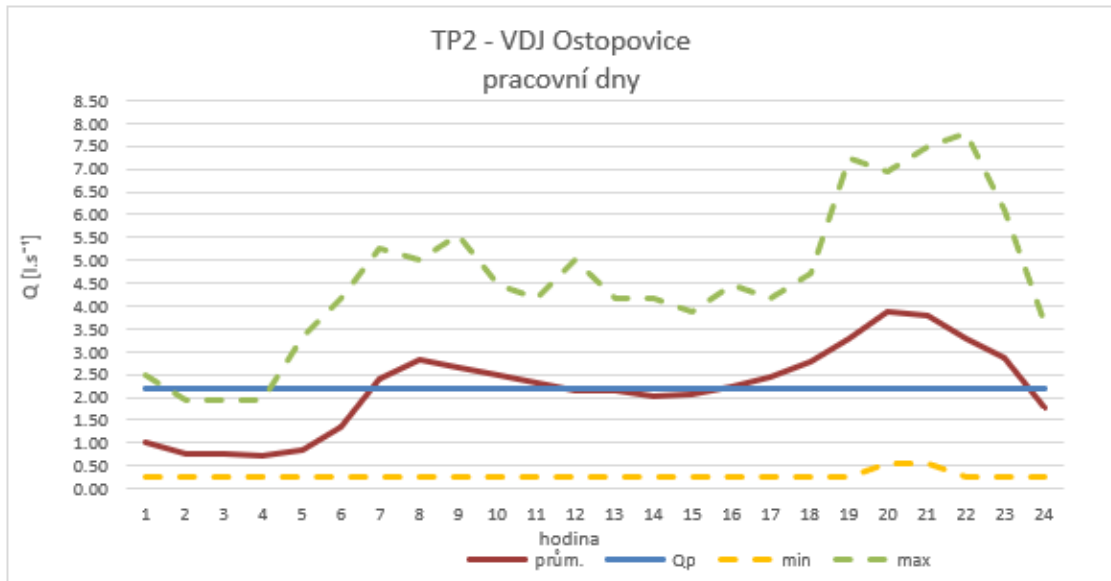
**Graf 3.5 Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu**



**Tabulka 3.7 Spotřeba vody v obci Ostopovice – pracovní dny**

Průtoky		
$Q_p$	2.20 l/s	
$Q_d$	3.65 l/s	315.0 m <sup>3</sup> /d
$Q_h$	5.83 l/s	
$Q_{min}$	0.28 l/s	
Koeficienty		
$k_h$	1.60	
$k_d$	1.65	

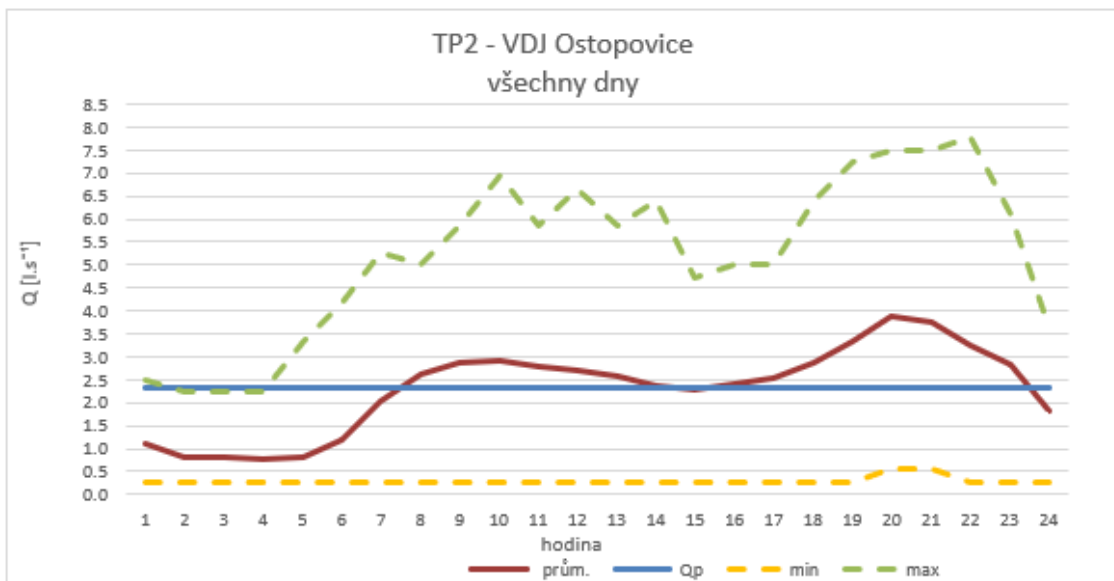
**Graf 3.6 Průběh spotřeby vody v pracovních dnech**



**Tabulka 3.8 Výsledky analýzy spotřeby vody**

TP2 - VDJ Ostopovice		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
		$Q_p$	[l/s]	2.20
$Q_d$	[l/s] [m <sup>3</sup> /d]	3.65	4.36	4.36
$Q_h$	[l/s]	5.83	6.39	5.83
$Q_{min}$	[l/s]	0.28	0.28	0.28
% $Q_p$	[%]	0.53	0.46	0.50
$k_h$	[-]	1.60	1.46	1.34
$k_d$	[-]	1.65	1.73	1.89

**Graf 3.7 Průběh spotřeby vody všechny dny**



Výše uvedené grafy popisují charakter spotřebiště, kde jediným velkoodběratelem je Společenství pro dům U Dráhy 414, Ostopovice se spotřebou  $11,99 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$  (tj.  $0,14 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ ), což splňuje podmínku pro klasifikaci mezi velkoodběratele – denní spotřeba musí být větší než  $8,6 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ .

**Tabulka 3.9 Spotřeba velkoodběratelů**

číslo ve výkresu	VELKOODBĚRATEL	ADRESA	SPOTŘEBA [ $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ ]	SPOTŘEBA [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	OZNAČENÍ
1	Společenství pro dům U Dráhy 414, Ostopovice	U Dráhy 414/3, Ostopovice	11,99	0,14	VO-1

Zbytek odběratelů je především obyvatelstvo, případně různé služby, avšak bez naplnění podmínky zařazení mezi velkoodběratele. Největší odběr v nepracovní dny je patrný především kolem desáté hodiny ránní a dvacáté hodiny večerní. V pracovní dny jsou patrné především dvě odběrové špičky, a to kolem sedmé a deváté hodiny ránní a poté okolo sedmé a desáté hodiny večerní.

### 3.3 TERÉNNÍ PRŮZKUM

V listopadu 2019 byl ve spotřebišti Ostopovice proveden terénní průzkum, jehož cílem byla prohlídka objektů a zástavby. Prohlídka byla provedena za doprovodu technického pracovníka Vodárenské akciové společnosti, divize Brno-venkov. V první části prohlídky proběhla návštěva čerpací stanice s přílehlým zdrojem vody (pouze zvenčí), ze které se čerpá voda do vodojemu. Následovala prohlídka vodojemu Ostopovice, do kterého byl umožněn vstup. Po prohlídce objektů na síti následoval přesun do spotřebiště, kde bylo provedeno vizuální zhodnocení rozsahu a výšky zástavby. Během terénního průzkumu byla pořízená fotodokumentace a zjištěná data byla zapisována. V neposlední řadě proběhlo zmapování a zápis provozovaných služeb v obci, z těchto informací byla následně sestavena orientační mapka s informacemi o provozovaných službách.

### 3.4 MĚRNÁ KAMPAŇ NA VODOVODNÍ SÍTI

Cílem měrné kampaně bylo získání dat o tlakových a průtokových poměrech ve vodovodní síti obce Ostopovice. Měrná kampaň probíhala od 27. 11. 2019 do 29. 11. 2019. Před samotným měřením byla vytipována místa, ve kterých se provedlo osazení tlakových čidel. Celkem bylo měřicí technikou osazeno 7 míst. K měření byla použita tlaková čidla Sebalog P3, která automaticky zaznamenávají hodnoty tlaků. Měření tlaků probíhalo na celé vodovodní síti, kromě izolovaného výtlačného potrubí do vodojemu. Během měrné kampaně probíhalo obvyklé měření průtoků na vodovodní síti, tj. nátok do vodojemu a odtok z vodojemu, souběžně s měřením tlaků na vybraných místech. Data o průtocích byla následně vyexportována provozovatelem a poskytnuta pro tvorbu hydraulického modelu. Průtoková data byla měřena v intervalech po pěti minutách.



Obrázek 3.17 Osazovaná tlaková čidla Sebalog P3

### 3.4.1 Osazení tlakových čidel

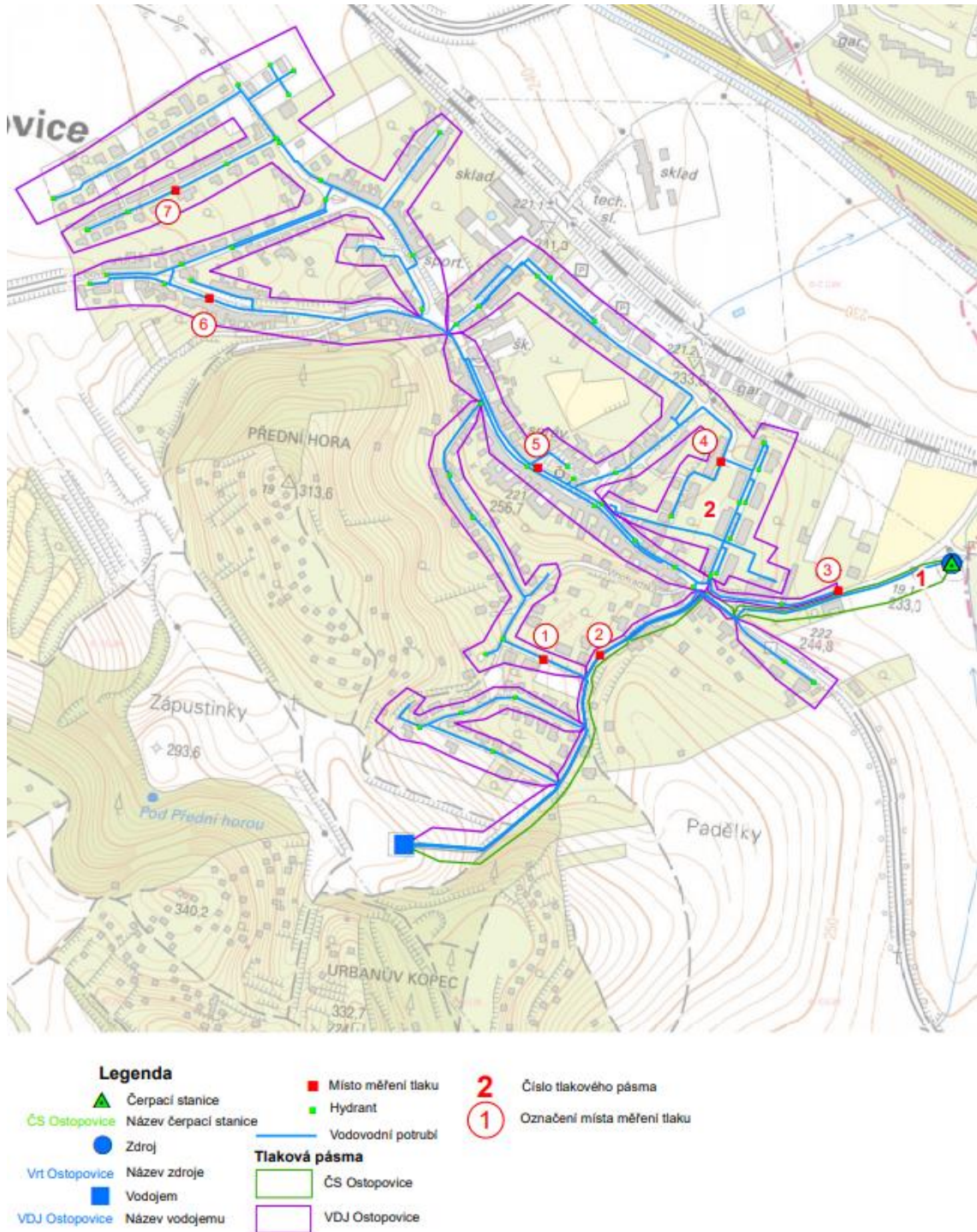
Tlaková čidla Sebalog P3 byla osazena na 7 vybraných míst. Samotné osazení bylo realizováno na podzemní hydranty. Po osazení byl vždy pečlivě zaznamenán čas a číslo popisné nejbližší budovy, které sloužilo jako orientační bod umístění.



Obrázek 3.18 Zkouška otevření hydrantu



Obrázek 3.19 Osazené tlakové čidlo na podzemním hydrantu



Obrázek 3.20 Mapa měrné kampaně (červeně hydranty osazené tlakovým čidlem)

### 3.5 VYHODNOCENÍ MĚRNÉ KAMPANĚ

Naměřené tlaky na vodovodní síti byly statisticky zpracovány. Data z tlakových čidel byla vyexportována v časovém kroku 1 sekunda a z těchto dat byly následně stanoveny průměrné hodinové hodnoty tlaků v daných místech. Tlaková čidla měří a zapisují tlak

v barech, pro účely hydraulického modelu musela být tato data převedena na jednotky metrů vodního sloupce (m v.sl.). Data byla převedena na základě platného vztahu:

$$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 10,19 \text{ m v. sl.}$$

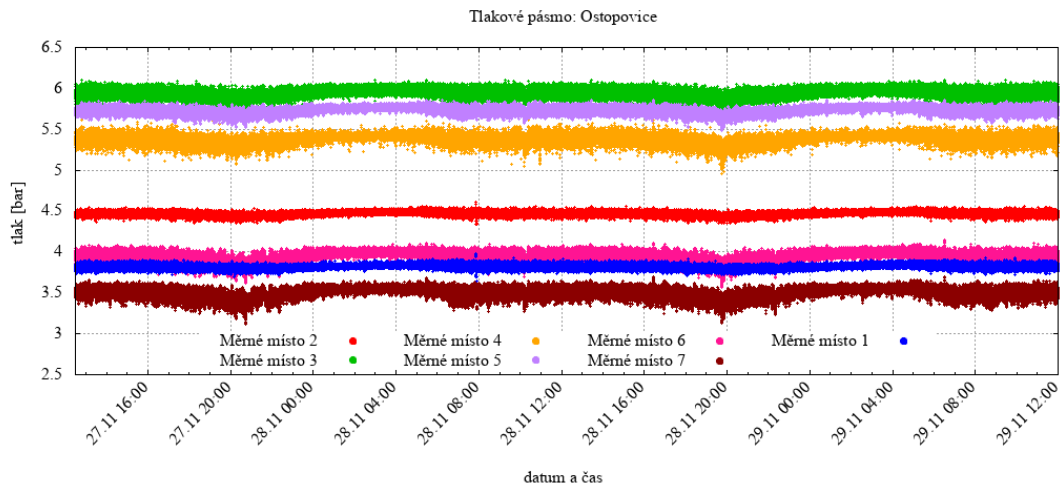
Poté, co byla data převedena z barů na metry vodního sloupce, bylo přistoupeno k tvorbě kalibračního a verifikačního souboru, který obsahuje všech 24 hodin dne a jim odpovídající tlak ze všech sedmi tlakových čidel. Tlak v jednotlivých hodinách byl stanoven jako aritmetický průměr dílčích měření v daném časovém intervalu. Ukázka kalibračních dat je patrná z obrázku 3.21.

```
!;hodnoty tlaku pro kalibraci modelu
;Uzel      Čas (h)      Tlak (m v. s.)
;raw: LogP-ID_001281(Ostopovice)2019-11-27 11-00-00.csv
1_48      0          45.649292497258166
          1          45.719272327620125
          2          45.75385942516361
          3          45.793226530947905
          4          45.78966276295556
          5          45.72586324538145
          6          45.60047298181394
          7          45.56675381823154
          8          45.54556376985125
          9          45.557751658161976
         10          45.570654565477675
         11          45.565921039899166
         12          45.55710035372159
         13          45.58215150472973
         14          45.585231042029484
         15          45.56385126583406
         16          45.523631800760796
         17          45.45477334674016
         18          45.37731908998557
         19          45.287528277602355
         20          45.328794077418046
         21          45.36823197716299
         22          45.44841604905036
         23          45.55672231396994
         24          45.649292497258166
```

Obrázek 3.21 Ukázka kalibračních dat

Průběh měrné kampaně je patrný z grafu 3.8., průměrné, minimální a maximální hodnoty naměřených tlaků, v jednotlivých měrných místech, jsou vypsány v tabulce 3.10.

**Graf 3.8 Průběh tlaků během měrné kampaně**



**Tabulka 3.10 Výsledky měření tlaků**

Číslo TP	tlakové pásmo	číslo měření	běžný provoz		
			min	průměr	max
			[bar]		
2	VDJ Ostopovice	1	3,64	3,82	3,98
2	VDJ Ostopovice	2	4,34	4,47	4,61
2	VDJ Ostopovice	3	5,70	5,94	6,11
2	VDJ Ostopovice	4	4,95	5,38	5,61
2	VDJ Ostopovice	5	5,48	5,73	5,86
2	VDJ Ostopovice	6	3,57	3,94	4,14
2	VDJ Ostopovice	7	3,11	3,50	3,70

## 3.6 ANALÝZA NEJISTOT

Nejistota měření vyjadřuje parametr, který popisuje interval, ve kterém lze s určitou pravděpodobností nalézt skutečné hodnoty měřené veličiny. Nejistota měření tedy přímo souvisí s výsledkem měření. Nejistota měření se tak může vztahovat přímo na výsledky měření, ale také na přístroje použité k měření. Nejistota ve své podstatě popisuje nedokonalosti stanovení výsledku měření. Základem pro stanovení nejistot je pravděpodobnostní princip. Předpokladem je tedy rozdělení pravděpodobnosti, tak aby nejistota omezená intervalem pokrývala skutečnou hodnotu. Dle matematické statistiky se míra nejistoty vyjadřuje směrodatnou odchylkou odpovídajícího rozdělení pravděpodobnosti pro specifické zdroje nejistot. [27], [28], [29]

### 3.6.1 Nejistota typu A

Nejistota typu A se získává z opakovaného měření hodnoty té samé veličiny. Výpočet je tedy založen na statistickém zpracování několika naměřených hodnot. Naměřené veličiny jsou získány opakovaným přímým měřením. Tato opakovaná měření by měla být podložena stejnými podmínkami měření. Pro platnost stanovení nejistoty typu A by mělo proběhnout alespoň 10 měření dle výše popsaných zásad. Nejistotu typu A lze popsat jako směrodatnou odchylku výběrových průměrů (výběrová směrodatná odchylka). Základním předpokladem při měření hodnot je tedy jejich vzájemná nezávislost



provedení za stejných podmínek. Pracujeme tedy s  $n$  naměřenými hodnotami  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ . Z těchto hodnot se stanoví aritmetický průměr. [27], [28], [29]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.3)$$

Standardní nejistota typu A, jejíž označení je  $u_A(x)$  se rovná směrodatné odchylce aritmetického průměru:

$$u_A(x) = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.4)$$

Tento vztah však stoprocentně platí pouze v případě, že bylo provedeno alespoň 10 stejných na sobě nezávislých měření – např. stejnou osobou, na stejném místě, za stejných podmínek. V případě, že počet měření je menší než 10, je vhodné použít opravné koeficienty dle vztahu a tabulky níže, kde  $n$  je počet reálně provedených měření a  $k_s$  odpovídající opravný koeficient. [29]

$$u_A = k_s \cdot s_{\bar{x}} \quad (3.5)$$

Tabulka 3.11 Tabulka opravných koeficientů  $k_s$  v závislosti na počtu měření [29]

$n$	9	8	7	6	5	4	3	2
$k_s$	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

Mezi typické veličiny na vodovodní síti, na které je v praxi možné aplikovat výpočet nejistoty typu A může patřit např.: tloušťka potrubí, dimenze potrubí, kóta dna vodojemu, kóta hydrantu osazeného tlakovým čidlem. Při opakovaném měření těchto veličin pravděpodobně dostaneme do jisté míry vždy rozdílný výsledek.

### 3.6.2 Nejistota typu B

Na rozdíl od nejistoty A pro nejistotu typu B neplatí závislost na četnosti opakovaných měření, parametry nejistoty typu B jsou tedy stanoveny jinak než opakovaným měřením. Základem pro správné stanovení je vytipování zdrojů nejistot  $Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n$ . Standardní nejistota typu B se určí pro každý zdroj např. převzetím hodnot nejistot z technické dokumentace (certifikátu, kalibračních listů, technické normy, údaje výrobců daného měřicího zařízení, technické tabulky, fyzikální tabulky apod.). Zdrojem nejistot při měření jsou nedokonalosti např. měřících zařízení, použitých měřících metod, podmínek měření, konstant použitých při vyhodnocování, vztahů použitých pro vyhodnocování. [27], [29]

Postup:

- Odhad maximálního rozsahu změn  $\pm \Delta z_{\max}$  (např. od měřené hodnoty) – velikost je vhodné zvolit tak, aby překročení bylo málo pravděpodobné. [27], [29]
- Vhodně zvolit druh rozdělení, který bude nejlépe vystihovat výskyt hodnot v intervalu  $\pm \Delta z_{\max}$ , z tabulky rozdělení pravděpodobností se následně odečte konstanta  $\chi$  – udává poměr maximální hodnoty  $\Delta z_{\max}$  vůči směrodatné odchylce normálního rozdělení. Pokud je pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu vyšší, než výskyt v krajích intervalu používá se normální rozdělení. [27], [29]

Tabulka 3.12 Rozdělení pravděpodobnosti [29]

Rozdělení	$Z_{\max}$	$k$	Rozdělení	$Z_{\max}$	$k$
<p>normální (Gaussovo)</p>	$a$	3	<p>rovnoměrné - pravouhlé</p>	$a$	$\sqrt{3}$ -1,73
<p>trojúhelníkové (Simpsonovo)</p>	$b$	2	<p>bimodální (trojúhelníkové)</p>	$a$	$\sqrt{2}$ -1,41
<p>lichoběžníkové</p>	$a$	2,32 při $b = \frac{a}{3}$	<p>bimodální (Diracovo)</p>	$a$	1
	$a$	-2,19 při $b = \frac{a}{2}$			
	$a$	-2,04 při $b = \frac{2a}{3}$			

Pokud se podařilo získat parametry jednotlivých zdrojů nejistot a vhodně zvolit rozdělení pravděpodobnosti výskytu, je možné se přesunout k výpočtu nejistoty typu B. Nejistota typu B se určí ze vztahu: [27], [29]

$$u_{Bz} = \frac{\Delta z_{\max}}{\chi} \tag{3.6}$$

Celková nejistota typu B je pak dána geometrickým součtem jednotlivých nejistot podle vztahu: [27], [29]

$$u_B = \sqrt{\sum u_{Bz}^2} \quad (3.7)$$

Mezi typické vstupní zdroje nejistot na vodovodní síti, patří např. nepřesnosti měření – tlakové čidlo, průtokoměr, plovákový spínač, rozlišitelnost odečtu z měřících přístrojů, kalibrace zařízení, teplota vody apod.

### 3.6.3 Kombinovaná standardní nejistota

Kombinovaná standardní nejistota je dána geometrickým součtem nejistoty typu A a nejistoty typu B. Výpočet je patrný dle vztahu: [27], [29]

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (3.8)$$

### 3.6.4 Rozšířená standardní nejistota U

Výpočet rozšířené nejistoty závisí na zvoleném koeficientu rozšíření. Nejčastěji se používá koeficient rozšíření  $k=2$ , při této volbě koeficientu u normálního rozdělení výsledek počítá s pravděpodobností pokrytí cca 95 %. [27], [29]

$$U = k \times u$$

Tabulka 3.13 Koeficienty rozšíření [29]

Koeficient rozšíření k	Pravděpodobnost P
1	68 %
2	95 %
2,58	99 %
3	99,7 %

## 3.7 APLIKACE NEJISTOT NA DATA ZÍSKANÁ MĚRNOU KAMPANÍ

Pro data naměřená tlakovými čidly během měrné kampaně byl proveden výpočet výše zmíněných nejistot, tedy nejistoty typu A, B a kombinované nejistoty. Výpočet nejistoty A byl proveden pouze na základě naměřených dat, tato nejistota tedy nezohledňuje další zdroje nejistot. Naopak nejistota typu B zahrnuje vstupní zdroje nejistot. V případě Loggeru Sebalog P-3, byly vstupní nejistoty zvoleny na základě kalibračního protokolu a manuálu výrobce. Za vstupní nejistoty lze tedy považovat možnou chybu při měření, která je dle kalibračního protokolu 0,32 %, manuál zařízení uvádí maximální chybu < 1 %. Jelikož byl k dispozici pouze jeden kalibrační protokol, ale měřících zařízení bylo

sedm, nelze proto předpokládat, že zbylých šest zařízení bude mít opět chybovost 0,32 %. Další vstupní nejistotou, je dle manuálu měřicího zařízení, teoretické rozlišení loggeru tj. 0,008 bar resp. 0,03 %. Výpočet nejistot byl proveden pro každé tlakové čidlo a aplikován na kalibrační data.

V tabulce 3.14 je patrný výpočet nejistoty typu A, pro místo měření ID\_001281, a její aplikace na data, která byla připravena pro kalibraci hydraulického modelu. Ve druhém sloupci tabulky jsou patrné hodnoty tlaků, tj. kalibračních dat pro jeden celý den, tedy 24 h, ve třetím sloupci jsou pak patrné jím příslušící hodnoty vypočtené nejistoty typu A. Je patrné, že nejistota typu A nemá žádný větší vliv na přesnost kalibračních dat, protože se její hodnota pohybuje v rámci tisícín m v.sl. Průměrná hodnota nejistoty typu A v místě měření ID\_001281 dosahuje hodnoty 0,002353 m v. sl. Ani na ostatních místech, kde byla osazena tlaková čidla, hodnoty nejistot typu A nepřekračují tisícínu m v. sl.

**Tabulka 3.14** Vypočtené hodnoty nejistoty typu A

Nejistota typu A		
hodina	$\mu(u)$ [m v.sl.]	$u_A$ [m v.sl.]
0:00	45.649292	0.001961
1:00	45.719272	0.001778
2:00	45.753859	0.001757
3:00	45.793227	0.001686
4:00	45.789663	0.001772
5:00	45.725863	0.002261
6:00	45.600473	0.002655
7:00	45.566754	0.002669
8:00	45.545564	0.002652
9:00	45.557752	0.002635
10:00	45.570655	0.002574
11:00	45.565921	0.002489
12:00	45.557100	0.002367
13:00	45.582152	0.002512
14:00	45.585231	0.002418
15:00	45.563851	0.002472
16:00	45.523632	0.002604
17:00	45.454773	0.002634
18:00	45.377319	0.002641
19:00	45.287528	0.002700
20:00	45.328794	0.002591
21:00	45.368232	0.002392
22:00	45.448416	0.002453
23:00	45.556722	0.002192
0:00	45.649292	0.001961

V tabulce 3.15 je uvedena ukázka průběhu výpočtu nejistoty typu B pro místo měření ID\_001281. První sloupec tabulky představuje časový interval, ve druhém sloupci, tj.  $Z_{\max}$ , je proveden výpočet hodnoty tlaku včetně připočtené hodnoty maximálního rozsahu změn  $(\mu(u) * ((P+100)/100))$ . Třetí sloupec tabulky představuje vypočtenou hodnotu maximálního rozsahu změn, tak aby překročení této hodnoty bylo málo pravděpodobné (tj.  $\Delta Z_{\max} = \mu(u) - Z_{\max}$ ), čtvrtý sloupec představuje zvolené rozdělení pravděpodobnosti, v tomto případě 3 odpovídá normálnímu (Gaussovu) rozdělení – tímto rozdělením se řídí např. chyby měření. V pátém sloupci pro jednotlivé časy je vždy proveden dvojitý výpočet  $u_B$ , pro odlišné vstupní zdroje nejistot a z nich je následně proveden výpočet výsledné nejistoty typu B (tj. v čase 00:00 chyba měření (0,32 %) odpovídá vypočtená hodnota nejistoty 0,04869 m v.sl., teoretickému rozlišení (0,03 %) pak 0.004565 m v.sl., výsledná nejistota typu B pro čas 00:00 je následně vypočtena z těchto dvou dílčích nejistot.)

**Tabulka 3.15 Výpočet nejistoty typu B**

<b>Zdroje nejistot:</b>	<b>P [%]</b>
Chyba měření (0,02 bar)	0.32
Teoretické rozlišení (0.008 bar)	0.03

Nejistota typu B							
hodina	$Z_{\max}$ [m v.sl.]	$\Delta z_{\max}$ [m v.sl.]	Rozdělení $\chi$	$u_B$ [m v.sl.]	$u_{Bi}^2$	$\Sigma u_{Bi}^2$	$u_B$ [m v.sl.]
0:00	45.80	0.146	3	0.04869258	0.002371	0.00239181	0.04890609
	45.66	0.014	3	0.00456493	2.08E-05		
1:00	45.87	0.146	3	0.04876722	0.002378	0.00239914	0.04898106
	45.73	0.014	3	0.00457193	2.09E-05		
2:00	45.90	0.146	3	0.04880412	0.002382	0.00240278	0.04901812
	45.77	0.014	3	0.00457539	2.09E-05		
3:00	45.94	0.147	3	0.04884611	0.002386	0.00240691	0.04906029
	45.81	0.014	3	0.00457932	2.1E-05		
4:00	45.94	0.147	3	0.04884231	0.002386	0.00240654	0.04905648
	45.80	0.014	3	0.00457897	2.1E-05		
5:00	45.87	0.146	3	0.04877425	0.002379	0.00239984	0.04898813
	45.74	0.014	3	0.00457259	2.09E-05		
6:00	45.75	0.146	3	0.0486405	0.002366	0.00238669	0.04885379
	45.61	0.014	3	0.00456005	2.08E-05		
7:00	45.71	0.146	3	0.04860454	0.002362	0.00238316	0.04881766
	45.58	0.014	3	0.00455668	2.08E-05		
8:00	45.69	0.146	3	0.04858193	0.00236	0.00238095	0.04879496
	45.56	0.014	3	0.00455456	2.07E-05		
9:00	45.70	0.146	3	0.04859494	0.002361	0.00238222	0.04880802
	45.57	0.014	3	0.00455578	2.08E-05		
10:00	45.72	0.146	3	0.0486087	0.002363	0.00238357	0.04882184
	45.58	0.014	3	0.00455707	2.08E-05		
11:00	45.71	0.146	3	0.04860365	0.002362	0.00238308	0.04881677
	45.58	0.014	3	0.00455659	2.08E-05		
12:00	45.70	0.146	3	0.04859424	0.002361	0.00238215	0.04880732
	45.57	0.014	3	0.00455571	2.08E-05		
13:00	45.73	0.146	3	0.04862096	0.002364	0.00238478	0.04883416
	45.60	0.014	3	0.00455822	2.08E-05		
14:00	45.73	0.146	3	0.04862425	0.002364	0.0023851	0.04883746
	45.60	0.014	3	0.00455852	2.08E-05		
15:00	45.71	0.146	3	0.04860144	0.002362	0.00238286	0.04881455
	45.58	0.014	3	0.00455639	2.08E-05		

Z tabulky 3.16 můžeme vyčíst: první sloupec udává časový interval, ve druhém sloupci jsou patrné hodnoty tlaků v daném místě, bez aplikace vypočtených nejistot tzn. data, která byla naimportována pro kalibraci hydraulického modelu. Ve třetím sloupci jsou pak patrné hodnoty nejistoty typu A a ve čtvrtém hodnoty nejistoty typu B. V pátém sloupci nalezneme hodnoty kombinované nejistoty, která byla vypočtena z nejistoty typu A a nejistoty typu B. Poslední dva sloupce tabulky znázorňují hodnoty tlaků se započítáním hodnot kombinované nejistoty tzn. P+u (hodnota tlaku použitá pro kalibraci plus kombinovaná nejistota), P-u (hodnota tlaku použitá pro kalibraci minus kombinovaná

nejistota). Lze tedy např. konstatovat, že v místě měření ID\_001281, v čase 00:00 je naměřený tlak 45,649 m v.sl. s nejistotou 0,0489 m v.sl. Teoreticky zde tedy mohl nastat tlak v rozmezí od 45.600 m v. sl. do 45.698 m v.sl.

**Tabulka 3.16** Výsledné vypočtené nejistoty použitých kalibračních dat pro místo měření ID\_001281

Výsledné nejistoty						
ID_001281		A	B	Kombinace	Tlak včetně nejistot	
Hodina	$\mu(u)$ [m v.sl.]	$u_A$ [m v.sl.]	$u_B$ [m v.sl.]	$u$ [m v.sl.]	$P + u$ [m v.sl.]	$P - u$ [m v.sl.]
0:00	45.649	0.0020	0.0489	0.0489	45.698	45.600
1:00	45.719	0.0018	0.0490	0.0490	45.768	45.670
2:00	45.754	0.0018	0.0490	0.0490	45.803	45.705
3:00	45.793	0.0017	0.0491	0.0491	45.842	45.744
4:00	45.790	0.0018	0.0491	0.0491	45.839	45.741
5:00	45.726	0.0023	0.0490	0.0490	45.775	45.677
6:00	45.600	0.0027	0.0489	0.0489	45.649	45.552
7:00	45.567	0.0027	0.0488	0.0489	45.616	45.518
8:00	45.546	0.0027	0.0488	0.0489	45.594	45.497
9:00	45.558	0.0026	0.0488	0.0489	45.607	45.509
10:00	45.571	0.0026	0.0488	0.0489	45.620	45.522
11:00	45.566	0.0025	0.0488	0.0489	45.615	45.517
12:00	45.557	0.0024	0.0488	0.0489	45.606	45.508
13:00	45.582	0.0025	0.0488	0.0489	45.631	45.533
14:00	45.585	0.0024	0.0488	0.0489	45.634	45.536
15:00	45.564	0.0025	0.0488	0.0489	45.613	45.515
16:00	45.524	0.0026	0.0488	0.0488	45.572	45.475
17:00	45.455	0.0026	0.0487	0.0488	45.504	45.406
18:00	45.377	0.0026	0.0486	0.0487	45.426	45.329
19:00	45.288	0.0027	0.0485	0.0486	45.336	45.239
20:00	45.329	0.0026	0.0486	0.0486	45.377	45.280
21:00	45.368	0.0024	0.0486	0.0487	45.417	45.320
22:00	45.448	0.0025	0.0487	0.0488	45.497	45.400
23:00	45.557	0.0022	0.0488	0.0489	45.606	45.508
0:00	45.649	0.0020	0.0489	0.0489	45.698	45.600

0.049

Stejný výpočet jako byl popsán výše, byl proveden pro všechna místa měření tlaků. Maximální průměrná hodnota kombinované nejistoty dosáhla hodnoty 0,065 m v.sl.. Tato hodnota byla stanovena jako průměr všech kombinovaných nejistot v místě měření ID\_001389 z časového intervalu 24 h.

**Tabulka 3.17 Místo měření ID\_001389 (v tomto místě bylo dosaženo nejvyšších hodnot kombinované nejistoty)**

Výsledné nejistoty						
ID_001389		A	B	Kombinace	Tlak včetně nejistot	
hodina	$\mu(u)$ [m v.sl.]	$u_A$ [m v.sl.]	$u_B$ [m v.sl.]	$u$ [m v.sl.]	$P + u$ [m v.sl.]	$P - u$ [m v.sl.]
0:00	60.788	0.0035	0.0651	0.0652	60.853	60.723
1:00	60.858	0.0033	0.0652	0.0653	60.923	60.793
2:00	60.885	0.0034	0.0652	0.0653	60.950	60.819
3:00	60.941	0.0033	0.0653	0.0654	61.006	60.875
4:00	60.910	0.0034	0.0653	0.0653	60.975	60.844
5:00	60.778	0.0041	0.0651	0.0652	60.843	60.712
6:00	60.520	0.0047	0.0648	0.0650	60.585	60.455
7:00	60.533	0.0046	0.0649	0.0650	60.598	60.468
8:00	60.503	0.0047	0.0648	0.0650	60.568	60.438
9:00	60.551	0.0046	0.0649	0.0650	60.616	60.486
10:00	60.611	0.0048	0.0649	0.0651	60.676	60.546
11:00	60.596	0.0049	0.0649	0.0651	60.661	60.531
12:00	60.568	0.0050	0.0649	0.0651	60.633	60.503
13:00	60.605	0.0047	0.0649	0.0651	60.670	60.540
14:00	60.585	0.0044	0.0649	0.0651	60.650	60.520
15:00	60.550	0.0044	0.0649	0.0650	60.615	60.485
16:00	60.458	0.0049	0.0648	0.0650	60.523	60.393
17:00	60.322	0.0049	0.0646	0.0648	60.387	60.257
18:00	60.199	0.0050	0.0645	0.0647	60.263	60.134
19:00	60.021	0.0055	0.0643	0.0645	60.085	59.956
20:00	60.192	0.0051	0.0645	0.0647	60.257	60.127
21:00	60.302	0.0046	0.0646	0.0648	60.367	60.237
22:00	60.481	0.0046	0.0648	0.0650	60.546	60.416
23:00	60.674	0.0039	0.0650	0.0651	60.739	60.609
0:00	60.788	0.0035	0.0651	0.0652	60.853	60.723

0.065

Závěrem lze konstatovat, že v místech měření: ID\_001281 jsou hodnoty tlaků zatíženy průměrnou nejistotou 0,049 m v.sl., ID\_001283 – 0,059 m v.sl., ID\_0,001291 – 0,043 m v.sl., ID\_0,001297 – 0,039 m v.sl., ID\_0,001320 – 0,063 m v.sl., ID\_0,001352 – 0,042m v.sl., ID\_0,001389 – 0,065 m v.sl.

Nejistoty vzniklé při měření tlakových poměrů na síti jsou nepatrné a nebudou tak mít vliv na korektnost kalibračních a verifikačních dat. Výpočtem nejistot proběhlo ověření přesnosti použitých měřících zařízení a lze konstatovat, že použitá měřící technika je již z výroby velmi přesná.



### 3.8 TVORBA HYDRAULICKÉHO MODELU

Hydraulický model byl sestaven pro účely realizace technické pomoci pod názvem akce „Řízený proplach vodovodní sítě obce Ostopovice“ a sloužil jako vstupní podklad pro řízený proplach vodovodní sítě. [38]

Při tvorbě hydraulického modelu bylo jedním z hlavních cílů co nejpřesněji ztvárnit reálnou předlohu vodovodní sítě. Hydraulický model obce Ostopovice vznikl na základě podkladů poskytnutých provozovatelem vodárenské infrastruktury – VAS, a.s., divize Brno-venkov. Samotný model byl na základě poskytnutých dat vytvořen v softwaru MikeUrban od společnosti DHI a poté byl vyexportován pro použití v softwaru Epanet 2.0, ve kterém proběhla také kalibrace a verifikace hotového modelu. Uzly v hydraulickém modelu byly umísťovány vždy v místě napojování řadu na jiný, na koncích řadů, v místě existence hydrantu, při změně materiálu potrubí nebo dimenze. Jednotlivé uzly jsou propojeny úseky, tyto úseky, které reprezentují trubní řady, nesmí být příliš dlouhé (maximálně 200 m), proto je bylo nutné v některých případech rozdělit pomocí vloženého uzlu. Do modelu bylo nutné zadat vnitřní průměry potrubí a jim odpovídající hydraulickou drsnot, uzlové odběry, nadmořské výšky. Hydraulická drsnot byla zvolena na základě následující tabulky:

Tabulka 3.18 Hydraulická drsnot k dle materiálu a jeho stáří [38]

Materiál / rok položení	≤ 1950	1951 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2017
OC	12,0	10,1	8,1	6,1	5,0	4,0	2,1
LT	---	10,0	8,0	6,0	3,0	2,5	1,0
PE	---	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11
PVC	---	---	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25

V modelu nejsou zahrnuty vodovodní přípojky, jedná se o kvazi-dynamický model, který popisuje chování vodovodní sítě během jednoho dne, tedy 24 - hodinových kroků.

#### 3.8.1 Tlaková pásma

Vodovodní síť obce byla rozdělena do dvou tlakových pásem. První tlakové pásmo zahrnuje výtlačný řad z ČS do VDJ Ostopovice (TP 1 ČS Ostopovice). Druhé tlakové pásmo obsahuje zásobní potrubí z VDJ směrem do obce, včetně zásobovacích řadů v obci (TP 2 VDJ Ostopovice).

#### 3.8.2 Topologie, výškopis sítě

Soubory obsahující data o topologii vodovodní sítě byly poskytnuty provozovatelem. Mezi poskytnutá data patří digitální verze situace rozvodných vodovodních řadů, data popisující materiál sítě, stáří a profily jednotlivých trubních řadů, výškopis, objekty na síti. Veškerá data byla vyexportována z GIS. Z provozního řádu byla poskytnuta digitální situace vodovodní sítě, která sloužila pro přehlednou kontrolu DN a materiálu. V případě

rozporu mezi digitální verzí situace a GIS daty byla upřednostněna data z GIS, a to z důvodu větší aktuálnosti.

### 3.8.3 Objekty na vodovodní síti

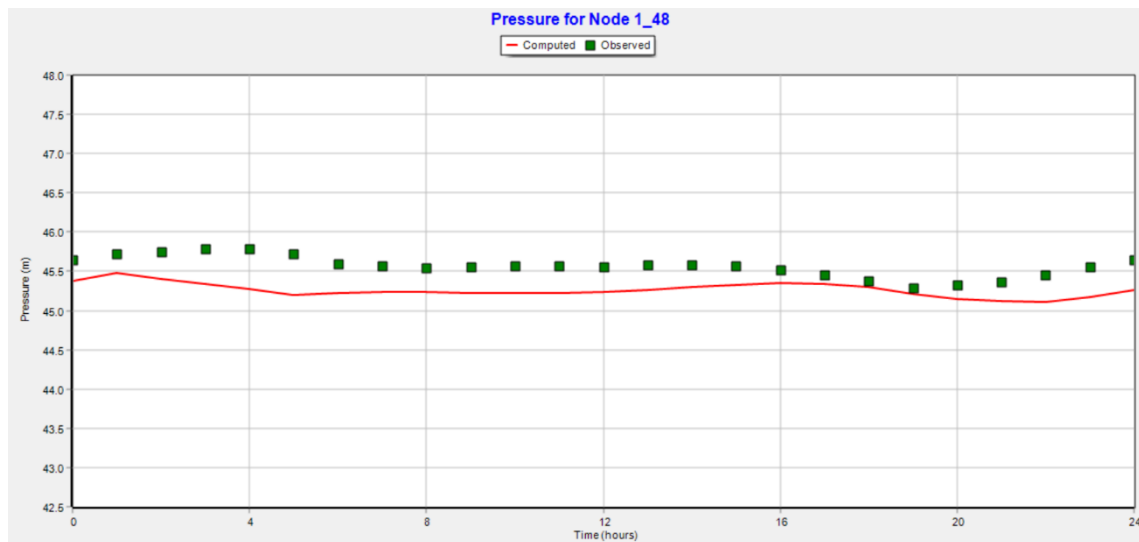
Mezi objekty na vodovodní síti patří vodojem Ostopovice, ČS Ostopovice a zdroj vody. Data k těmto objektům byla opět poskytnuta provozovatelem. Tyto objekty bylo nutné do hydraulického modelu vložit jako samostatné prvky a nastavit jejich příslušné provozní hodnoty. U VDJ Ostopovice nastavená maximální kóta hladiny činila 294,30 m n.m., minimální hladina pak 294,00 m n.m. – též spínací hladina čerpací stanice. Hladiny byly nastaveny na základě provedeného měření během měrné kampaně.

### 3.8.4 Uzlové odběry

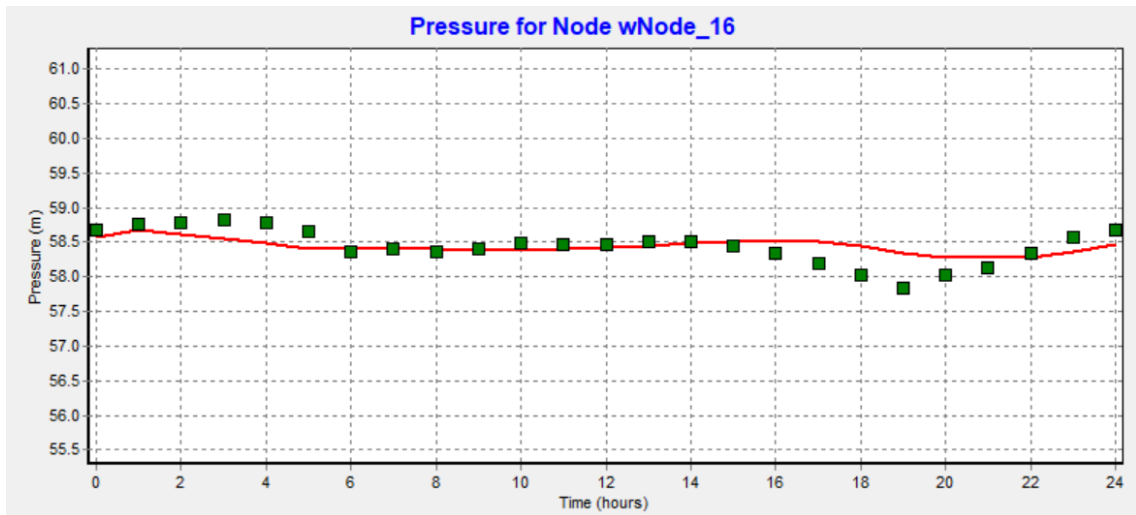
Jelikož v modelu nejsou zahrnuty přípojky, je třeba naměřený odběr z každé domovní přípojky přiřadit do úseku na vodovodní síti, kam je daná přípojka připojena. Uzlové odběry byly transformovány pomocí metody dvou součinitelů. Tímto způsobem byla rozdělena veškerá fakturovaná voda. Jediným velkoodběratelem, který byl vložen jako samostatný uzel je Společenství pro dům U Dráhy 414, Ostopovice se spotřebou  $11,99 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ .

### 3.8.5 Kalibrace hydraulického modelu

Pro kalibraci hydraulického modelu bylo využito 2/3 naměřených dat – do modelu byla tedy importována naměřená data z 5 tlakových čidel. Zbylá data z 2 čidel, která nebyla využita při kalibraci byla použita pro ověření správnosti kalibrace, tedy pro verifikaci modelu.



Obrázek 3.22 Tlak v uzlu 1\_48



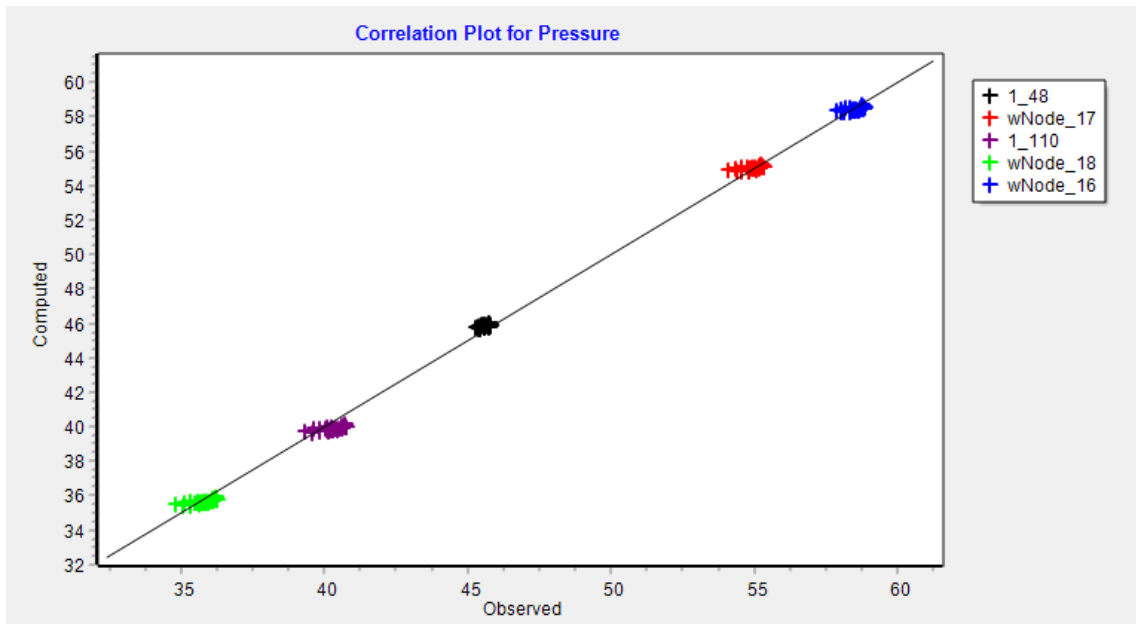
Obrázek 3.23 Tlak v uzlu wNode\_16

Kalibrace modelu byla provedena v softwaru EPANET 2.0. Kalibrační data byla nahrána v souboru txt. Červená čára (obr.3.22, obr.3.23) reprezentuje modelovaný tlak v daném uzlu, na kterém bylo provedené měření za časovou řadu. Zelené čtverečky jsou hodnoty tlaků naměřené během měřené kampaně.

Tabulka 3.19 Výsledky kalibrace hydraulického modelu

Calibration Statistics for Pressure					
Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
l_48	25	45.56	45.86	0.299	0.320
wNode_17	25	54.88	55.03	0.212	0.306
l_110	25	40.23	39.91	0.400	0.444
wNode_18	25	35.73	35.66	0.258	0.305
wNode_16	25	58.44	58.44	0.159	0.206
Network	125	46.97	46.98	0.266	0.325

Correlation Between Means: 1.000

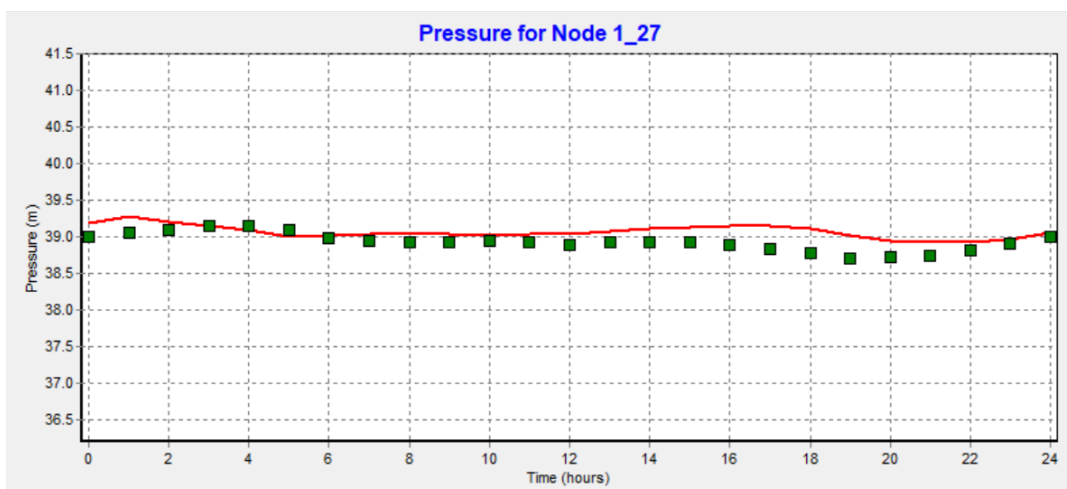


**Obrázek 3.24** Výsledky kalibrace hydraulického modelu – měřené vs modelované tlaky

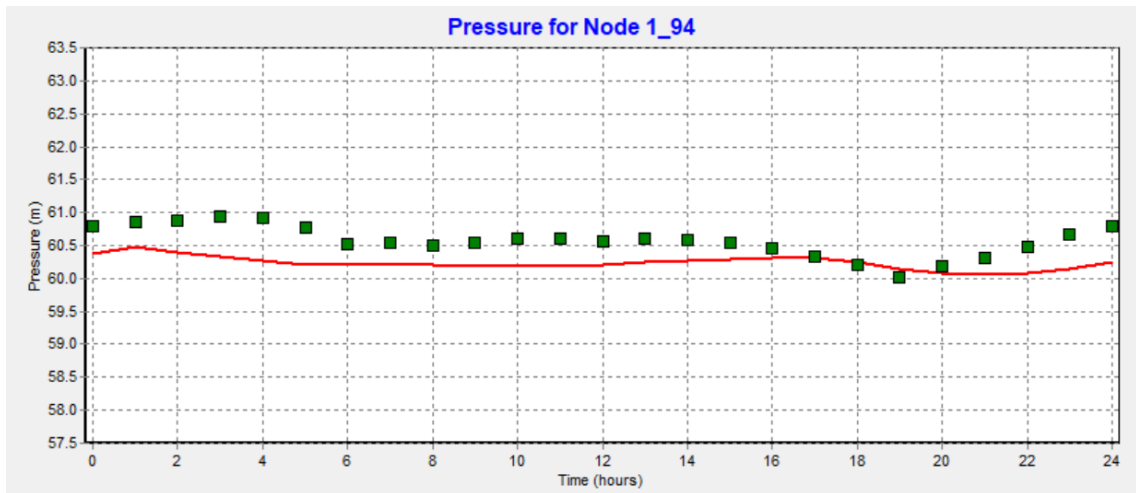
Z obr.3.24 je patrný rozdíl mezi modelovanými tlaky a tlaky měřenými na síti. Černá přímka vyobrazuje tlaky modelované, jednotlivé barvy pak odpovídají tlakům skutečně naměřeným v daných uzlech. Je zřejmé, že měřená data se buď dotýkají přímky, nebo leží v její bezprostřední blízkosti. V tabulce 3.19 je viditelný rozdíl (Mean Error) mezi středními hodnotami měřeného (Computed Mean) a vypočteného tlaku (Observed Mean). Je patrné, že naměřené hodnoty se velmi blíží hodnotám simulovaným hydraulickým modelem, z tohoto důvodu nebylo nutné provést žádný kalibrační zásah. Maximální rozdíl těchto hodnot nesmí přesáhnout 1 m v.s.l., model je tedy možné považovat za úspěšně nakalibrovaný.

### 3.8.6 Verifikace hydraulického modelu

Po provedené kalibraci byl model verifikovaný zbylou 1/3 dat z 2 tlakových čidel (obr.3.25 a 3.26), která nebyla využita pro kalibraci.



**Obrázek 3.25** Tlak v uzlu 1\_27



Obrázek 3.26 Tlak v uzlu 1\_94

Verifikace posloužila k ověření správnosti kalibrovaného modelu. Rozdíl mezi tlaky měřenými a modelovanými je opět patrný z Tabulky 3.20, kde je patrné, že rozdíl tlaků měřených a modelovaných ani v jednom uzlu nepřekročil 1 m v.sl. Z tohoto důvodu je model možné prohlásit za hotový a není třeba žádného dalšího zásahu.

Tabulka 3.20 Výsledky verifikace hydraulického modelu

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
l_27	25	38.93	39.07	0.151	0.175
l_94	25	60.57	60.24	0.347	0.384
Network	50	49.75	49.65	0.249	0.298

Correlation Between Means: 1.000

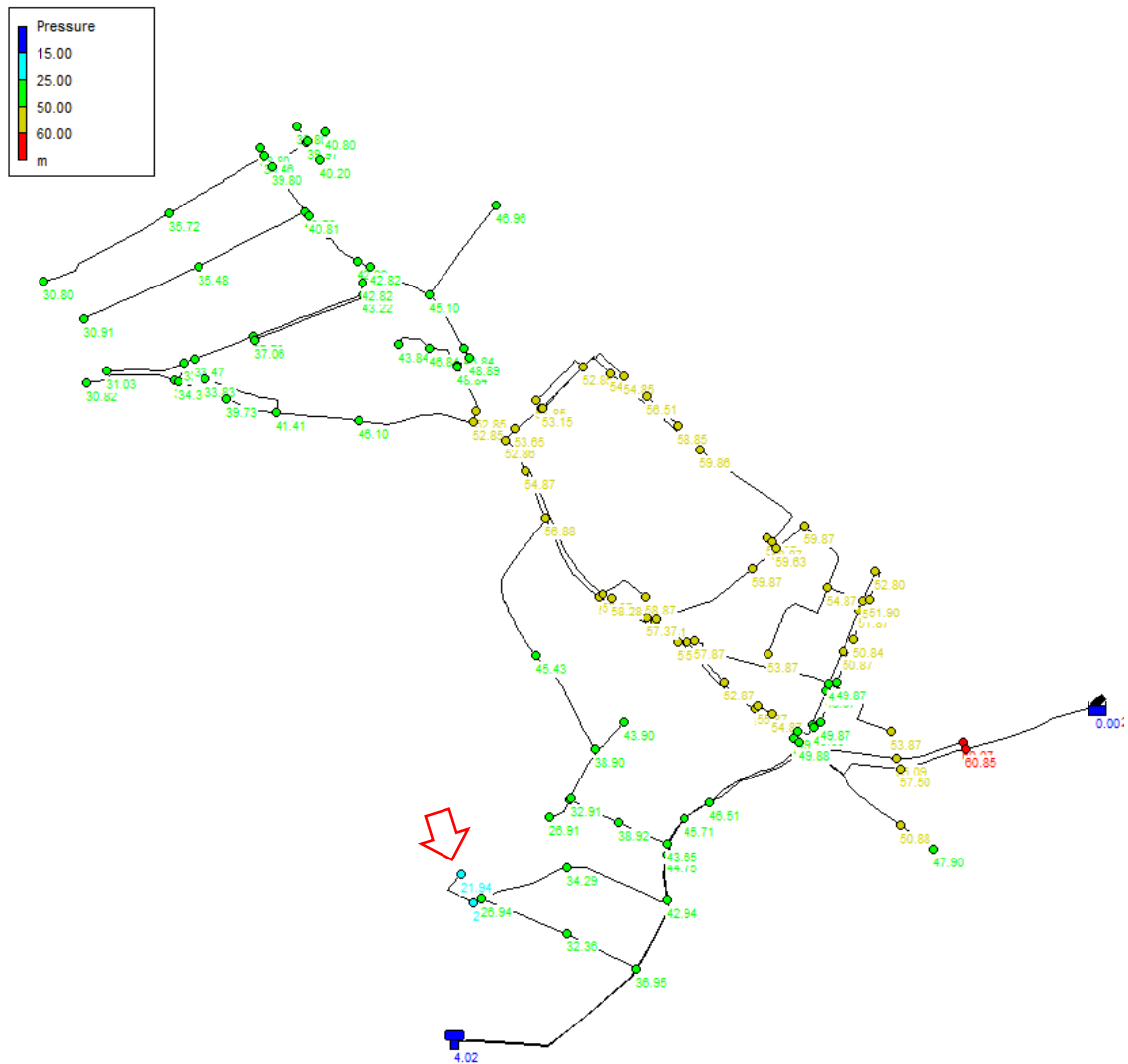
### 3.9 POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI

Posouzení tlakových poměrů vodovodní sítě obce Ostopovice bylo provedeno na základě vyhlášky 428/2001 Sb., tato vyhláška provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu vydaná Ministerstvem zemědělství. Vyhláška rozlišuje hydrostatický a hydrodynamický tlak. Maximální hodnota hydrostatického tlaku by měla dosahovat 0,6 MPa, což odpovídá 61,2 m v. sl. (ojediněle 0,7 MPa, tj. 71,3 m v.sl.). Minimální hydrodynamický tlak by měl být alespoň 0,15 MPa (15,3 m v. sl.) pro jednopodlažní a dvoupodlažní budovy, 0,25 MPa (25,5 m v. sl.) pro budovy, které mají více než dvě podlaží.

#### 3.9.1 Minimální hydrodynamický tlak

Tlaková pásma TP 2 VDJ Ostopovice (tj. zásobní potrubí z vodojemu do obce, včetně vodovodních řadů v obci) a TP 1 ČS Ostopovice (výtlačné potrubí do vodojemu) vyhoví

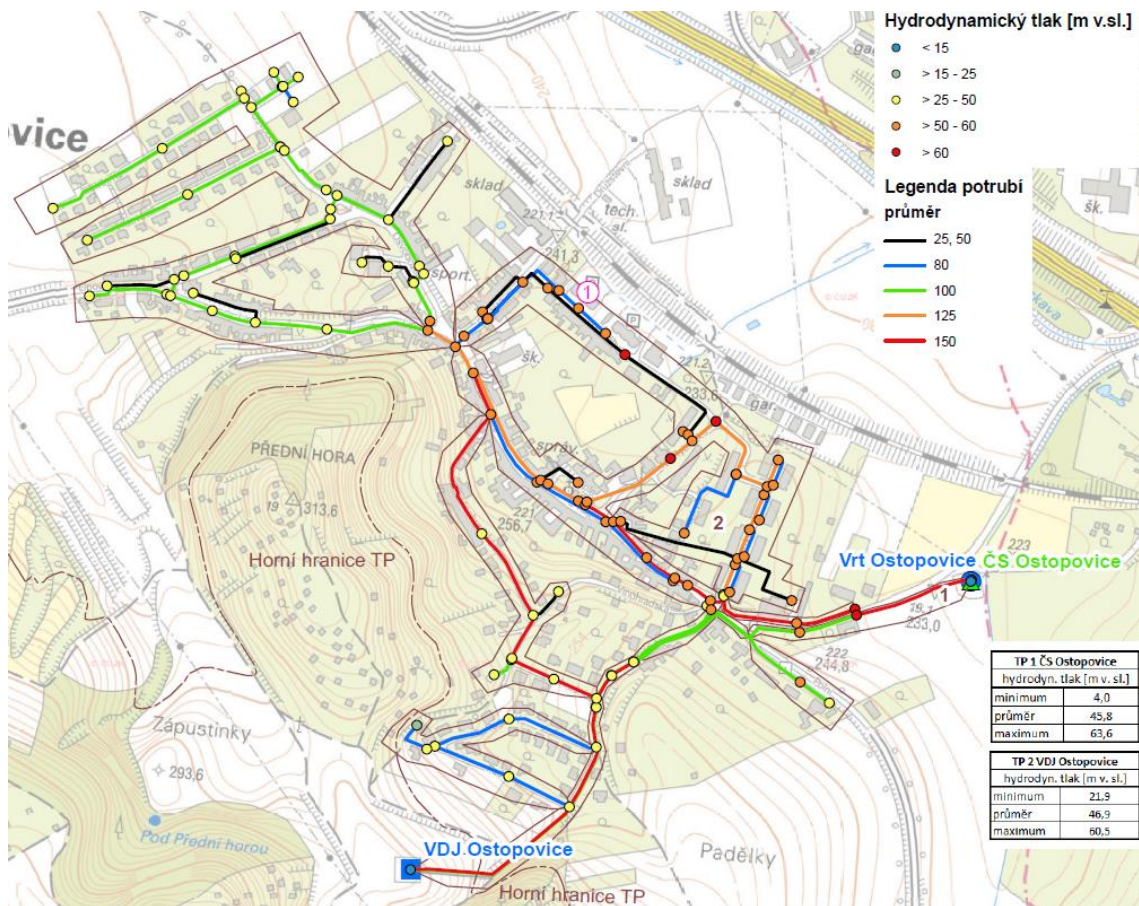
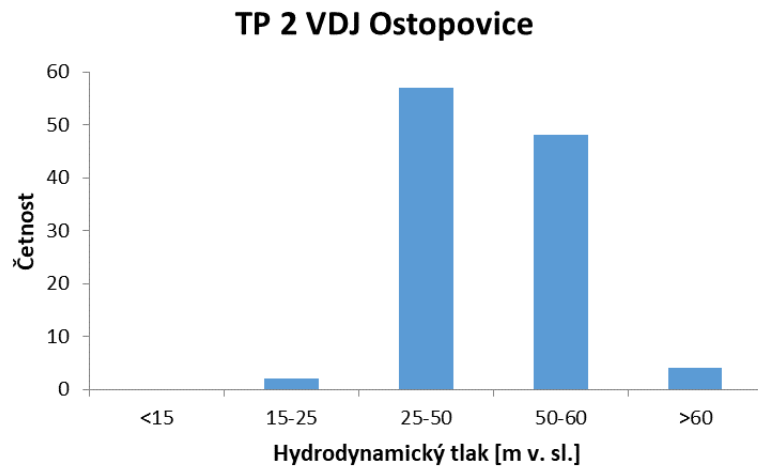
vyhláše na minimální hydrodynamický tlak. Nejnižší hodnota hydrodynamického tlaku dosahuje hodnoty 21,9 m v.sl., což s rezervou vyhoví požadavkům vyhlášky pro maximálně dvoupodlažní budovy. Jelikož je tento tlak evidován v místě napojení dvou chatových jednotek, je dodržena podmínka pro dvoupodlažní zástavbu.



**Obrázek 3.27** Minimální hydrodynamický tlak ve vodovodní síti

Podrobnější přehled průměrných simulovaných hydrodynamických tlaků v celé vodovodní síti je patrný z obr. 3.28 a grafu 3.10.

Graf 3.9 Četnost výskytu jednotlivých hodnot tlaků v TP 2

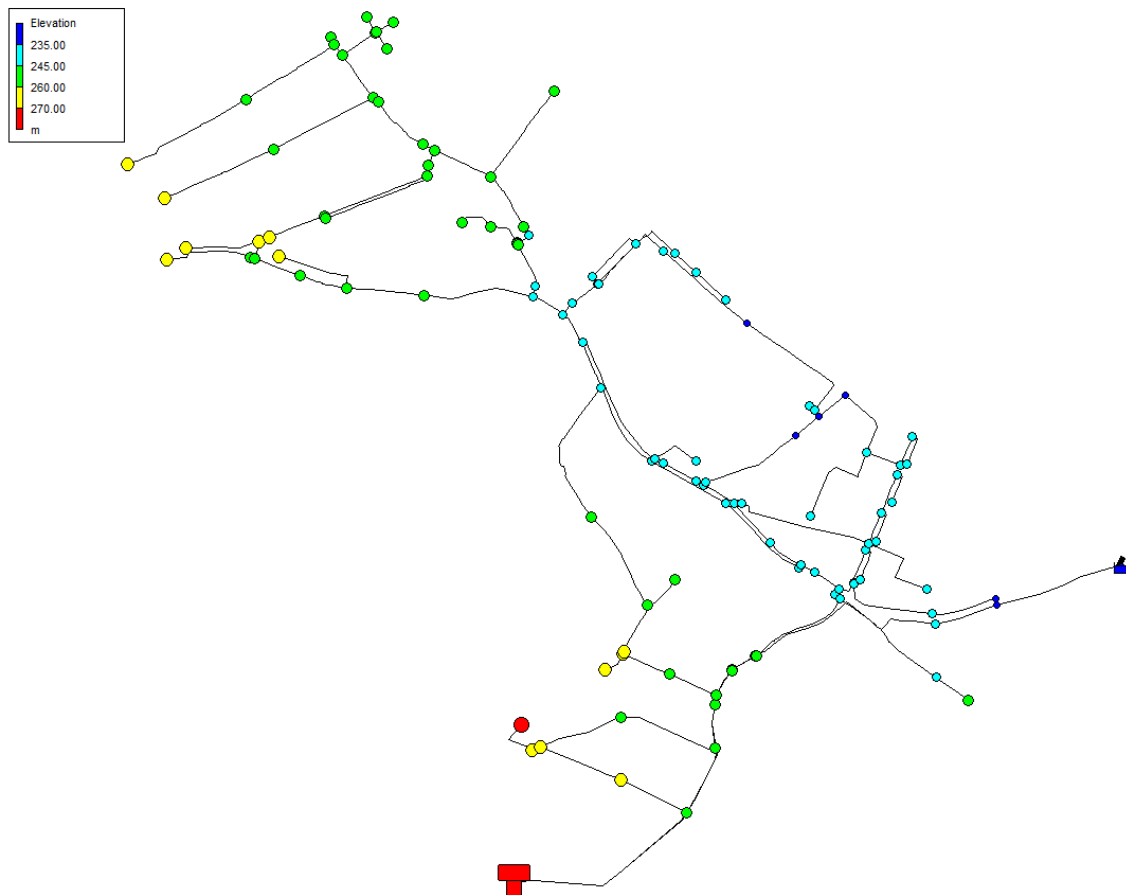


Obrázek 3.28 Průměrný hydrodynamický tlak ve vodovodní síti

### 3.9.2 Maximální hydrostatický tlak

Maximální hydrostatický tlak na síti byl vypočten jako rozdíl maximální hladiny vodojemu tj. 295 m n.m. a geodetické výšky nejnižšího uzlu, tj. 232 m n.m., na vodovodní síti (výtlačné potrubí do vodojemu – TP 1 ČS Ostopovice). Rozdíl těchto výšek odpovídá 63 m, což nepatrně překračuje závazné hodnoty pro maximální

hydrostatický tlak (0,6 MPa = 61,2 m v.sl.). Překročení však není nikterak dramatické a s přihlédnutím na ojediněle přípustné hodnoty tlaku, které mohou dle vyhlášky č.274/2001 dosahovat až 0,7 MPa (71,3 m v.sl.), je akceptovatelné. V blízkosti tohoto uzlu se navíc nevyskytuje žádná zástavba. Místo s nejnižše položenou zástavbou se nachází na kótě 234 m n.m. tzn. rozdíl mezi maximální hladinou vodojemu a touto kótou činí 61 m, což vyhoví vyhlášce. Všechny uzly vodovodní sítě tak vyhoví požadavkům pro maximální hydrostatický tlak.



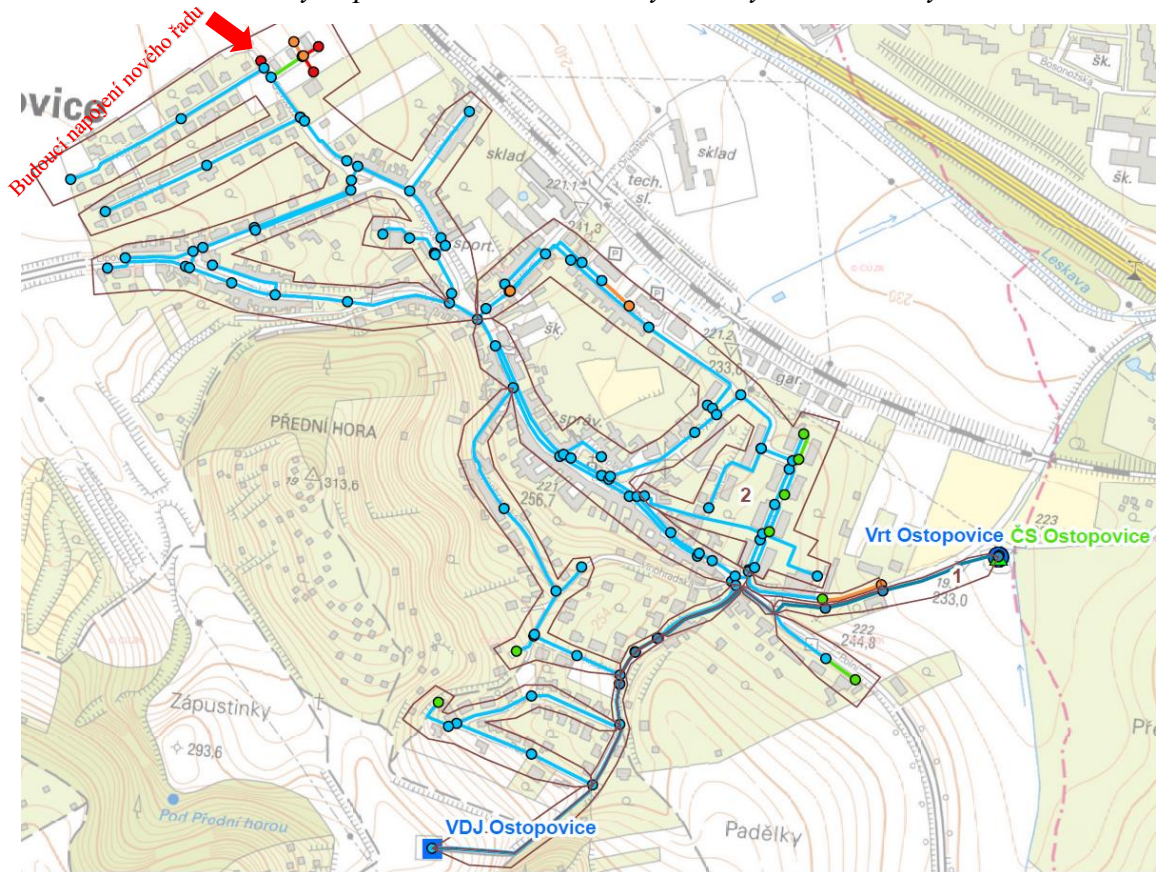
Obrázek 3.29 Hodnoty nadmořských výšek jednotlivých uzlů

### 3.10 STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI

V rámci hydraulického modelu byla provedena simulace stáří vody ve vodovodní síti, jak je patrné z obr. 3.30. Na obr. 3.30 je patrné grafické znázornění maximálního simulovaného stáří vody ve vodovodní síti (Během dne se tyto hodnoty mění, v rámci simulace byly následně graficky vykresleny nejvyšší dosažené hodnoty. Pro dosažení nejvyšších hodnot musí být simulace dostatečně dlouhá, aby bylo nalezeno hledané maximum. Simulovaný časový interval tedy musí být delší, než je hodnota stáří.) V některých úsecích a uzlech bylo modelované stáří vody více než 168 hodin (vyznačeno červeně). Tyto problémové úseky se nachází především v severozápadní části obce. Ke stagnaci vody v těchto místech dochází z toho důvodu, že v úsecích momentálně není připojena žádná nemovitost nebo je zde minimální odběr vody. Tento problém by měl být



v budoucnu vyřešen tím, že do těchto úseků budou výhledově připojeny nově vystavěné domovní jednotky a na vodovodní potrubí na konci obce bude napojen nově vybudovaný vodovodní řad (viz obr.3.30 – červená šipka znázorňuje místo budoucího napojení nového řadu), který bude sloužit pro potřeby nových odběratelů, se kterými obec výhledově počítá na základě územního plánu. Více o výhledovém stavu viz kapitola 3.11 *Posouzení tlakových poměrů s ohledem na výhledový stav zástavby*.



### Maximální stáří vody

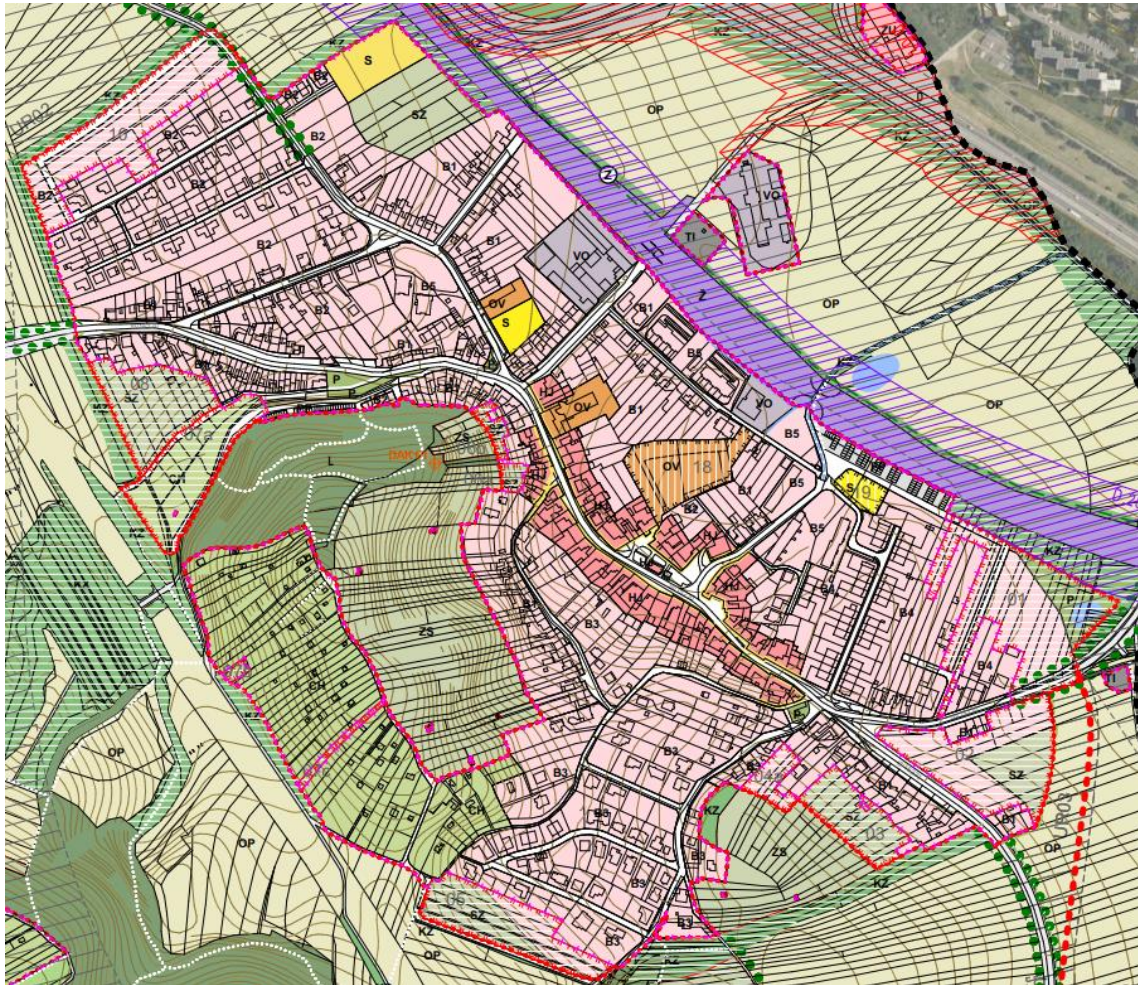
Stáří vody v úsecích [h]	Stáří vody v uzlech [h]
<span style="color: blue;">—</span> < 24	<span style="color: blue;">●</span> < 24
<span style="color: cyan;">—</span> > 24 - 48	<span style="color: cyan;">●</span> > 24 - 48
<span style="color: green;">—</span> > 48 - 72	<span style="color: green;">●</span> > 48 - 72
<span style="color: orange;">—</span> > 72 - 168	<span style="color: orange;">●</span> > 72 - 168
<span style="color: red;">—</span> > 168	<span style="color: red;">●</span> > 168

Obrázek 3.30 Maximální stáří vody ve vodovodní síti (červená šipka = budoucího napojení nového vodovodního řadu)

## 3.11 POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ S OHLEDEM NA VÝHLEDOVÝ STAV ZÁSTAVBY

Na základě územního plánu je možné odvodit plánovaný budoucí rozvoj obce. Plochy určené pro rozvoj jsou vždy označeny patřičnou barvou s šikmým šrafováním. Územní plán byl získán z veřejně dostupných dokumentů obce a byl schválen zastupitelstvem obce Ostopovice. Z územního plánu je patrné, že obec počítá s plochami pro další

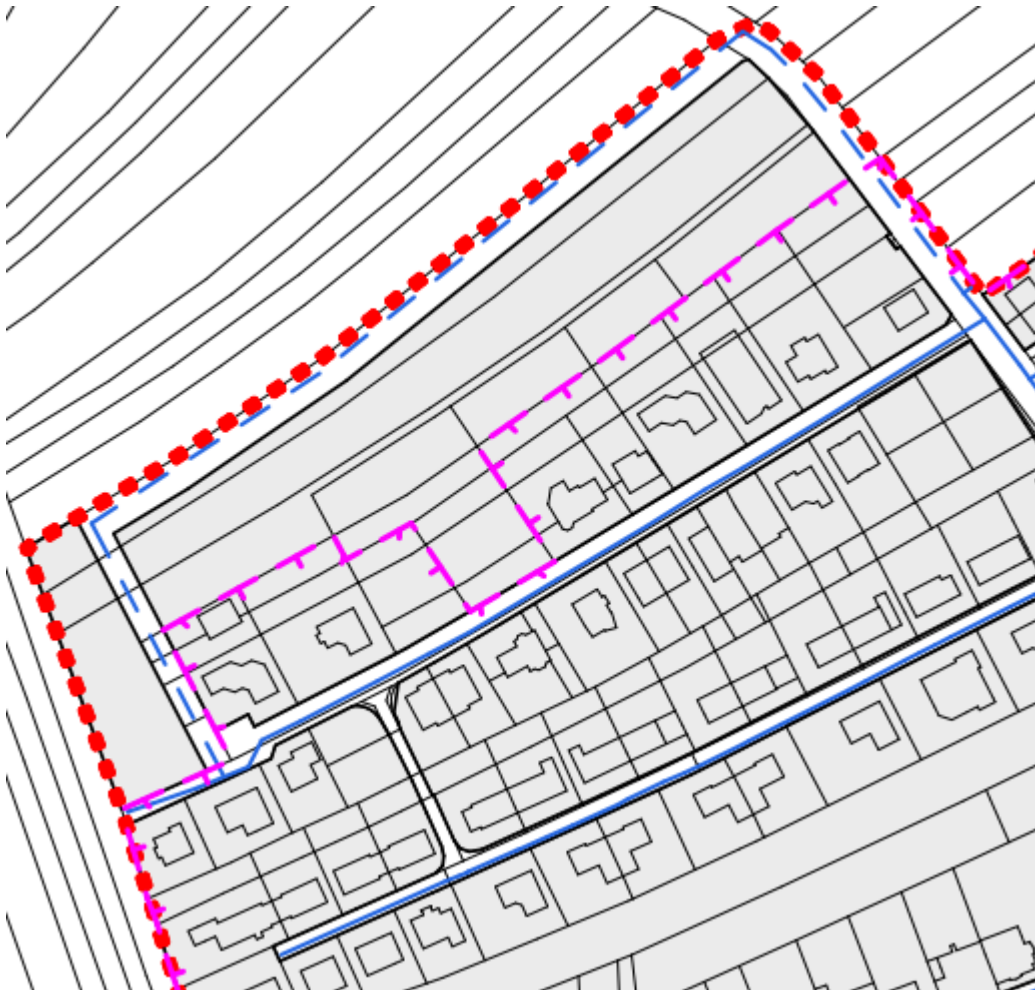
výstavbu rodinných domů, a to hned na několika místech. V severozápadní části obce je plánovaná výstavba nového vodovodního řadu, jak je patrné z obr. 3.32.



#### VYUŽITÍ - ZASTAVITELNÉ ÚZEMÍ

STAV	NAVRH			
<b>HJ</b>		HISTORICKÉ JÁDRO OBCE	<b>OV</b>	OBČANSKÁ VYBAVENOST
<b>B1 - B5</b>	<b>B1 - B5</b>	BYDLENÍ	<b>RV</b>	REKREAČNÍ VYBAVENOST
		B1 BYDLENÍ ROZŠÍŘENÉ CENTRUM	<b>S</b>	SPORT
		B2 BYDLENÍ NAD VÝVOZEM	<b>CH</b>	CHATOVÁ A ZAHŘÁDKOVÁ OSADA
		B3 BYDLENÍ NA PADĚLKÁCH	<b>SZ</b>	SOUKROMÁ ZAHŘÁDA
		B4 BYDLENÍ NA BRANÁCH	<b>P</b>	PARK
		B5 BYDLENÍ U DRÁHY	<b>UP</b>	ULIČNÍ PROSTRANSTVÍ
<b>ZU</b>		ZEMĚDĚLSKÁ USEDLOST		
<b>VO</b>		VÝROBA A OBCHOD		
<b>PP</b>		PARKOVACÍ PLOCHY		
<b>TI</b>		TECHNICKÁ INFRASTRUKTURA		

Obrázek 3.31 Územní plán zastavitelné části obce Ostopovice



**Obrázek 3.32** Plánovaný vodovodní řad v severozápadní části obce – světlemodrá přerušovaná čára

V rámci posouzení tlakových poměrů s ohledem na výhledový stav zástavby byl proveden orientační výpočet budoucí potřeby vody pro plochy určené dle územního plánu k budoucí zástavbě. Tyto plochy a jejich orientační potřeba vody byly následně vloženy do modelu jako bodové odběry. V Severozápadní části obce je plánována výstavba nové části vodovodu, v rámci posouzení budoucího stavu byl do modelu, na základě územního plánu, tento nový úsek domodelován. Seznam ploch určených k budoucí výstavbě včetně orientační potřeby vody je uveden níže. Plochy určené k budoucí výstavbě včetně jejich označení jsou patrné z obr. 3.33.

### ***Plochy pro bydlení***

- **B4\_01** - plocha 2,22 ha, orientační počet nových domovních jednotek – 44 domů, orientační počet nových napojených obyvatel – 155 (počítáno 3,5 obyvatel/dům), odhadovaná průměrná denní potřeba vody –  $0,20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , výšková variabilita plochy – 232–240 m n.m.
- **B1\_02** – plocha 1,61 ha, orientační počet nových domovních jednotek – 32 domů, orientační počet nových napojených obyvatel – 113 (počítáno 3,5 obyvatel/dům), odhadovaná průměrná denní potřeba vody –  $0,14 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , výšková variabilita plochy – 233–242 m n.m.

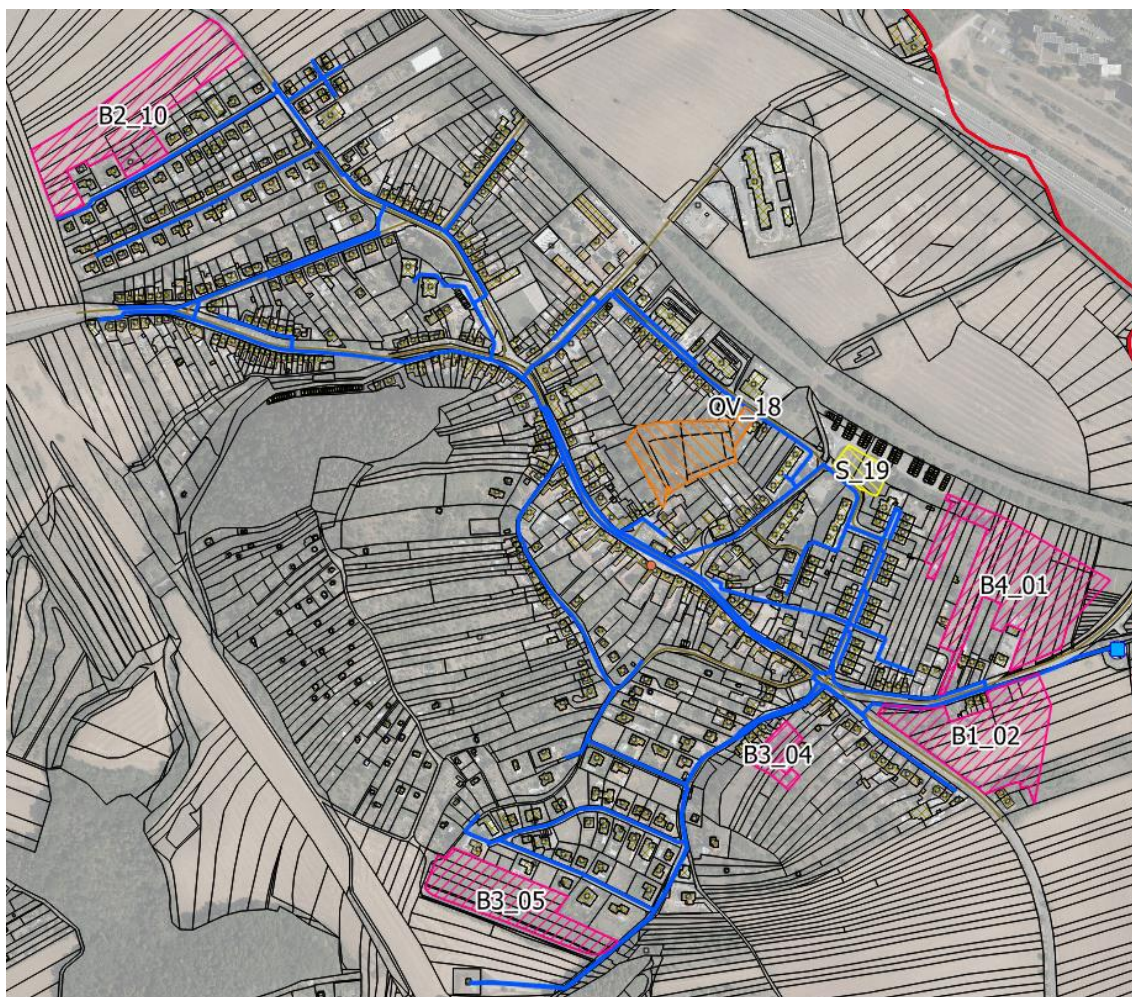
- **B3\_04** – plocha 0,21 ha, orientační počet nových domovních jednotek – 4 domy, orientační počet nových napojených obyvatel – 15 (počítáno 3,5 obyvatel/dům), odhadovaná průměrná denní potřeba vody –  $0,02 \text{ l.s}^{-1}$ , výšková variabilita plochy – 248–256 m n.m.
- **B3\_05** – plocha 1,08 ha, orientační počet nových domovních jednotek – 22 domů, orientační počet nových napojených obyvatel – 76 (počítáno 3,5 obyvatel/dům), odhadovaná průměrná denní potřeba vody –  $0,096 \text{ l.s}^{-1}$ , výšková variabilita plochy – 264–274 m n.m.
- **B3\_05** – plocha 1,72 ha, orientační počet nových domovních jednotek – 34 domů, orientační počet nových napojených obyvatel – 120 (počítáno 3,5 obyvatel/dům), odhadovaná průměrná denní potřeba vody –  $0,15 \text{ l.s}^{-1}$ , výšková variabilita plochy – 256–263 m n.m.

### ***Občanská vybavenost***

- **OV\_18** – dle územního plánu obce se jedná o plochu určenou pro: Stavby a zařízení pro vzdělávání a výchovu, sociální služby, domy s pečovatelskou službou, péči o rodinu, zdravotní služby, kulturu, veřejnou správu, ochranu obyvatelstva, církevní stavby, hřiště a nekrytá sportoviště.  
Budoucí průměrná denní potřeba vody pro tuto rozvojovou plochu byla odhadnuta na  $0,087 \text{ l.s}^{-1}$

### ***Sport***

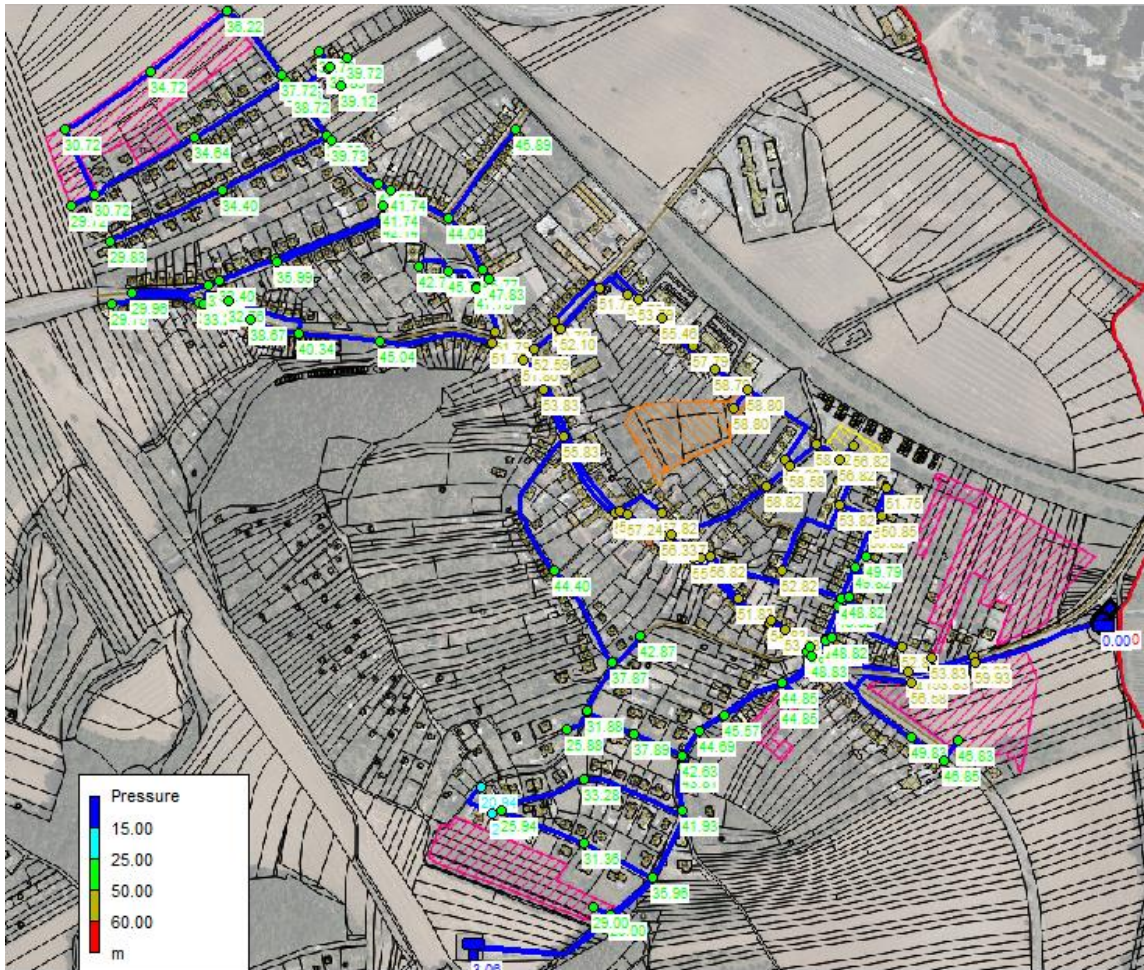
- **S\_19** – plocha určená pro výstavbu: Kryté a nekryté hřiště, sportoviště. Odstavné a parkovací plochy pro místní sport a rekreaci. Rekreční objekty, klubovny.  
Budoucí průměrná denní potřeba vody pro tuto rozvojovou plochu byla odhadnuta na  $0,021 \text{ l.s}^{-1}$



Obrázek 3.33 Plochy vymezené územním plánem pro budoucí výstavbu

### 3.11.1 Minimální hydrodynamický tlak

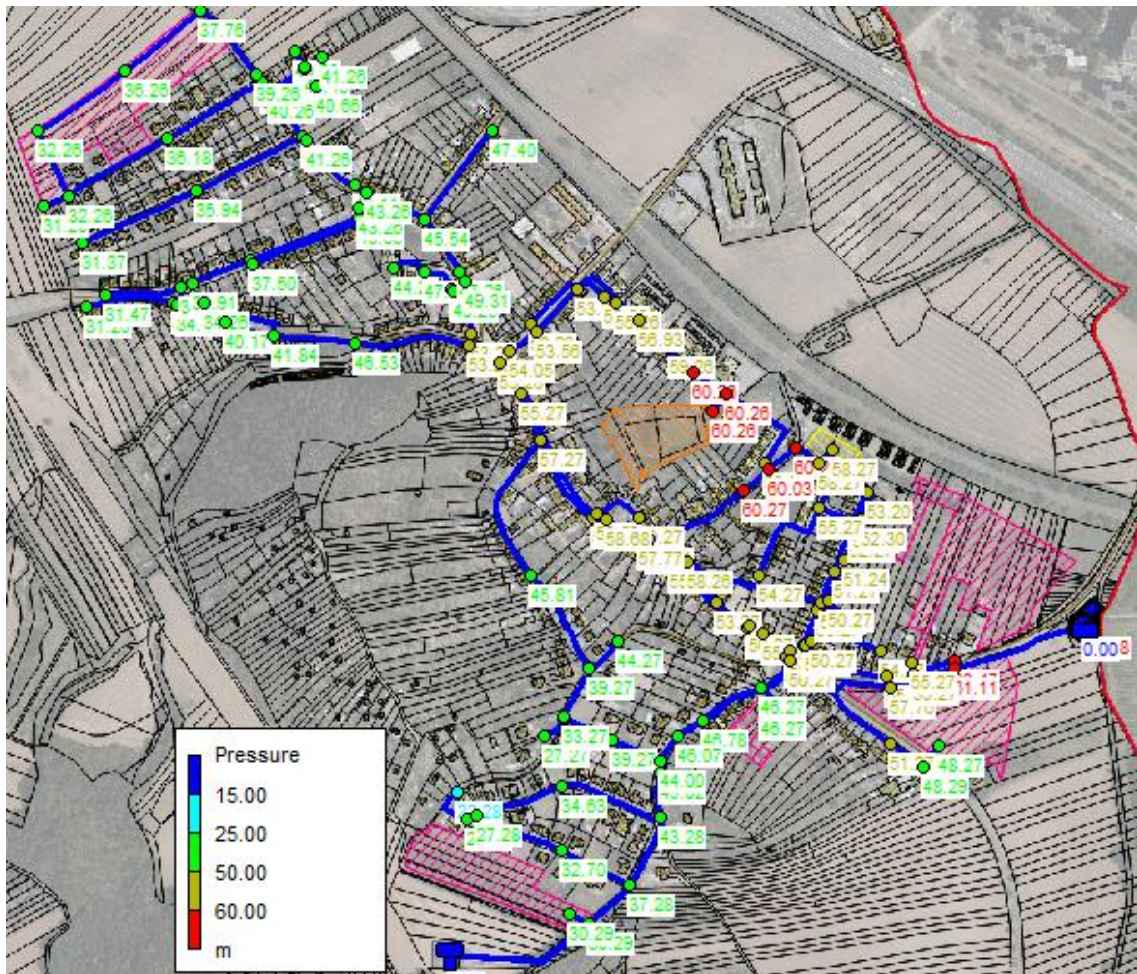
Minimální hydrodynamický tlak ve vodovodní síti byl opět vyhodnocen na základě vyhlášky 428/2001 Sb. a zohledňuje potřebu vody pro budoucí rozvojové plochy. Minimální hydrodynamický tlak dosahuje hodnoty 20,94 m v.sl., což vyhoví vyhlášce pro maximálně dvou podlažní budovy. Vodovodní síť vyhoví požadavkům na minimální hydrodynamický tlak i po připojení bodových odběrů jednotlivých rozvojových ploch.



Obrázek 3.34 Minimální hydrodynamický tlak po připojení bodových odběrů budoucích ploch určených k výstavbě

### 3.11.2 Maximální hydrostatický tlak

Maximální hydrostatický tlak byl opětovně stanoven jako rozdíl maximální hladiny vodojemu a nadmořské výšky nejnižše položeného místa na vodovodní síti (nejnižšího možného místa rozvojové plochy, kde by teoreticky mohl být veden budoucí vodovod). Maximální hydrostatický tlak bude možné pravděpodobně naměřit na budoucím vodovodním potrubí u rozvojové plochy B4\_01, v těchto místech je nejnižší nadmořská výška 232 m n.m. Teoretický hydrostatický tlak zde bude dosahovat hodnot 295 m n.m. – 232 m n.m. = 63 m v. sl., tato hodnota nepatrně překračuje limit vyhlášky 61,2 m v.sl., vyhláška však ojediněle povoluje maximální hydrostatický tlak až do 0,7 MPa (71,3 m v.sl.). S přihlédnutím k těmto faktům vodovodní síť vyhoví na maximální hydrostatický tlak. V hydraulickém modelu byly simulovány maximální hodnoty tlaků, kterých bylo dosaženo po připojení bodových odběrů, které reprezentují jednotlivé budoucí plochy určené k výstavbě. Hodnoty maximálních dosažených tlaků jsou patrné z obr. 3.35.



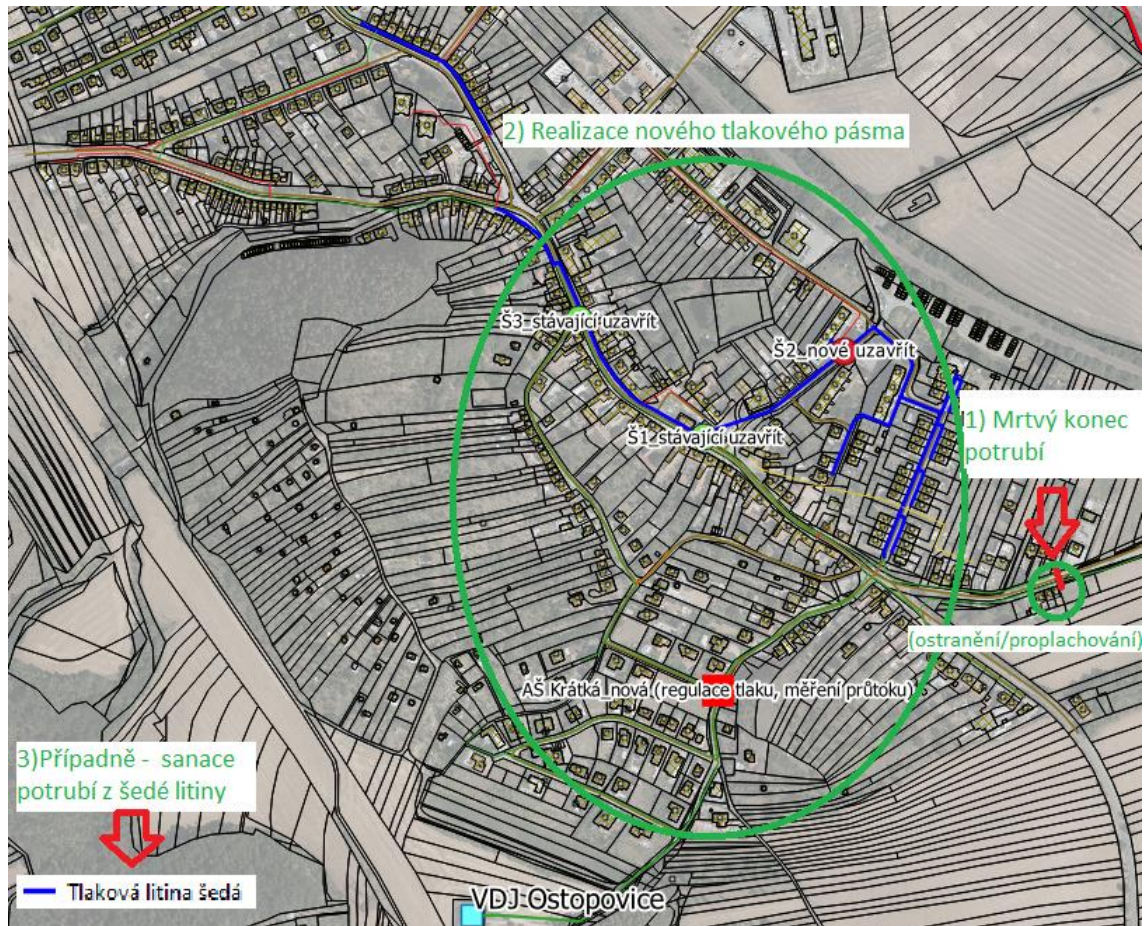
Obrázek 3.35 Maximální dosažené hodnoty tlaků po připojení bodových odběrů budoucích ploch určených k výstavbě

### 3.11.3 Návrh opatření k optimalizaci tlakových poměrů

Přehled navržených opatření:

- 1) Odstranění/proplachování „mrtvého“ konce potrubí,
- 2) Realizace nového tlakového pásma – uzavření dvou stávajících šoupat, vybudování jednoho nového šoupatě a armaturní šachty,
- 3) Případná sanace potrubí z šedé litiny.

Přehledné zobrazení jednotlivých navržených opatření je patrné z obr. 3.36.

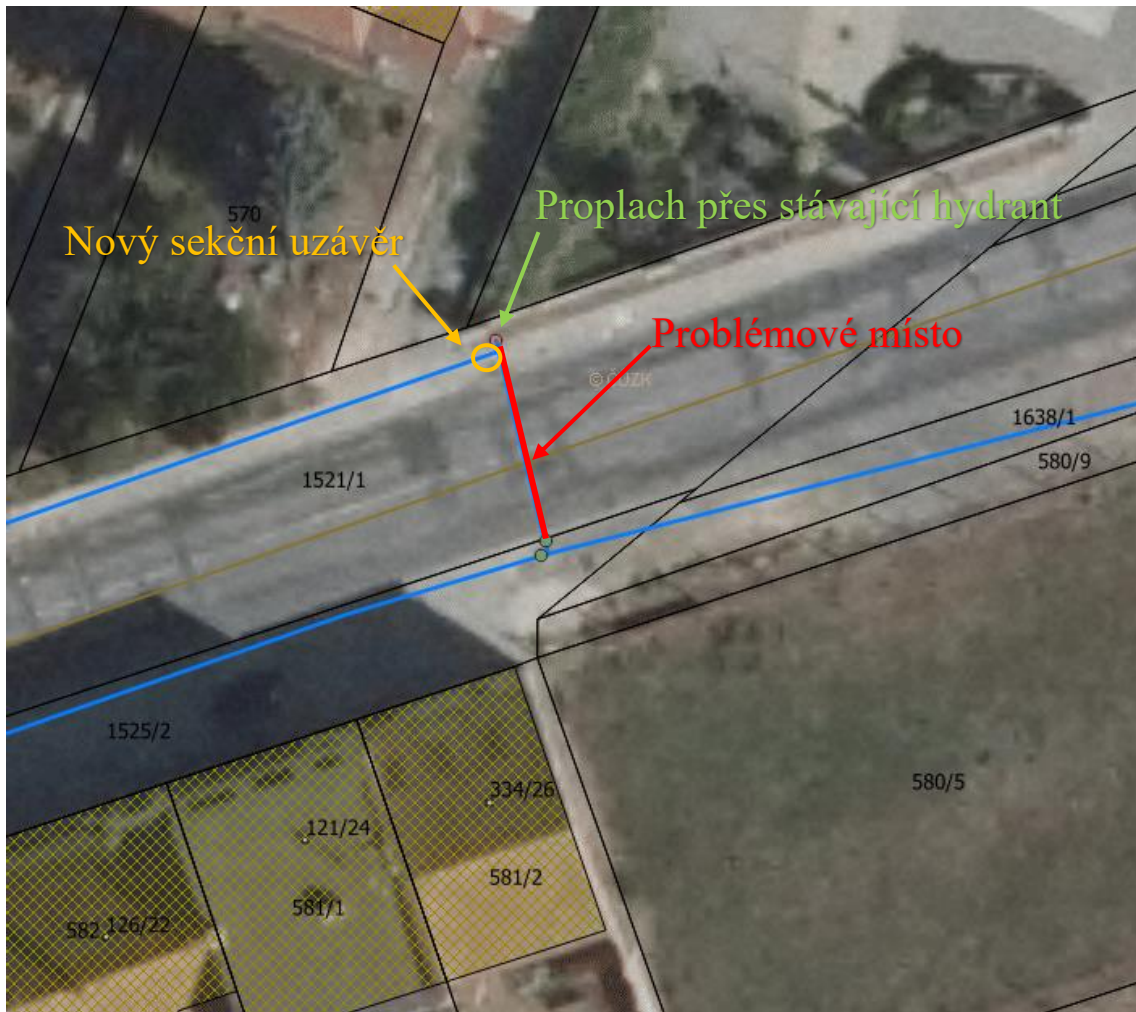


Obrázek 3.36 Grafický přehled jednotlivých navržených opatření

### *Mrtvý konec potrubí*

V obci se nachází úsek potrubí, který spojuje výtlačný řad do vodojemu a zásobovací potrubí obce. Jelikož je toto propojení trvale uzavřené, je tedy více než pravděpodobné, že se v těchto místech nachází voda s vysokým stářím, tento předpoklad byl potvrzen hydraulickým modelem v rámci, kterého bylo také modelováno stáří vody v potrubí. V této části potrubí dochází, dle modelu, ke stagnaci vody více než 168 hodin. Je tedy reálné předpokládat, že bude docházet také ke vzniku nadměrných sedimentů. V rámci hygienických opatření by bylo vhodné tento kus potrubí odstranit. Další variantou může být proplachování tohoto potrubí, pro tyto účely by však bylo nutné vybudovat sekční uzávěr, aby bylo možné úsek proplachovat pomocí stávajícího podzemní hydrant.





Obrázek 3.37 Trvale uzavřený úsek potrubí „mrtvé potrubí“

### ***Realizace nového tlakového pásma***

Vzhledem k tomu, že se mezi rozváděcími řady v obci nachází potrubí z tlakové litiny šedé, u nějž se uvedení do provozu datuje mezi lety 1968-1975, bylo by vhodné v těchto úsecích provést patřičná opatření. Celková délka vodovodní sítě z tlakové litiny šedé činí cca 1,4 km.

Šedá litina byla dříve jedním z nejpoužívanějších materiálů pro vodovodní potrubí a pro výstavbu vodovodních sítí byla hojně používána až do roku 1994. Avšak v dnešní době je plně nahrazena tvárnou litinou. Mezi hlavní výhodu šedé litiny patřila její dobrá korozivzdornost vůči okolnímu prostředí a její tvarovatelnost. Nevýhodou naopak byla její nízká pevnost a křehkost, tyto neduhy šedé litiny odstranil nástup tvárné litiny. Potrubí z šedé litiny bylo náročné na kvalitu pokládky z důvodu vysoké křehkosti, dále může být kvalita potrubí z šedé litiny ovlivněna tzv. „polskou litinou“, která se v ČSSR používala v 70. a 80. letech minulého století, tato litina se používala především pro menší průměry, řádově do DN 300 a trpěla vysokou poruchovostí vlivem nízké kvality. Lze tedy předpokládat, že vodovodní úseky z šedé litiny budou náchylné k vyššímu výskytu poruch a únikům vody. [34]

Místa s úseky, kde se vyskytuje potrubí z šedé litiny jsou patrná z obr. 3.38. a jsou vyznačena modrou barvou.

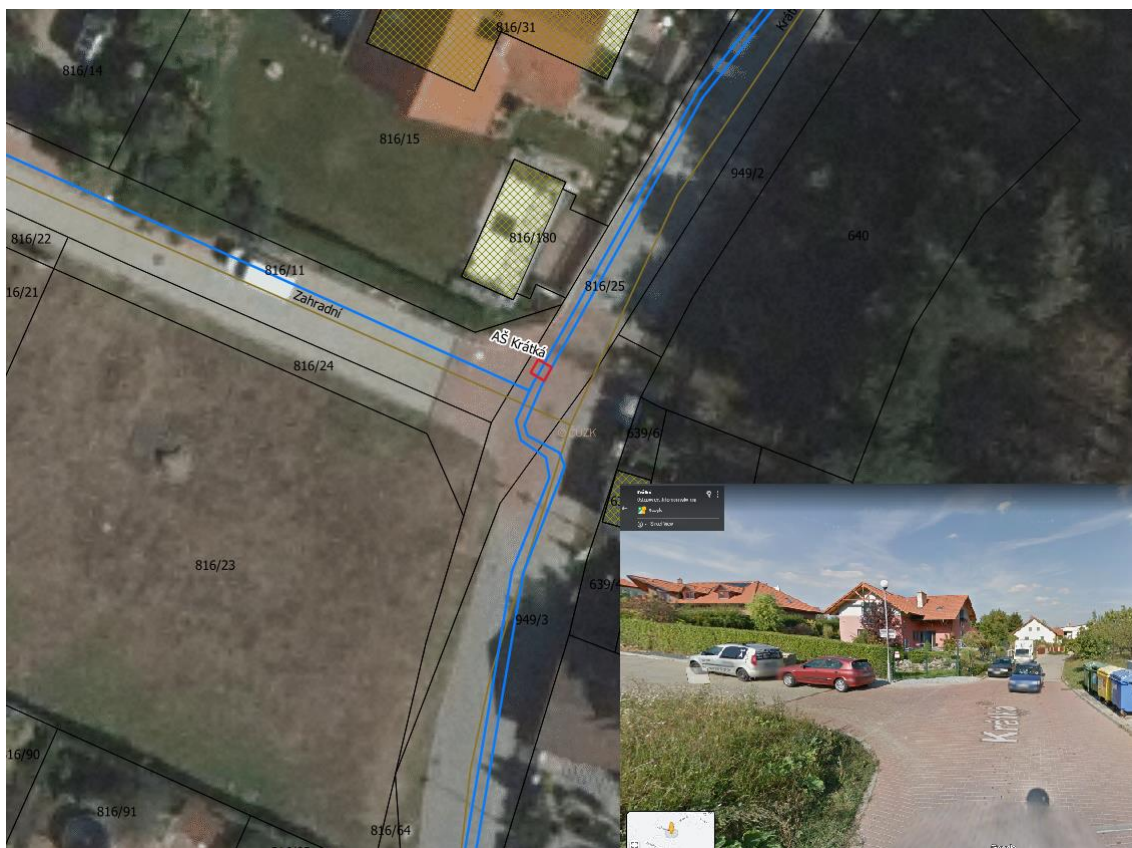


**Obrázek 3.38 Vodovodní síť obce Ostopovice (tmavě modrá = potrubí z šedé litiny)**

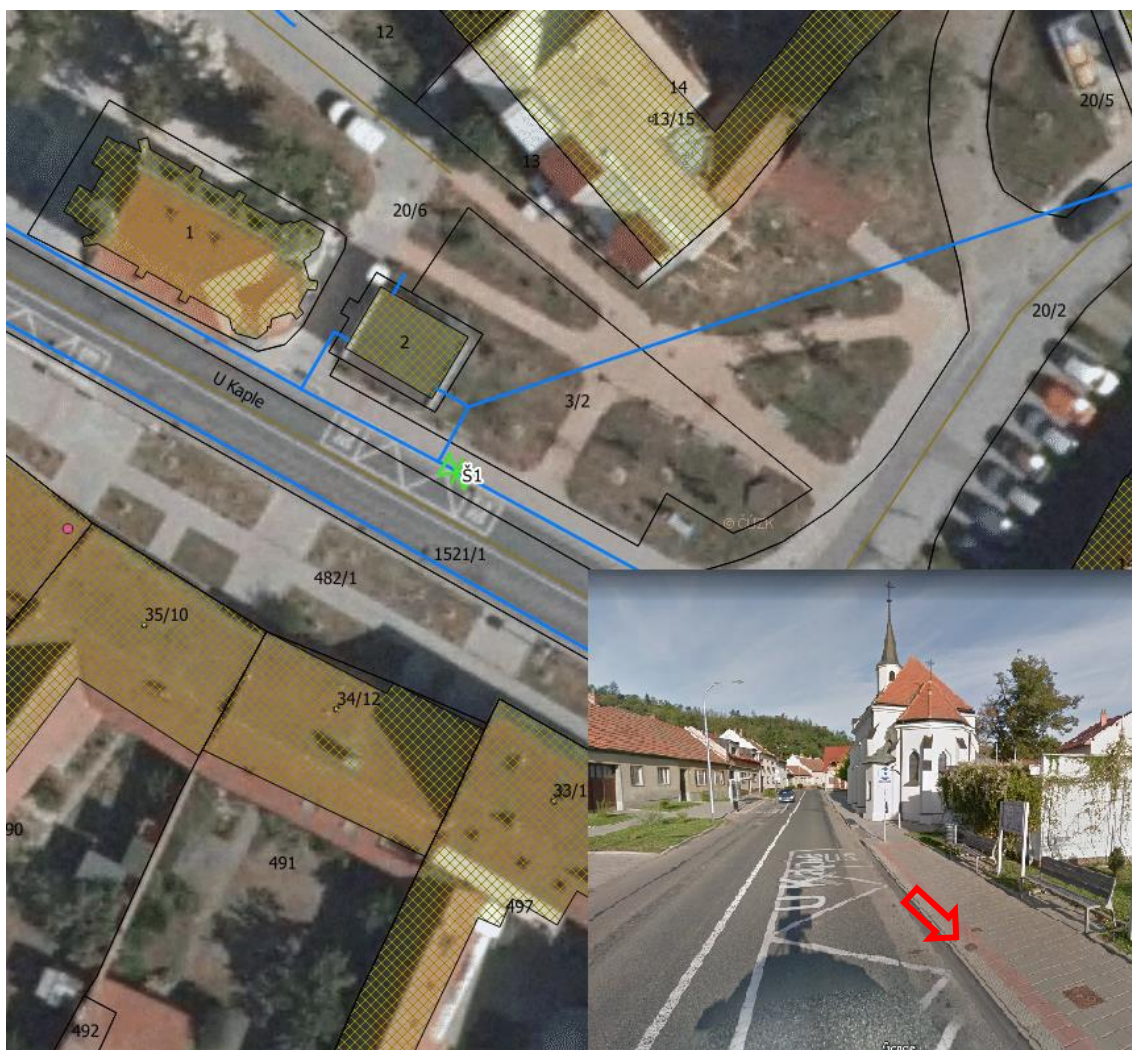
V nejbližších letech by však bylo vhodné v rámci přirozené výměny potrubí tyto úseky sanovat a potrubí z šedé litiny co nejvíce eliminovat.

Před samotnou sanací lze však sáhnout k méně invazivnímu řešení, kterým bude možné prodloužit životnost většiny potrubí z šedé litiny. Vytvořením nového tlakového pásma s regulací tlaku a měření průtoku bude možné prodloužit životnost potrubí, ale také snížit úniky vody. Nové tlakové pásmo by vzniklo vybudováním armaturní šachty, na ulici Krátká (s regulací tlaku, měřením průtoku). Umístění navrhované šachty je patrné z obr.3.39. K ohraničení nového tlakového pásma by bylo nutné osazení nového šoupěte, které by bylo trvale uzavřeno viz obr.3.42 a zároveň uzavření stávajících dvou šoupat viz obr. 3.40 a 3.41. Nově vzniklé tlakové pásmo je patrné z obr. 3.43. V nově vzniklém tlakovém pásmu se nenachází žádné budovy, které by měly podlažnost vyšší než 3 patra a je tedy vhodné přistoupit k úpravě tlakových poměrů, z průměrných 53 m v.sl., na snížení o cca 20 m v.sl. Snížení tlaků bude realizováno pomocí tlakového regulačního ventilu osazeného v nově vybudované armaturní šachtě na ulici Krátká, zároveň zde bude prováděno kontinuální měření průtoků s přenosem na dispečink. Vlivem měření průtoků

bude možné lépe detekovat poruchy a úniky. Zároveň by mělo dojít k prodloužení životnosti potrubí z šedé litiny.



**Obrázek 3.39** Místo vybudování nové armaturní šachty s regulací tlaku a měřením průtoku – ulice Krátká



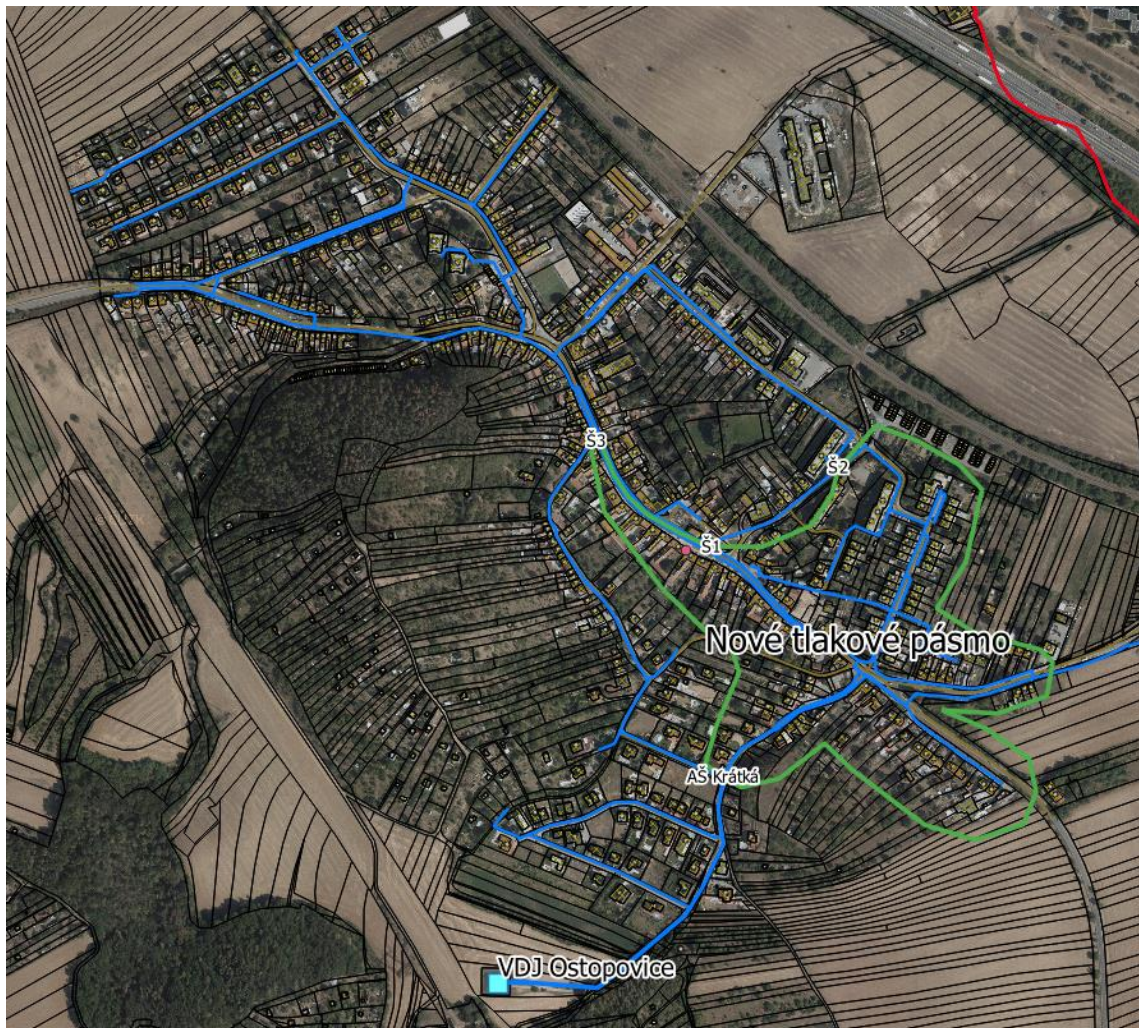
Obrázek 3.40 Místo uzavření stávajícího šoupěte Š1 – ulice U Kaple



Obrázek 3.41 Místo uzavření stávajícího šoupěte Š3 (červená šipka)

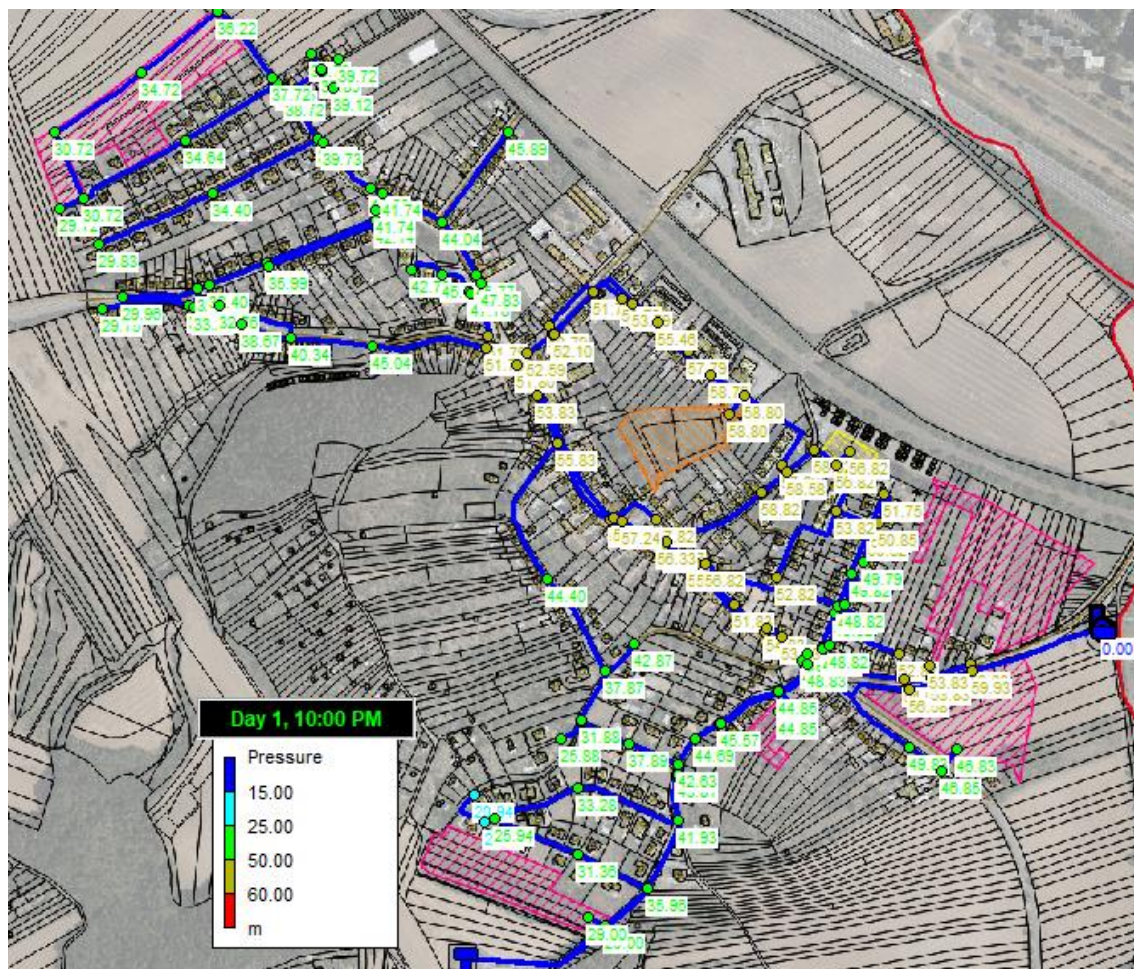


Obrázek 3.42 Místo vybudování nového šoupěte Š2 – ulice Na Rybníčku

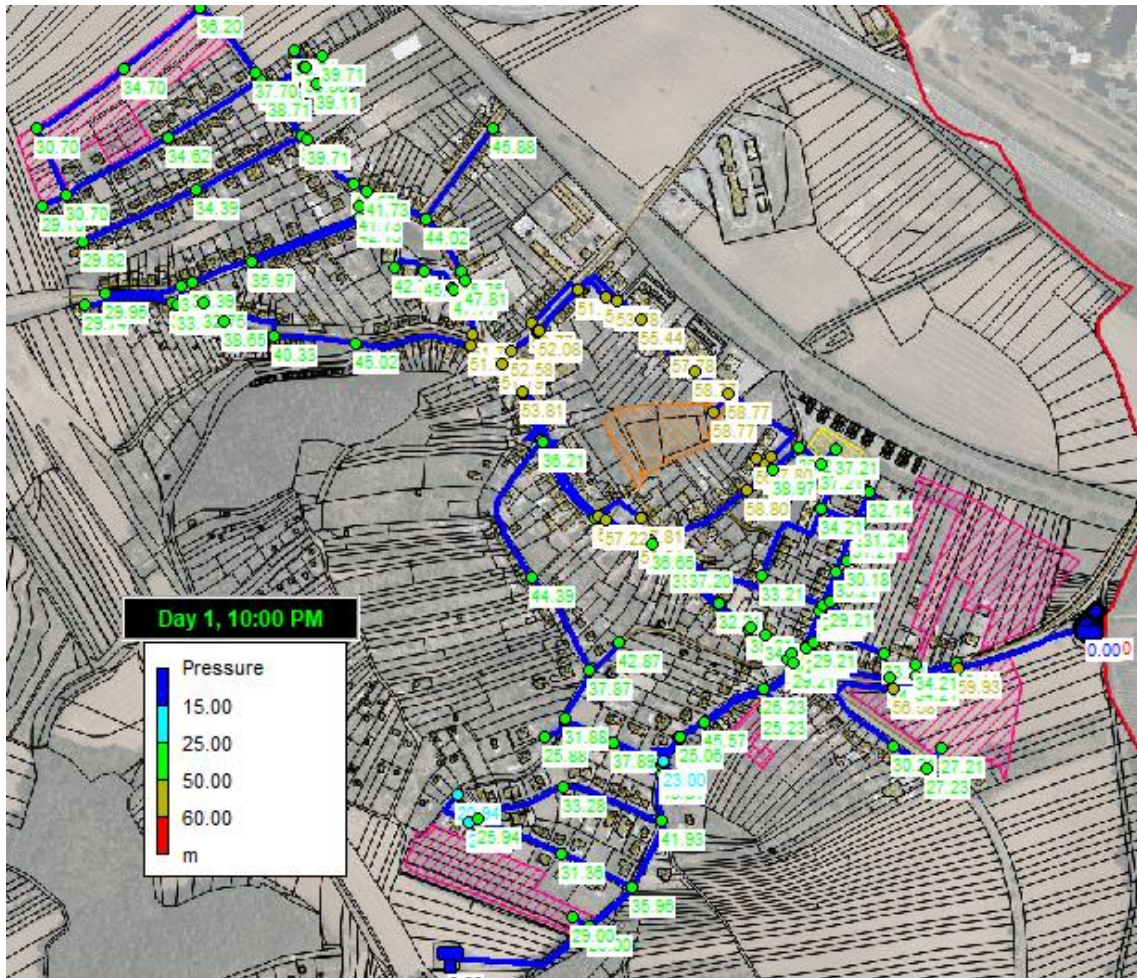


**Obrázek 3.43 Nově vzniklé tlakové pásmo s regulací tlaku a měření průtoku**

Na obr. 3.44 je zobrazen hydraulický model vodovodní sítě, kde jsou patrné tlakové poměry bez realizace „nového TP“. Na obr. 3.45 je poté hydraulický model, ve kterém jsou uzavřena všechna tři výše zmíněná šoupata a je provedena úprava tlakových poměrů regulačním ventilem. Můžeme pozorovat snížení tlaků o cca 20 m v. sl. Tlaky jsou sníženy pouze v rámci nového TP.



Obrázek 3.44 Tlakové poměry na vodovodní síti před realizací nového TP



Obrázek 3.45 Úprava tlakových poměrů (je patrné žádoucí snížení tlaků v místech nového TP)

### *Sanace potrubí z šedé litiny*

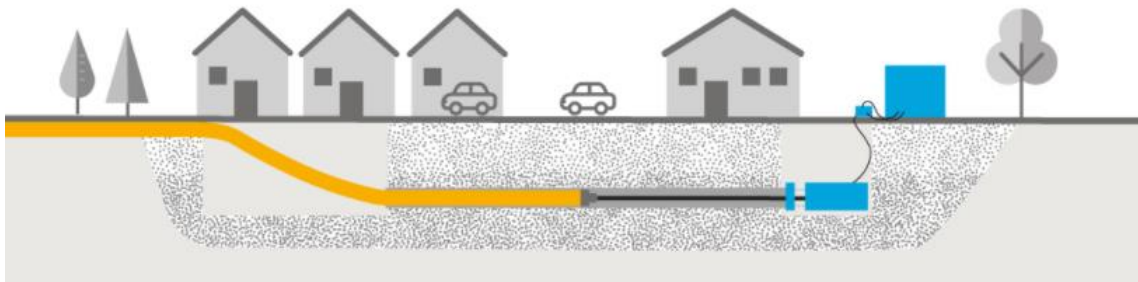
V případě realizace budoucí sanace potrubí z šedé litiny lze uvažovat výměnu otevřeným výkopem, v kombinaci s některou z dostupných bezvýkopových metod. U bezvýkopových metod renovace potrubí odpadá nutnost značného omezení dopravní infrastruktury vlivem otevřeného výkopu a sníží se také časová náročnost. Dle stavebního zákona, odpadne také nutnost získání povolení stavby, rozhodnutí o umístění stavby nebo ohlášení.

V obci se však nachází potrubí z šedé litiny od DN 80 do DN 125. Níže navržené metody sanace lze použít od DN 100/DN125. V případě potrubí z šedé litiny profilů DN 80 by bylo nutné zvolit výměnu potrubí otevřeným výkopem. U metody Relining je nutné počítat pouze se sanací potrubí z šedé litiny profilů DN 125, viz níže. Celková délka potrubí z šedé litiny činí 1,4 km, z čehož cca 282 m je profilu DN 80 a 182 m profilu DN 100.

V případě sanace části potrubí bezvýkopovou metodou je na místě zvážit např. použití metody Relining, která je jednou z nejjednodušších a nejlevnějších metod pro renovaci stávajících potrubí. Metoda by spočívala v zatažení PE 100 RC potrubí, které musí být

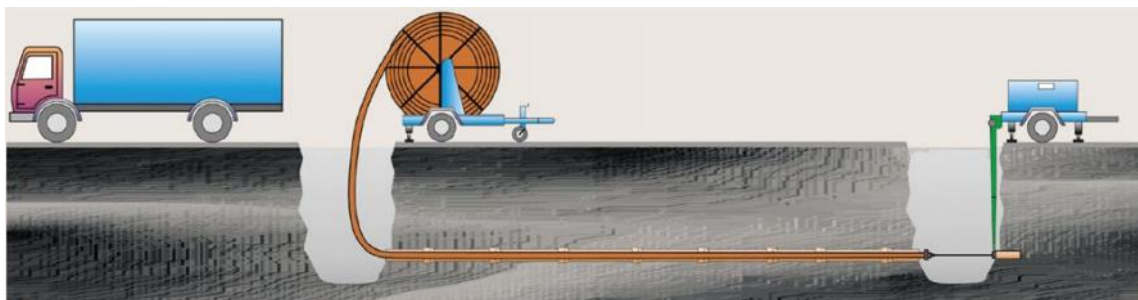


alespoň o dimenzi menší než původní potrubí, do stávajícího potrubí z šedé litiny. Nově zatahované potrubí může být profilů od DN 100 do DN 1600. Před aplikací je nutné provést kamerové prohlídky původního potrubí a provést mechanické vyčištění v kombinaci s proplachem. Vyčištěním původního potrubí dojde k odstranění inkrustací a nečistot, které by mohly způsobit selhání při zatahování PE potrubí nebo jeho poškození. K realizaci Reliningu je třeba pouze startovacích a koncových výkopů přes které bude provedeno zatažení PE potrubí. Délka zatahovaného úseku je řádově od 150 m do 500 m. Zatahované potrubí je uloženo na valivých válečcích a na konec potrubí se připevňuje zatahovací hlava, která je tažným zařízením protažena ze startovacího výkopu do koncového výkopu. [30]



**Obrázek 3.46 Schéma metody Relining [33]**

Další variantou může být metoda Compact Pipe, která spočívá v zatažení deformovaného PE 100 RC potrubí. Tato metoda se používá pro sanaci profilů od DN 100 do DN 500. PE potrubí je z výroby teplotně deformováno do tvaru dvojitého C a navinuto na buben. Po zatažení do původního potrubí je PE pomocí páry a tlaku navrácen do původního kruhového tvaru a pevně přilne k původnímu potrubí. Před sanací je opět nutné provést kamerové prohlídky a mechanické vyčištění sanovaného potrubí. Spojení jednotlivých úseků se provádí pomocí elektrotvarovek nebo svařováním na tupo. Délka jednoho naráz zatahovaného úseku se opět pohybuje od 150 m do 500 m. [30]



**Obrázek 3.47 Schéma metody Compact Pipe [31]**

## 4 DISKUZE

V rámci příprav na „Řízený proplach vodovodní sítě obce Ostopovice“, jsem měl možnost být součástí realizačního týmu, který byl odpovědný za uskutečnění této plánované akce. Mnou vytvořený hydraulický model vodovodní sítě sloužil jako vstupní podklad pro řízený proplach vodovodní sítě a dále může posloužit provozovateli vodárenské infrastruktury obce pro budoucí rozhodovací procesy. Bylo by však vhodné tento model aktualizovat nejpozději v horizontu 5 let, o změny v topologii a spotřebě vody. Hydraulický model zahrnuje dvě tlaková pásma (výtlačné potrubí a zásobovací potrubí obce) a veškeré nezbytné objekty na vodovodní síti. Hydraulický model byl verifikován a kalibrován, pro 24hodinových kroků během dne, na základě dat získaných měrnou kampaní. Stáří vody bylo simulováno pro 336 časových kroků s délkou 1 hodina. [38]

Přestože bylo při kalibraci a verifikaci hydraulického simulačního modelu dosaženo velmi dobré shody naměřených dat a simulovaných dat, tj. maximální rozdíl 0,1 bar nebyl překročen, je vhodné se zamyslet nad nejistotami a omezeními, která hydraulický model doprovázejí. Z tohoto důvodu je součástí této práce také výpočet a zohlednění nejistot typu A a B, kde výsledná nejistota byla stanovena jako kombinace obou těchto dílčích vypočtených nejistot.

Nejistota typu A vychází pouze z opakovaně naměřených dat, ze kterých je vypočtena, v našem případě měřeného tlaku pomocí tlakových čidel Sebalog P-3. Naproti tomu nejistota typu B zohledňuje vstupní zdroje nejistot. V našem případě byly pro výpočet této nejistoty použity pouze známé vstupní zdroje nejistot, jednalo se o teoretické rozlišení a chybu měření použitých tlakových čidel. Tyto vstupní zdroje nejistot byly získány z kalibračního certifikátu a návodu k obsluze daného měřicího zařízení. I když bylo použito 7 měřících zařízení, k dispozici byl kalibrační certifikát pouze pro jedno zařízení. Chyba měření pro jedno z těchto sedmi tlakových čidel dosahuje dle certifikátu hodnoty 0,32 %, v návodu k obsluze výrobce těchto zařízení uvádí maximální chybu měření menší než 1 %. V důsledku toho bylo třeba přistoupit k aplikaci dat z tohoto certifikátu plošně na všechna zbylá zařízení, ač u nich nelze předpokládat stejnou chybovost. Chyba měření zbylých šesti čidel bude s jistotou menší než 1 %, ale může být také menší než 0,32 %. U zbylých 6 čidel bude tedy pravděpodobně chyba měření obdobná jako u zařízení, pro které je dostupný kalibrační certifikát, je však vhodné toto nutné zjednodušení zmínit. Výsledné naměřené tlaky však s vysokou pravděpodobností ovlivňují další vstupní zdroje nejistot, které nejsou zahrnuty do výpočtu, jelikož jejich hodnoty nejsou dobře známé a bylo by je třeba stanovit odhadem, což by naopak mohlo vést ke snížení přesnosti vypočtené nejistoty typu B a s ní související výsledné kombinované nejistoty. Mezi vstupní zdroje nejistot, které nebyly do výpočtu zahrnuty, ale pravděpodobně ovlivňují přesnost, mohou mimo jiné patřit např.: podmínky měření a jejich vliv na měřící zařízení, nedokonalosti konstant a vztahů použitých při vyhodnocování dat, náhodné chyby, teplota vody, vliv operátora.

Na celkovou přesnost hydraulického modelu však mohou mít vliv další odlišnosti modelu od reálného stavu vodovodní sítě. Mezi ně zajisté patří přesnost všech vstupních dat, která byla exportována ze systému GIS a následně použita pro tvorbu hydraulického modelu.

Například se může jednat o nadmořské výšky jednotlivých uzlů, které se mohou lišit od reálného stavu. V některých uzlech hodnoty geodetických výšek nebyly známy a bylo tak nutné přistoupit k odečtu těchto neznámých dat z vrstevnic, toto zjednodušení samo o sobě snižuje přesnost hydraulického modelu, bylo by vhodnější tato problémová místa geodeticky zaměřit. Dalším problémem ve vstupních datech je jistě také měření průtoků a jejich přenos na dispečink, kdy v některých hodinách byly výsledné přenesené hodnoty o průtocích nulové, což může ovlivnit správnost statisticky zpracovaných dat, tyto chyby však byly málo četné. Na přenesená data zde může mít opět vliv hned několik faktorů, jedním z nich může být i samotná chybovost použitého průtokoměru, jeho kalibrace a spolehlivost přenosu dat přes systém SCADA apod. Mezi další data, která jsou zatížena nejistotou může patřit například hydraulická drsnost jednotlivých úseků vodovodní sítě, jmenovitá světlost potrubí, délka vodovodní sítě, kóta dna vodojemu, odběry na jednotlivých přípojkách atd.

Jak již bylo zmíněno, vytvořený hydraulický model se velmi blíží své reálné předloze, a i přes vzniklou míru nejistoty není ovlivněna korektnost a spolehlivost tohoto modelu. Je však vhodné tyto nejistoty brát v potaz a mít je na paměti.

## 5 ZÁVĚR

V úvodu a teoretické části této práce je nastíněna stručná historie vzniku prvních vodovodů na jižní Moravě a stávající stav zásobování vodou v ČR. Následně jsou popsány základní platné výpočetní vztahy pro vodovodní síť. Dále se v teoretické části zabývám real-time hydraulickými modely – příklady aplikace těchto modelů, dostupnými softwarovými řešeními a historickým vývojem simulačních modelů.

V rámci praktické části diplomové práce byla provedena hydraulická analýza vodovodní sítě obce Ostopovice. Obec Ostopovice je situována na jihozápadní hranici města Brna, konkrétněji v oblasti Brno-venkov. Vodovodní potrubí obce je celkové délky cca 8,7 km a je provedeno z materiálů PE, OC, LT, PVC profilů od DN 25 do DN 150. Na vodovodní síti se nachází také nezanedbatelné množství úseků, jejichž rok pokládky je 1980 a starší.

V první fázi praktické části diplomové práce byla popsána historie postupného vzniku systému zásobování vodou v obci, včetně současného stavu. Na základě poskytnutých dat od provozovatele vodovodní infrastruktury byla provedena analýza spotřeby vody v obci. Před samotným zahájením měrné kampaně byl v listopadu 2019 proveden podrobný terénní průzkum s fotodokumentací spotřebišť a zmapování dostupných služeb v obci. Samotná měrná kampaň probíhala od 27.11. do 29.11. 2019. Na předem vytipovaných podzemních hydrantech bylo celkově osazeno 7 tlakových čidel Sebalog P-3. Zaznamenané tlaky byly statisticky zpracovány a vytvořeny sady kalibračních a verifikačních dat pro hydraulický model. Po zpracování kalibračních a verifikačních souborů byl proveden výpočet nejistot typů A, B a kombinované nejistoty. V rámci metody B byly jako vstupní nejistoty voleny údaje z kalibračního protokolu a manuálu použitého měřicího zařízení. Výpočtem nejistot byl ověřen předpoklad správnosti měření tlakových čidel a lze konstatovat, že jsou již z výroby velmi přesná. Měřicí chyba tak nebude mít žádný vliv na korektnost kalibračních a verifikačních dat.

V druhé fázi proběhla stavba hydraulického modelu na základě dat získaných od provozovatele a během měrné kampaně. V softwaru Mike Urban byla provedena simulace stáří vody a hydrodynamických tlaků. Sestavený model byl kalibrován a verifikován sadou dat v softwaru Epanet 2.0. Kalibrace byla provedena pomocí 2/3 dat získaných měrnou kampaní, následné ověření správnosti modelu verifikací bylo provedeno zbylou 1/3 dat. Během kalibrace nebylo třeba použít žádný kalibrační zásah. V této fázi bylo možné považovat hydraulický model za hotový.

Ve třetí a zároveň poslední fázi bylo provedeno posouzení stávajících a výhledových tlakových poměrů na vodovodní síti a návrh opatření vedoucích ke zlepšení. Posouzení bylo provedeno v souladu s platnou vyhláškou 428/2001 Sb., zákona č.274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. Dle hydraulického modelu stávající a výhledový stav vyhoví požadavkům na tlakové poměry. V rámci modelování vodovodní sítě byla také provedena simulace maximálního stáří vody v síti. V některých místech dochází ke stagnaci více než 168 hodin. V části obce je to dané tím, že v určitých úsecích není žádný napojený odběratel. Tento problém bude pravděpodobně v nejbližší době vyřešen napojením odběratelů z přilehlé nově vznikající zástavby. Na vodovodní

síti se také nachází jeden trvale uzavřený úsek potrubí, který propojuje výtlačné potrubí z vodojemu se zásobovacím potrubím v obci. V tomto úseku také dochází k dlouhodobé stagnaci vody a jedná se tedy o hygienické riziko. Pravděpodobně zde bude také docházet ke zvýšenému vzniku sedimentů. Ideálním řešením by bylo tento úsek odstranit, případně vhodně osadit nový sekční uzávěr, díky kterému by po jeho uzavření bylo možné zajistit proplachování tohoto úseku pomocí stávajícího podzemního hydrantu. V obci se nachází cca 1,4 km potrubí z šedé litiny, které bylo uvedeno do provozu mezi lety 1968–1975 a rámci přirozené výměny potrubí by bylo vhodné tyto úseky vyměnit nebo jiným způsobem sanovat např. Relining, Compact Pipe atd. Další možností, méně finančně náročnou je vytvoření nového tlakového pásma, ve kterém by byla část těchto úseků zahrnuta. Pro účely nového tlakového pásma by byla zřízena šachta v ulici AŠ Krátká s měřením průtoku a regulací tlaku. Pomocí tohoto opatření dojde ke snížení tlaků z průměrných 53 m v.sl. o cca 20 m v.sl., a tím pravděpodobně ke zvýšení životnosti potrubí z šedé litiny, snížení úniků vody, vlivem praskání trub, a jejich lepší budoucí lokalizaci. K ohraničení nového tlakového pásma bude nutné vybudovat jedno nové sekční šoupě, které bude trvale uzavřené a uzavřít dvě stávající šoupata.

Výsledné rozhodnutí, vedoucí ke zlepšení budoucího stavu vodovodní sítě, bude záležet na prioritách vlastníka a provozovatele, vhodné však bude, s ohledem na územní plán obce, plánovat přirozenou výměnu potrubí v obci Ostopovice nebo v případě potrubí z šedé litiny sáhnout po navrhované variantě. Budoucí rozhodovací procesy by bylo vhodné vést na základě hydraulického modelu a tento model aktualizovat v horizontu pěti let o změny v topologii a spotřebě vody.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství*. Brno: Vysoké učení technické, 2006.
- [2] NOVÁK A KOL., Josef. *Příručka provozovatele vodovodní sítě: SOVAK Sdružení oboru vodovodů a kanalizací*. Praha: Medim, spol., 2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [3] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie*. 2. Vysoké učení technické v Brně: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2011. ISBN 978-80-7204-739-0.
- [4] MACHELL, J., S.R. MOUNCE a J.B. BOXALL. *Online modelling of water distribution systems: a UK case study*. 2010. Case study. Pennine Water Group, Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, Sheffield, UK.
- [5] SUCHÁNEK, Milan a Zdeněk SVITÁK. *Virtuální svět ve vodovodech a kanalizacích* [online]. 2019 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: [https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-05/1%20-%20Such%C3%A1nek\\_Virtu%C3%A1ln%C3%AD%20sv%C4%9Bt%20ve%20vodovodech%20a%20kanalizac%C3%ADch.pdf](https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-05/1%20-%20Such%C3%A1nek_Virtu%C3%A1ln%C3%AD%20sv%C4%9Bt%20ve%20vodovodech%20a%20kanalizac%C3%ADch.pdf)
- [6] ABU-MAHFOUZ, Adnan M., Yskandar HAMAM, Philip R. PAGE, Kazeem B. ADEDEJI, Amos O. ANELE a Ezio TODINI. *Real-Time Dynamic Hydraulic Model of Water Distribution Networks*. 2019.
- [7] LOM, Michal a Ondřej PŘIBYL. *Sítě pro internet věci v České republice* [online]. 2017 [cit. 2020-09-06]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>
- [8] *Aquis Software: Software for reliable and efficient operation of your water distribution* [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <https://www.se.com/eg/en/product-range/61417-aquis-software/12368214329-software-description/>
- [9] *Aquis: Water Network Management – The intuitive operating tool for managing your water supply network*. [online]. 2016 [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=White+Paper&p\\_File\\_Name=SE-Aquis+WaterNetworkManagement+07-16.pdf&p\\_Doc\\_Ref=Aquis](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=SE-Aquis+WaterNetworkManagement+07-16.pdf&p_Doc_Ref=Aquis)
- [10] *Aquis Water Network Management: The intuitive operating tool for managing your water supply network*. [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné

- z: [https://sw.aveva.com/hubfs/assets-2018/pdf/brochures/Brochure\\_AVEVA\\_WaterNetworkManagement\\_10-18.pdf](https://sw.aveva.com/hubfs/assets-2018/pdf/brochures/Brochure_AVEVA_WaterNetworkManagement_10-18.pdf)
- [11] SUNELA, Markus I. a Raido PUUST. *Real time water supply system hydraulic and quality modeling – a case study* [online]. 2015 [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Case study. FCG Design and Engineering Ltd., Tampere 33200, Finland; Tallinn University of Technology, Tallinn 19086, Estonia.
- [12] Vellamo. Vellamo [online]. Dostupné z: <http://vellamo.tampere.fi/en>
- [13] MACHELL, J., S.R. MOUNCE a J.B. BOXALL. *Online modelling of water distribution systems: a UK case study*. 2010. Case study. Pennine Water Group, Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, Sheffield, UK.
- [14] *Příloha 2 - Matematický model vodárenské sítě města Písek: Technická specifikace předmětu plnění* [online]. DHI [cit. 2020-09-17]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/1007409/Model%20vodarenske%20site%20Pisek%20Priloha2.pdf>
- [15] *Enhancements to the Epanet-RTX (Real-Time Analytics): Software Libraries (Fiscal Year 2015)* [online]. 2015 [cit. 2020-09-17]. Dostupné z: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_file\\_download.cfm?p\\_download\\_id=528121&Lab=NHSRC](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=528121&Lab=NHSRC). Technical brief. EPA.
- [16] *Strategický plán obce Ostopovice na období 2016-2026* [online]. In: MATĚJOVÁ, Eliška, Martin NAWRATH, Marie ŘÍMANOVÁ a Robert SEDLÁK. Brno: Partnerství, prosinec 2015 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: [http://ostopovice.cz/up/doc/201811230936 OSTOPOVICE\\_strategicky\\_plan\\_pracovniverze\\_FINAL.pdf](http://ostopovice.cz/up/doc/201811230936 OSTOPOVICE_strategicky_plan_pracovniverze_FINAL.pdf)
- [17] *Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2020* [online]. 2020, 30.04.2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112019>
- [18] Geoportál obce [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://ostopovice.gis4u.cz/mapa/katastralni-mapa-g/?c=-597826.7%3A-1162413.3&z=5&lb=osmll&ly=hr%2Cad%2Cpag%2Culn&lbo=1&lyo=&i=-598106.75%3A-1163113.37>
- [19] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=15.5419213&y=49.8875732&z=8&source=muni&id=5806>

- [20] *Obec Ostopovice: Historie obce* [online]. [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <http://www.ostopovice.cz/stranka.php?id=27>
- [21] *Vodovod Ostopovice - Provozní řád: A. Textová část*. Brno: Aquatis, leden 2004.
- [22] *Geoportál obce* [online]. [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: <https://ostopovice.gis4u.cz/mapa/katastralni-mapa-g/?c=-603059.8%3A-1164021.2&z=8&lb=osmll&ly=ad%2Cpag%2Culn%2Cwms-1257&lbo=1&lyo=>
- [23] *VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST a.s.* [online]. [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <http://vodarenska.cz/>
- [24] *Geoportál obce* [online]. [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: [https://ostopovice.gis4u.cz/mapa/katastralni-mapa-g/?c=-603144.45%3A-1164204.25&z=7&lb=cuzk\\_zm&ly=hr%2Cad%2Culn&lbo=1&lyo=](https://ostopovice.gis4u.cz/mapa/katastralni-mapa-g/?c=-603144.45%3A-1164204.25&z=7&lb=cuzk_zm&ly=hr%2Cad%2Culn&lbo=1&lyo=)
- [25] *Napojení vodovodu Ostopovice na Vířský oblastní vodovod (dále VOV)* [online]. VAS, 25.září 2020 [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: <http://www.ostopovice.cz/up/doc/24092020NapojenOstopovicnaVOV.pdf>
- [26] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje: Přehledná situace se zákresem vodovodů 1 : 50 000* [online]. Aquatis, 2019 [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: [https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK\\_JMK\\_neplatny/GRAFIKA/PDF/Vodovody/BV\\_vod\\_50.pdf](https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK_neplatny/GRAFIKA/PDF/Vodovody/BV_vod_50.pdf)
- [27] *Technický predpis metrologický TPM 0051-93: Stanovenie neistot pri mereniach 1. diel.* 1993.
- [28] Nejistoty v měření II: nejistoty přímých měření: Měřicí technika. *AUTOMA* [online]. 2001, (10) [cit. 2020-10-18].
- [29] *Vyjadřování nejistot měření při kalibracích* [online]. In: . PALSTAT s.r.o, Systémy řízení jakosti, 2002 [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: <http://micki.hofyland.cz/vut/bmva/nejistota.pdf>
- [30] *WAVIN EKOPLASTIK - Katalog výrobků a technický manuál: PE potrubní systémy - Rozvody vody, plynu a kanalizace* [online]. In: . [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: [https://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/08/cz\\_2019\\_katalog\\_inzenyrske-site\\_pe-potrubi.pdf](https://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/08/cz_2019_katalog_inzenyrske-site_pe-potrubi.pdf)
- [31] *Compact Pipe: katalog* [online]. In: . Wavin [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://www.wavin.com/cs-cz/katalog/pitna-voda/hlavni-potrubi/compact-pipe>



- [32] RACLAVSKÝ, Jaroslav. *Technický stav a sanace vodovodních sítí: Seminář č.1. Ústav vodního hospodářství obcí, FAST Vysoké učení technické v Brně*, 2018.
- [33] relining bezvýkopová pokládka renovace obnova potrubí. [online]. Dostupné z: <https://www.nodig.cz/cs/relining-vtahovani-mensiho-potrubi/a-22/>
- [34] KOZELSKÝ, Jiří. *TECHNICKÁ ANALÝZA ŽIVOTNOSTI TRUBNÍHO MATERIÁLU ZE ŠEDÉ LITINY*. Brno, 2016. Dizertační práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ - ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ. Vedoucí práce Doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.
- [35] *Real-time simulation* [online]. In: . [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_simulation)
- [36] DUDA, Jiří, Věra BOGDANOVA, Tomáš KORYCH a Ondřej LÍPA. *VODOVODY KANALIZACE ČR 2019: Ekonomika, ceny, informace* [online]. In: . Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1 – Nové Město: Ministerstvo zemědělství, 2019 [cit. 2020-12-20]. ISBN 978-80-7434-578-4. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/664902/Vodovody\\_kanalizace\\_2019\\_WEB.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/664902/Vodovody_kanalizace_2019_WEB.pdf)
- [37] *ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2019* [online]. In: FOUŠOVÁ, Eva, Lenka JIROUDOVÁ a Petra HUBALOVÁ. Těšnov 17, 110 00 Praha 1: Ministerstvo zemědělství, 2020 [cit. 2020-12-20]. ISBN 978-80-7434-570-8. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/661103/Modra\\_zprava\\_2019\\_web.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/661103/Modra_zprava_2019_web.pdf)
- [38] RUČKA, Jan, Tomáš SUCHÁČEK, Zdeněk JAROŠ a Petr DUKÁT. *Řízený proplach vodovodní sítě obce Ostopovice*. Brno: VODA BRNO, listopad 2019 - květen 2020.

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Zásobování vodou z vodovodů v letech 1989, 2014–2019 [36].....	8
Tabulka 1.2 Průměrné ceny vodného a stočného, v jednotlivých krajích, v roce 2019 [37] .....	9
Tabulka 3.1 Bližší specifikace jímacího zařízení .....	36
Tabulka 3.2 Legenda materiálů .....	44
Tabulka 3.3 Zastoupení materiálů dle délek .....	44
Tabulka 3.4 Zastoupení dimenzí dle délek .....	45
Tabulka 3.5 Stáří potrubí dle materiálu .....	46
Tabulka 3.6 Spotřeba vody v obci Ostopovice – dny pracovního klidu.....	50
Tabulka 3.7 Spotřeba vody v obci Ostopovice – pracovní dny .....	50
Tabulka 3.8 Výsledky analýzy spotřeby vody .....	51
Tabulka 3.9 Spotřeba velkoodběratelů .....	52
Tabulka 3.10 Výsledky měření tlaků .....	57
Tabulka 3.11 Tabulka opravných koeficientů $k_s$ v závislosti na počtu měření [29].....	58
Tabulka 3.12 Rozdělení pravděpodobnosti [29].....	59
Tabulka 3.13 Koeficienty rozšíření [29].....	60
Tabulka 3.14 Vypočtené hodnoty nejistoty typu A .....	61
Tabulka 3.15 Výpočet nejistoty typu B .....	63
Tabulka 3.16 Výsledné vypočtené nejistoty použitých kalibračních dat pro místo měření ID_001281 .....	64
Tabulka 3.17 Místo měření ID_001389 (v tomto místě bylo dosaženo nejvyšších hodnot kombinované nejistoty).....	65
Tabulka 3.18 Hydraulická drsnost $k$ dle materiálu a jeho stáří [38].....	66
Tabulka 3.19 Výsledky kalibrace hydraulického modelu .....	68
Tabulka 3.20 Výsledky verifikace hydraulického modelu .....	70

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1.1 Roční průměrné teploty v ČR 1961-2019 [37].....	5
Graf 1.2 Schéma využití vody vyrobené určené k realizaci v roce 2019 [37].....	8
Graf 1.3 Zásobování obyvatelé vodou z vodovodů v roce 2019 [37].....	9
Graf 3.1 Zastoupení materiálů dle délek.....	45
Graf 3.2 Zastoupení dimenzí dle délek.....	45
Graf 3.3 Stáří vodovodní sítě dle materiálu.....	46
Graf 3.4 Denní spotřeba vody za období 1. 1. 2019–31. 12. 2020.....	49
Graf 3.5 Průběh spotřeby vody ve dnech pracovního klidu.....	50
Graf 3.6 Průběh spotřeby vody v pracovních dnech.....	51
Graf 3.7 Průběh spotřeby vody všechny dny.....	51
Graf 3.8 Průběh tlaků během měrné kampaně.....	57
Graf 3.10 Četnost výskytu jednotlivých hodnot tlaků v TP 2.....	72

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Stav hladin mělkých vrtů v červenci 2019 [37] .....	6
Obrázek 1.2 Stav vydatnosti pramenů v srpnu 2019 [37].....	6
Obrázek 1.3 Stav hladiny podzemních vod v hlubokých vrtech v srpnu 2019 [37].....	7
Obrázek 2.1 Ustálené tlakové proudění v potrubí (1 – tlaková čára, 2 – energie) [2]....	12
Obrázek 2.2 Vývoj prostředí MOUSE [5] .....	17
Obrázek 2.3 SWOT analýza chytré vodovodní sítě a real-time modelování.....	18
Obrázek 2.4 Schéma IoT (internet věcí) [7] .....	19
Obrázek 2.5 Systémová architektura chytré sítě [6] .....	20
Obrázek 2.6 Ukázka výsledků hydraulického modelu ve webovém rozhraní [12] .....	21
Obrázek 2.7 Ukázka výsledků hydraulického modelu ve webovém rozhraní – podrobnější výsledky [12] .....	22
Obrázek 2.8 Rozsah real-time modelu ve Velké Británii [13] .....	23
Obrázek 2.9 Schéma navrženého řešení [14].....	24
Obrázek 2.10 Zjednodušené schéma systému Aquis [9] .....	26
Obrázek 2.11 Ukázka uživatelského prostředí [10].....	26
Obrázek 2.12 Schéma modelu založeného na rozšíření Epanet-RTX [15] .....	27
Obrázek 2.13 Real-time model města Milford založený na Epanet-RTX [15] .....	27
Obrázek 2.14 Porovnání modelu s GIS .....	28
Obrázek 2.15 Schéma systému Syngismo .....	29
Obrázek 3.1 Poloha obce Ostopovice na území ČR [19] .....	30
Obrázek 3.2 Situace širších vztahů – poloha obce Ostopovice vzhledem k městu Brno [18].....	31
Obrázek 3.3 Základní mapa obce Ostopovice [24].....	31
Obrázek 3.4 Členění půdy v obci Ostopovice [16].....	32
Obrázek 3.5 Orientační nákres provozovaných služeb v obci Ostopovice.....	33
Obrázek 3.6 Vodovod obce Ostopovice [22].....	35
Obrázek 3.7 Zdroj vody a ČS na parcele č. 580/2 .....	36
Obrázek 3.8 Objekt ČS a zdroje vody .....	37
Obrázek 3.9 Dva uzávěry na výtlačném potrubí (směr vodojem a směr rozvodná síť obce) .....	39
Obrázek 3.10 Schematizace SCADA: ČS – výtlačný řad – vodojem .....	39

Obrázek 3.11 VDJ Ostopovice .....	40
Obrázek 3.12 Čelní pohled na VDJ Ostopovice .....	40
Obrázek 3.13 Nedostavěná Říšská dálnice v blízkosti vodojemu .....	43
Obrázek 3.14 Pohled z vodojemu Ostopovice.....	43
Obrázek 3.15 Měření průtoku v armaturní komoře vodojemu .....	47
Obrázek 3.16 Napojení vodovodu obce Ostopovice na Vírský oblastní vodovod (vyznačeno červeně) [26].....	48
Obrázek 3.17 Osazovaná tlaková čidla Sebalog P3.....	53
Obrázek 3.18 Zkouška otevření hydrantu.....	54
Obrázek 3.19 Osazené tlakové čidlo na podzemním hydrantu.....	54
Obrázek 3.20 Mapa měrné kampaně (červeně hydranty osazené tlakovým čidlem) .....	55
Obrázek 3.21 Ukázka kalibračních dat .....	56
Obrázek 3.22 Tlak v uzlu 1_48.....	67
Obrázek 3.23 Tlak v uzlu wNode_16 .....	68
Obrázek 3.24 Výsledky kalibrace hydraulického modelu – měřené vs modelované tlaky .....	69
Obrázek 3.25 Tlak v uzlu 1_27.....	69
Obrázek 3.26 Tlak v uzlu 1_94.....	70
Obrázek 3.27 Minimální hydrodynamický tlak ve vodovodní síti .....	71
Obrázek 3.28 Průměrný hydrodynamický tlak ve vodovodní síti .....	72
Obrázek 3.29 Hodnoty nadmořských výšek jednotlivých uzlů .....	73
Obrázek 3.30 Maximální stáří vody ve vodovodní síti (červená šipka = budoucího napojení nového vodovodního řadu) .....	74
Obrázek 3.31 Územní plán zastavitelné části obce Ostopovice .....	75
Obrázek 3.32 Plánovaný vodovodní řad v severozápadní části obce – světlemodrá přerušovaná čára .....	76
Obrázek 3.33 Plochy vymezené územním plánem pro budoucí výstavbu .....	78
Obrázek 3.34 Minimální hydrodynamický tlak po připojení bodových odběrů budoucích ploch určených k výstavbě.....	79
Obrázek 3.35 Maximální dosažené hodnoty tlaků po připojení bodových odběrů budoucích ploch určených k výstavbě .....	80
Obrázek 3.36 Grafický přehled jednotlivých navržených opatření .....	81
Obrázek 3.37 Trvale uzavřený úsek potrubí „mrtvé potrubí“ .....	82

---

Obrázek 3.38 Vodovodní síť obce Ostopovice (tmavě modrá = potrubí z šedé litiny)..	83
Obrázek 3.39 Místo vybudování nové armaturní šachty s regulací tlaku a měřením průtoku – ulice Krátká .....	84
Obrázek 3.40 Místo uzavření stávajícího šoupěte Š1 – ulice U Kaple.....	85
Obrázek 3.41 Místo uzavření stávajícího šoupěte Š3 (červená šipka) .....	86
Obrázek 3.42 Místo vybudování nového šoupěte Š2 – ulice Na Rybníčku .....	86
Obrázek 3.43 Nově vzniklé tlakové pásmo s regulací tlaku a měření průtoku .....	87
Obrázek 3.44 Tlakové poměry na vodovodní síti před realizací nového TP.....	88
Obrázek 3.45 Úprava tlakových poměrů (je patrné žádoucí snížení tlaků v místech nového TP).....	89
Obrázek 3.46 Schéma metody Relining [33].....	90
Obrázek 3.47 Schéma metody Compact Pipe [31] .....	90

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Q ...	průtok potrubím [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
S ...	plocha průtočného průřezu potrubí [ $\text{m}^2$ ]
v ...	střední profilová rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
h...	polohové výšky [m]
P ...	tlak [Pa]
$\rho$ ...	hustota kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$\alpha$ ...	Coriolisovo číslo
v...	rychlost kapaliny [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
hz...	ztrátová výška [m]
ht ...	ztráta třením [m]
$h_m$ ...	ztráta místní [m]
$\lambda$ ...	součinitel tření
L ...	délka potrubí [m]
D ...	průměr potrubí [m]
g ...	tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
Re ...	Reynoldsovo číslo [-]
k ...	absolutní drsnost potrubí [m]
$\nu$ ...	kinematická viskozita vody [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
l ...	délka potrubí [m]
d ...	světlost potrubí [m]
$Q_p$ ...	průměrný denní průtok [ $\text{m}^3/\text{den}$ ]
$Q_h$ ...	maximální hodinový průtok [ $\text{m}^3/\text{hod}$ ]
$Q_d$ ...	maximální denní průtok [ $\text{m}^3/\text{den}$ ]
$Q_{\min}$ ...	minimální hodinový průtok [ $\text{m}^3/\text{den}$ ]
$k_d$ ...	koeficient denní nerovnoměrnosti [-]
$k_h$ ...	koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-]
U...	rozšířená standardní nejistota
$u_a$ ...	nejistota typu A
$u_b$ ...	nejistota typu B
k...	koeficient rozšíření [-]
$Z_i$ ...	zdroje nejistot

---

k <sub>s</sub> ...	opravný koeficient [-]
Z <sub>max</sub> ...	maximální rozsah změn
v.sl. ...	zkratka pro metry vodního sloupce
H...	statická výška [m]
P <sub>m</sub> ...	příkon čerpadla [kW]
Š...	šoupě, sekční uzávěr
EU...	Evropská unie
SCADA...	dispečerské řízení a sběr dat
WIN...	zkratka pro systém Windows
GIS...	geografický informační systém
PC...	osobní počítač
DOS...	diskový operační systém
RTX...	real time extension (rozšíření v reálném čase)
SWOT...	základní strategická analýza – Strengths (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti) a Threats (hrozby)
IoT...	internet věcí
WSN...	bezdrátové senzorové sítě
MySQL...	relační databáze
GPRS...	General Packet Radio Service – služba umožňující přenos dat a připojení k internetu, jiným sítím
FTP...	protokol pro přenos souborů mezi počítači pomocí počítačové sítě
MS...	Microsoft
ZIS...	zákaznický informační systém
DN...	jmenovitá světlost
k.ú....	zkratka pro katastrální území
NN...	nízké napětí
PVC...	polyvinylchlorid
PE...	polyethylen
OC...	ocel
LT...	litina
GSM...	telekomunikační standard, 2G datová síť
ČS...	čerpací stanice
VDJ...	vodojem



TP...	tlakové pásmo
HD-PE...	vysoce hustotní polyethylen
VOV...	Vírský oblastní vodovod
.txt...	přípona textového souboru
ČSÚ...	Český statistický úřad

## **SEZNAM PŘÍLOH**

1. Přehledná situace vodovodní sítě M 1: 5 000
2. Situace měrné kampaně M 1: 5 000
3. Výsledky hydraulické analýzy – průměrný tlak ve vodovodní síti M 1: 5 000
4. Stáří vody ve vodovodní síti M 1: 5 000
5. Výsledné vypočtené nejistoty

## SUMMARY

Introduction and the theoretical part of this thesis present a brief history of the first water supply development and its current state in the Czech Republic. This is followed by validated basic hydraulic equations. Theoretical part concludes with a Real-time hydraulic simulation.

The first phase of the practical part of this thesis starts with a description of the village's water supply history and its current state. The water supply network reaches a total length of about 8.7 km and is constructed of various materials and profiles ranging from DN 25 to DN 150. Data provided by the supplier enabled the author to draw up analysis of the water consumption in the village. For the purposes of measurement campaign, a total of 7 Sebalog P-3 pressure sensors were installed on pre-selected underground hydrants. The pressure measured during the test was statistically processed and used as sets of calibration and verification data. This is followed by uncertainty calculation of type A, B and its combination. The resulting assessment was applied to a set of calibration and verification data.

The second phase focuses on the hydraulic model construction itself. It was built on the basis of the data obtained from the water supplier and own survey campaign. Mike Urban software simulated water age and hydrodynamic pressures. The assembled model was calibrated and verified by a data set in Epanet 2.0 software.

In the third and final phase, an assessment of the current and future pressure conditions was carried out together with a proposal of measures leading to improvement. According to the hydraulic model, the current and future state will meet the pressure conditions requirements. It emerged there are some places in the network with water stagnation exceeding 168 hours caused by a low water consumption. There is also one section that is permanently closed which raises a potential hygienic risk due to a long-term water stagnation. The ideal solution would be to remove this section or ensure rinsing. The network also consists of 1.4 km of grey cast iron pipes, which were put into operation between 1968-1975 therefore it would be recommendable to replace these sections or otherwise rehabilitate them, i.e. Relining, Compact Pipe, etc. Another, less costly option is to construct a new pressure zone in which most of these sections are included. This measure would reduce pressures thus increasing the life of cast iron pipelines, reducing water leaks caused by pipeline cracking.