

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ**



**STUDIE VODOVODNÍHO SYSTÉMU V OBCI  
DOLNÍ TŘEBONÍN**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Bc. KATEŘINA MÁROVÁ**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Ing. Filip Horký, Ph.D.**


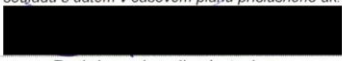
**leden 2024**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE


### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Márová	Jméno: Kateřina	Osobní číslo: 486187
Zadávací katedra: Katedra vodního hospodářství obcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Studie vodovodního systému v obci Dolní Třebonín	
Název diplomové práce anglicky: Study of drinking water supply system in the village Dolní Třebonín	
Pokyny pro vypracování:  Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Vytvoření a kalibrace matematického modelu vodovodní sítě na základě provozních dat a měrné kampaně. Vyhodnocení a posouzení provozních parametrů vodovodní sítě vodovodu pro stávající a výhledový stav (tlakové a průtokové podmínky,...). Návrh případných opatření. Shrnutí výsledků, závěry a doporučení.  Seznam doporučené literatury: Grünwald A., a kol.: Vodárenství. ČKAIT, Praha 1998, ISBN 80-902460-7-9, Tesařík I. a kol.: Vodárenství. SNTL, Praha 1987, zákon č. 274/2001 Sb., vyhláška č. 482/2001 Sb., ČSN EN 805, ČSN 75 5401, ČSN 75 5355	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 26.09.2023	Termín odevzdání DP v IS KOS: 08.01.2024
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>26. 9. 2023</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 7.1.2024

Podpis .....

### Poděkování

Děkuji panu Ing. Filipovi Horkému, Ph.D. za jeho vedení a odbornou pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji firmě PRVOK s.r.o. za četné konzultace a poskytování potřebných materiálů a podkladů pro tuto práci.

V Praze dne 7.1.2024

Podpis .....

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou modelu vodovodní sítě v zájmových místních částech obce Dolní Třebonín v programu EPANET a zároveň předkládá vyhodnocení stavu distribuční sítě zásobování pitnou vodou v současnosti a ve výhledových letech 2025 a 2040. Teoretická část práce se zaměřuje na literární rešerši z oblasti jednotlivých vodárenských soustav, prvků vodárenského systému, potřeby vody a matematického modelování ve vodním hospodářství. V praktické části je pak uveden výpočet stávající potřeby vody a jeho porovnání se skutečnými spotřebami, popis provedené měrné kampaně a kalibrace vytvořeného modelu vodovodní sítě. Na základě této kalibrace je následně provedeno vyhodnocení funkce vodovodní sítě v současnosti a ve výhledu v roce 2025 a 2040.

## **Klíčová slova**

pitná voda, zásobování pitnou vodou, potřeba vody, matematické modelování, EPANET

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the creation of a model of the water supply network in local areas of interest of the village Dolní Třebonín in the EPANET program and at the same time it presents an evaluation of the state of the drinking water supply distribution network at the present time and in the future years 2025 and 2040. The theoretical part of the thesis is focused on the literature search in the field of particular water systems, elements of the water system, water demand and mathematical modeling in water management. The calculation of the current water demand and its comparison with the actual consumption, a description of the measurement campaign and the calibration of the model of the water supply network are presented in the practical part of this work. Based on this calibration, the function of the water supply network at the present time and in the future in 2025 and 2040 is evaluated.

## **Key words**

drinking water, drinking water supply, water demand, mathematical modeling, EPANET

## Obsah:

<b>A</b>	<b>Úvod</b> .....	9
1	Cíle diplomové práce .....	9
<b>B</b>	<b>Teoretická část</b> .....	11
1	Legislativa.....	11
2	Dělení vodárenských soustav.....	12
2.1	Dělení vodárenských soustav podle územní působnosti.....	12
2.2	Dělení vodárenských soustav podle výškového uspořádání .....	14
2.3	Dělení vodárenských soustav podle plošného uspořádání vodovodní sítě .....	15
2.4	Dělení vodárenských soustav podle účelu využití .....	15
3	Prvky vodárenského systému.....	16
3.1	Zdroj vody .....	16
3.2	Čerpací stanice .....	19
3.3	Úpravna vody .....	20
3.4	Přiváděcí řad.....	22
3.5	Vodojem.....	22
3.6	Zásobní řad.....	28
3.7	Rozvodná síť .....	28
3.8	Materiál, uložení a ochranná pásma potrubí .....	31
3.9	Tvarovky a armatury .....	33
4	Hydraulika trubních systémů .....	35
4.1	Rovnice kontinuity .....	35
4.2	Rovnice Bernoulliho .....	36
4.3	Tlakové ztráty.....	36
4.4	Drsnost potrubí.....	38
5	Potřeba vody a ztráty vody v síti .....	40
5.1	Potřeba vody pro obyvatelstvo.....	41

5.2	Potřeba vody pro průmysl .....	42
5.3	Potřeba vody pro zemědělství .....	42
5.4	Potřeba vody pro požární účely.....	43
5.5	Ztráty vody .....	43
5.6	Maximální denní potřeba vody .....	44
5.7	Maximální hodinová potřeba vody .....	45
6	Matematické modelování ve vodním hospodářství .....	46
6.1	Stavba matematického modelu .....	46
6.2	Kalibrace a verifikace modelu .....	47
6.3	EPANET .....	48
6.4	EpaCAD .....	48
<b>C</b>	<b>Praktická část</b> .....	49
1	Popis zásobovaného území .....	49
2	Popis zájmových území .....	51
2.1	Dolní Třebonín .....	51
2.2	Horní Třebonín.....	53
2.3	Dolní Svince.....	54
2.4	Prostřední Svince .....	54
2.5	Horní Svince.....	55
3	Výpočet stávající potřeby vody .....	57
3.1	Výpočet potřeby vody pro Dolní Třebonín.....	57
3.2	Výpočet potřeby vody pro Horní Třebonín.....	61
3.3	Výpočet potřeby vody pro Prostřední Svince .....	65
4	Porovnání vypočtených a naměřených hodnot .....	68
4.1	Dolní Třebonín .....	68
4.2	Horní Třebonín.....	69
4.3	Prostřední Svince .....	70

5	Tvorba modelu v programu EPANET .....	71
5.1	Popis vodovodního systému.....	71
5.2	Tvorba matematického modelu.....	74
5.3	Měrná kampaň.....	79
5.4	Kalibrace modelu .....	86
6	Vyhodnocení stávajícího stavu .....	92
6.1	Stávající stav systému .....	92
6.2	Posouzení vodovodní sítě při požáru .....	99
6.3	Závěrečná doporučení a zhodnocení .....	104
7	Vyhodnocení pro výhledový stav 2025 .....	106
7.1	Výhledová potřeba vody .....	106
7.2	Posouzení vodovodní sítě při požáru .....	115
7.3	Závěrečná doporučení a zhodnocení .....	121
8	Vyhodnocení pro výhledový stav 2040 .....	124
8.1	Výhledová potřeba vody .....	124
8.2	Posouzení vodovodní sítě při požáru .....	134
8.3	Závěrečná doporučení a zhodnocení .....	142
9	Závěr .....	144



# A Úvod

Norma ČSN 75 0150 Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství popisuje termín vodárenství jako technický obor zabývající se jímáním, odběrem, úpravou, akumulací, dopravou a rozváděním vody pro potřebu především obyvatelstva, ale i zemědělství a průmyslu [1]. S postupným nárůstem počtu obyvatel v sídlech se také vyvíjely a zvyšovaly požadavky na dostupnost, kvalitu a stálost zabezpečení pitné vody a tím tedy docházelo i k postupnému rozvoji vodárenských soustav až do současného stavu.

Zásobování pitnou vodou je komplexní proces a využívají se pro něj jak povrchové zdroje pitné vody, tak zdroje podzemní. Ty se od sebe navzájem liší nejenom kvalitou jímané vody, ale také náročností samotného jímání a její úpravy.

Řešení zásobování pitnou vodou se tedy zabývá jak výběrem zdroje pitné vody, tak její výslednou kvalitou, potřebným množstvím, stálostí dodávky a také ekonomickým hlediskem daného řešení.

Tato diplomová práce se v praktické části zabývá tvorbou matematického modelu části obce Dolní Třebonín v programu EPANET, jeho kalibrací a následným využitím pro vyhodnocení současného stavu a pro vyhodnocení dvou výhledových stavů – blízké a vzdálenější budoucnosti. Řešená část obce Dolní Třebonín je zásobována pitnou vodou z vodní nádrže Římov přes úpravnu vody Plav pomocí Jihočeské vodárenské soustavy. V současné době je na zájmový úsek vodovodní sítě připojena pouze místní část Dolní Třebonín, část Horního Třebonína a celé Prostřední Svince. Ve výhledových stavech je pak řešena situace napojení dalších místních částí obce na vodovodní síť.

## 1 Cíle diplomové práce

Cílem této diplomové práce je provést v teoretické části rešerši literatury v oblasti systému zásobování měst a obcí pitnou vodou a v oblasti matematického modelování. V praktické části je pak cílem tvorba modelu vodovodní sítě obce Dolní Třebonín v programu EPANET, jeho kalibrace v závislosti na provedené dvoudenní měrné kampani a srovnání této skutečné spotřeby s výpočtem stávající potřeby vody. Dalším cílem je zkalibrovaný model následně použít pro vyhodnocení chování současného systému jak z hlediska tlakových, tak i rychlostních poměrů, stáří vody a tlakových ztrát a pro posouzení systému dle požárních odběrů. Následně je vodovodní síť v modelu rozšířená o odběrná místa určená na základě informací od provozovatele a z územního

plánu obce pro výhledový stav v roce 2025 a 2040 a pro oba tyto stavy jsou opět posouzeny celkové tlakové a rychlostní poměry v síti a stáří vody. Nakonec je provedeno posouzení chování vodovodní sítě při požáru pro oba tyto výhledové stavy.

# **B Teoretická část**

## **1 Legislativa**

V současné době se vodním hospodářstvím zaobírají především zákon 254/2001 Sb. Vodní zákon a 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích, včetně jeho prováděcí vyhlášky 428/2001 Sb. Dalším důležitým zákonem týkajícím se pitné vody je např. zákon 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví či Vyhláška 409/2005 Sb. O hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.

Problematikou vodního hospodářství se zabývá také řada norem. Nejvýznamnějšími z nich jsou např. normy ČSN 75 0150 Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství, ČSN EN 805 Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti, ČSN 75 5355 Vodojemy, ČSN EN 1508 Vodárenství – Požadavky na systémy a součásti pro akumulaci vody, ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou, ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí apod.

## 2 Dělení vodárenských soustav

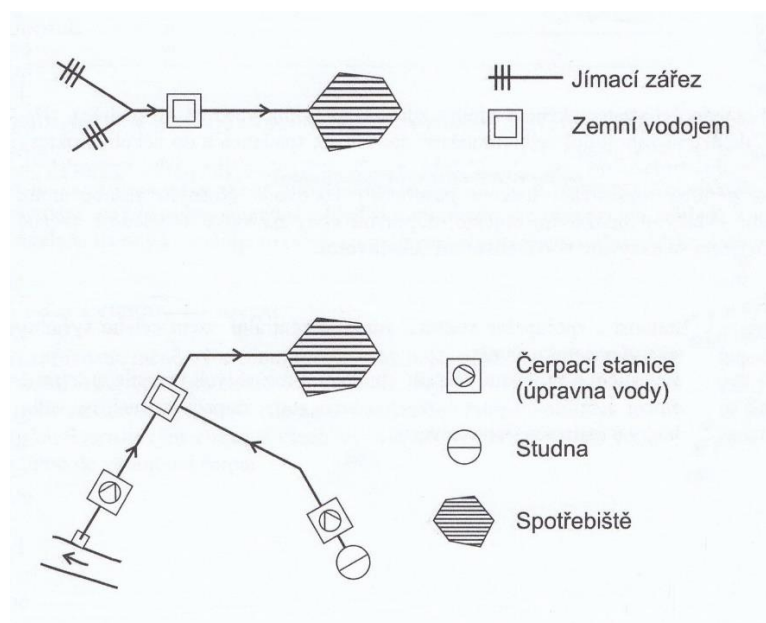
Vodárenské soustavy jsou jedny z nejstarších technických zařízení a slouží pro zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou. Je to soubor více či méně rozsáhlých prvků propojených různými vazbami a dle různých kritérií se dělí do čtyř základních skupin [2; 3].

### 2.1 Dělení vodárenských soustav podle územní působnosti

Podle územní působnosti, tedy množství spotřebišť a rozsahu zásobované oblasti, se vodárenské soustavy dělí na vodovody místní, vodovody skupinové a vodovody oblastní [3].

#### 2.1.1 Vodovody místní

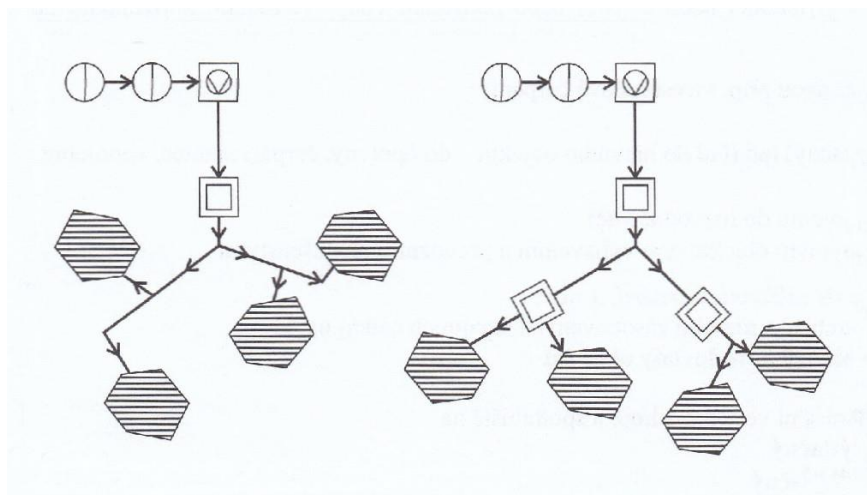
Místní vodovody jsou historicky nejstarším typem vodovodů a slouží pouze pro zásobování jedné obce či města s vyhovujícím zdrojem či zdroji vody v blízkosti spotřebišť. Tyto typy vodovodů jsou charakteristické svou technickou a provozní jednoduchostí – v soustavě se velmi často vyskytuje pouze jeden vodojem, jak je patrné z Obr. 1, a voda se nejčastěji dopravuje gravitačně bez čerpání [2; 3].



Obr. 1: Místní vodovod s jedním a dvěma vodními zdroji [3]

## 2.1.2 Vodovody skupinové

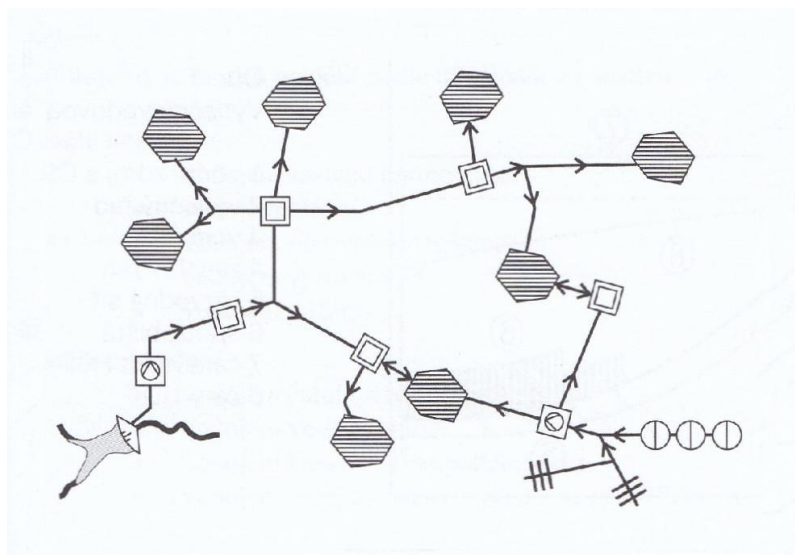
Vznik skupinových vodovodů je spojen s rozvojem a růstem měst a zvyšováním specifické potřeby vody. Tyto vodovody sdružují více obcí či měst, které jsou zásobeny vodou z jednoho či více zdrojů. Voda je do spotřebiště dopravována gravitačně i čerpáním. Jako zdroje se využívají jak podzemní, tak i upravené povrchové vody. Skupinové vodovody je možné navrhovat buď s jedním společným vodojemem, nebo s několika místními vodojemy pro jednotlivá spotřebiště, jak je uvedeno na Obr. 2 [2-4].



Obr. 2: Skupinový vodovod s jedním a více vodojemy [3]

## 2.1.3 Vodovody oblastní

Další rozvoj zásobených územních celků vedl ke vzniku vodovodů oblastních. Tyto vodovody slouží pro zajištění dodávky vody do spotřebišť bez vyhovujícího vodního zdroje v jejich blízkosti. Oblastní vodovody zajišťují hospodárnější využívání pitné vody (především v období jejího nedostatku), vyšší zabezpečení dodávky vody a vyšší provozní spolehlivost. Jejich investiční a provozní náklady jsou však ve srovnání s vodovody místními či skupinovými vyšší a případná porucha v dodávce vody by měla dopad na rozsáhlejší území, než by tomu bylo u výše uvedených typů vodovodů. Příklad vodovodů oblastních je uveden na Obr. 3 [2; 3].



Obr. 3: Oblastní vodovod s několika zdroji [3]

## 2.2 Dělení vodárenských soustav podle výškového uspořádání

Podle výškového vztahu mezi vodním zdrojem a spotřebišťem či vodojemem se vodárenské soustavy dělí na vodovody gravitační a vodovody výtlačné [2; 3].

### 2.2.1 Vodovody gravitační

V případě gravitačních nebo také samospádových vodovodů, přitéká voda ze zdroje do spotřebišť samospádem. Vodní zdroj musí být v tomto případě umístěn s dostatečným převýšením nad spotřebišťem (včetně vodojemu) tak, aby byl zajištěn v celé vodovodní síti minimální požadovaný hydrodynamický přetlak bez nutnosti čerpání. Jmenovité hodnoty tohoto přetlaku jsou stanoveny vyhláškou 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. Výhodou gravitačních vodovodů je celodenní nepřetržitý přítok vody do vodojemu bez čerpání, s čímž souvisí i velmi nízké provozní náklady a vysoká provozní bezpečnost, kdy zásoba vody ve vodojemu není závislá na dodávce elektrické energie [2; 3; 5; 6].

### 2.2.2 Vodovody výtlačné

U výtlačných vodovodů je voda do spotřebišť dopravována čerpáním. Výtlačný vodovod je nutné navrhovat v případě, když je vodní zdroj vůči spotřebišti umístěn níže, či se nachází ve stejné úrovni nebo jen o trochu výše, než je samotné spotřebišť. V těchto situacích gravitační zásobování pitnou vodou buď vůbec možné není, nebo by při něm nebyly zajištěny požadované minimální hydrodynamické přetlaky stanoveny vyhláškou 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. Vodu je

pak tedy nutné ze zdroje do vodojemu čerpat. Výtlačné vodovody jsou dnes s ohledem na místní podmínky nejčastěji používanou variantou uspořádání vodovodů, oproti vodovodům gravitačním jsou však provozně méně výhodné kvůli závislosti na dodávce elektrické energie. [2; 3; 5].

### **2.3 Dělení vodárenských soustav podle plošného uspořádání vodovodní sítě**

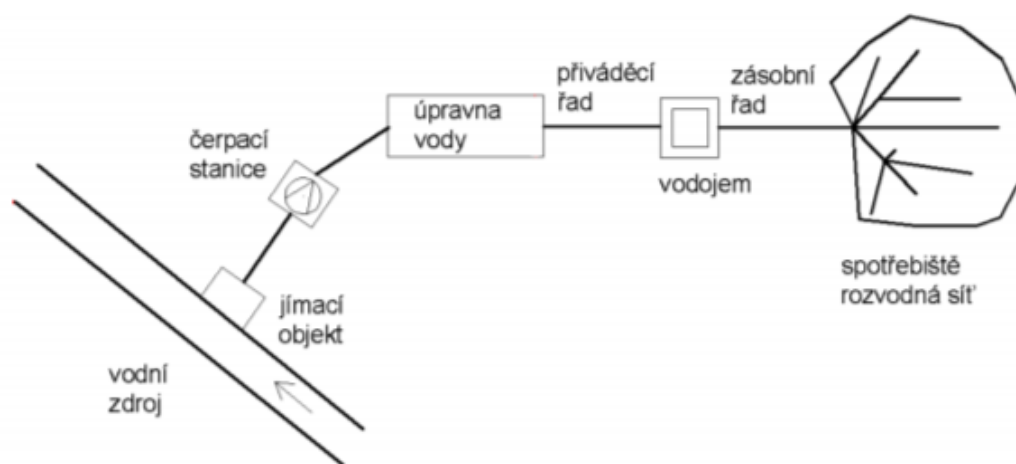
Samotnou vodovodní síť tvoří vodovodní řady hlavní a rozváděcí. Podle vzájemného uspořádání hlavních a rozváděcích řadů a jejich průběhu se vodárenské soustavy dělí na větvnou, okružovou a kombinovanou síť [7].

### **2.4 Dělení vodárenských soustav podle účelu využití**

Podle účelu se vodárenské soustavy dělí na vodovody s převažující funkcí hromadného zásobování pitnou vodou, vodovody požární a průmyslové [3].

### 3 Prvky vodárenského systému

Vodárenský systém nebo také vodovod je definován jako provozně samostatný soubor staveb a zařízení včetně vodovodních řadů a vodárenských objektů, které slouží pro jímání a odběr podzemní a povrchové vody, následně její úpravu a akumulaci. Schéma vodárenského systému je uvedeno níže na Obr. 4 a jeho hlavními prvky jsou vodní zdroje, jímací nebo také odběrné objekty, čerpací stanice, úpravny vody, přiváděcí řady, vodojem, zásobní řady, a nakonec samotná spotřebiště s rozvodnou sítí [3; 8; 9].



Obr. 4: Schéma zásobování pitnou vodou od zdroje ke spotřebiteli [9]

#### 3.1 Zdroj vody

Jako využitelný zdroj pitné vody může sloužit jak voda podzemní, tak voda povrchová, a to přednostně z tzv. vodárenských toků a vod zadržovaných ve vodárenských nádržích. Výhodou povrchových vod je jejich množství, které výrazně převyšuje zásobu vod podzemních, a také jejich snadné jímání. Nepříliš znečištěné povrchové vody lze také často a efektivně využívat v průmyslu s ohledem na jejich měkkost a absenci železa, manganu a oxidu uhličitého. Úprava povrchových vod na vodu pitnou je však nákladná a finanční a technologická náročnost úpravy se stále zvyšuje s postupně se zhoršující kvalitou těchto vod [2; 5; 9].

Při výběru zdroje pitné vody se vychází především z fyzikálně chemických a mikrobiologických vlastností vody, které jsou pro vody povrchové a podzemní velmi odlišné [9].



### 3.1.1 Podzemní zdroje pitné vody

Veškerá voda, která se nachází pod zemským povrchem – tedy jak v nasycené, tak nenasyčené zóně, se označuje jako voda podzemní. Jako zdroj pitné vody se však využívá pouze voda v zóně nasycené [7; 9].

Podzemní zdroje pitné vody jsou vždy upřednostňovány před vodami povrchovými. Jejich fyzikálně – chemické složení je dáno především složením okolního půdního a horninového prostředí, působením srážkových a povrchových vod a podzemní atmosféry. Podzemní vody se vyznačují vyšší mineralizací oproti vodám povrchovým, obsahují vyšší koncentrace rozpuštěných látek, volného oxidu uhličitého, vápníku, sodíku, hořčíku, hydrogenuhličitanů a iontů železa a manganu. Naopak jejich koncentrace rozpuštěného kyslíku a organických látek je velmi nízká. Podzemní vody také neobsahují téměř žádné mikroorganismy a jejich teplota kolísá jen minimálně [9; 10].

Před jímáním podzemních vod je třeba v zájmové oblasti provést hydrogeologický průzkum spojený se zjištěním zásoby podzemních vod. Průzkum je většinou tvořen několika na sebe navazujícími etapami, které jsou individuálně hodnoceny a zahrnuje hydrogeologické mapování, vrtné práce, čerpací zkoušky, odběr vzorků vody a režimní a jednorázová hydrologická měření [2].

Čerpací zkoušky jsou hydrodynamické zkoušky, při kterých se ze studně, vrtu či jiného objektu odebírá voda čerpáním. Slouží pro získání informací o výskytu podzemní vody, filtračních vlastnostech hornin, vydatnosti zvodnělé vrstvy a fyzikálních vlastnostech a chemickém složení vody. Tyto zkoušky se obecně dělí na krátkodobé a dlouhodobé, lišící se délkou jejich trvání, orientační a informační. Dále je možné rozlišovat čerpací zkoušky s konstantní vydatností, s konstantním snížením, s odběrem určitého objemu vody, s postupně se zvyšující vydatností či zkoušky skupinové a zkoušky pro určení okrajových podmínek [1; 2; 4; 7].

#### 3.1.1.1 Jímání podzemních vod

Pro možnost využívání podzemních vod, jež byly ověřeny hydrogeologickým průzkumem, je potřeba vybudovat jímací objekty. Ty slouží k optimálnímu využití zásob podzemních vod, pro zajištění jejich ochrany a k umožnění trvalého odběru předem stanoveného množství vody a dělí se do čtyř základních skupin [2]:

*Vertikální jímací objekty* neboli studny se nejčastěji budují jako trubní (vrtané), dále mohou být šachtové (kopané nebo spouštěné) či jehlové [4; 7; 9].

Mezi *horizontální jímací objekty* patří štoly, jímací zářezy a galerie. Používají se v případě, kdy je zachycení vody vertikálními jímacími objekty nevhodné či nedostačující [3; 5; 9].

*Kombinované jímací objekty* (šachtová studna s horizontálními sběrači, tzv. radiální studna) jsou přechodným typem mezi vertikálními a horizontálními jímadly [7; 9].

*Plošné jímací objekty* (např. pramenní jímky) se využívají pro zachycování pramenů nebo plošných vývěřů vody a dnes se budují již spíše výjimečně [2; 4; 9].

### **3.1.2 Povrchové zdroje pitné vody**

Povrchovými vodami se označují všechny vody, které se vyskytují na zemském povrchu. Dělí se na tekoucí a stojaté a jejich zásoba je dotována vodami podzemními a atmosférickými [9; 10].

Jako zdroj pitné vody se vody povrchové využívají pouze v případě, kdy neexistuje vhodný zdroj podzemní vody. V tomto případě se pak vždy preferují vody z tzv. vodárenských toků (vodní tok či jeho část přímo určena k zásobování pitnou vodou) a vody akumulované ve vodárenských nádržích. Vodu z nevodárenských toků je pak možno využít pouze v případě, kdy není k dispozici jiný zdroj vyhovující jakosti [5, 9; 10].

Chemické složení povrchových vod závisí na geologické skladbě podloží, na půdních a botanických poměrech, složení srážkových a podzemních vod dotujících vodu povrchovou a na antropogenních činnostech v příslušném povodí. Chemická rozmanitost většiny povrchových vod je nižší než u vod podzemních, biologická naopak výrazně vyšší. Povrchové vody obsahují vysoké koncentrace organických a nerozpuštěných látek, mikroorganismů, kyslíku, sloučenin fosforu a amoniakálního dusíku. Jejich teplota je proměnlivá, vyznačují se též nižší mineralizací a malými koncentracemi oxidu uhličitého [9; 10].

#### **3.1.2.1 Jímání povrchových vod**

Povrchovou vodu lze jímat buď z vod stojatých (přirozených či umělých nádrží) nebo tekoucích (vodních toků) [2; 5; 9].

Pro *jímání povrchové vody z nádrží* slouží objekty věžové, sdružené, břehové, plovoucí a objekty nade dnem. Odběr vody nade dnem je možné uskutečnit pouze v případě nádrží s čistou vodou bez nahromaděných sedimentů a probíhajících rozkladných

procesů na dně. Z vodárenského hlediska je pro odběr vody nejvhodnější především střední, případně i spodní vrstva vody v nádrži [2; 4; 5; 9].

Pro odběr povrchové vody z vodních toků se využívají objekty jezové, břehové (vhodné pro vodní toky se stabilním dnem a břehy) a dnové. Jímací zařízení je v těchto případech tvořeno jímkou oddělenou od toku hrubými a jemnými česlemi. Z jímky je voda dopravována do úpravny vody. Při návrhu odběrného zařízení z vodních toků je důležité znát průtokové poměry v daném úseku, hloubku vody a možnosti znečištění úseku. Samotný jímací objekt pak musí být vybudován ve stabilním místě toku, případně může být potřeba vodní tok i vhodně směrově a výškově upravit [2; 4; 5; 9].

### 3.1.3 Ochranná pásma vodních zdrojů

Ochranná pásma jsou stanovena vodoprávním úřadem pro ochranu vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti povrchových a podzemních vod, které se využívají nebo mohou využívat pro zásobování pitnou vodou a jejich průměrný odběr je větší než 10 000 m<sup>3</sup> za rok. Dále se stanovují pro zdroje podzemní vody využívané pro výrobu balené kojenecké či pramenité vody.

Ochranná pásma vodních zdrojů se dělí na ochranná pásma I. stupně a ochranná pásma II. stupně a jejich problematikou se zabývá zákon 254/2001 Sb. Vodní zákon [11].

*Ochranná pásma I. stupně* jsou souvislá území v okolí jímacího či odběrného objektu, která slouží k přímé ochraně vodního zdroje. Je do nich zakázán vstup i vjezd s výjimkou vlastníků vodních děl a osob s právem vodu z vodního zdroje odebírat. Území definované jako ochranné pásmo I. stupně bývá většinou oplocené [11].

*Ochranná pásma II. stupně* se stanoví vně ochranného pásma I. stupně a mohou být tvořena buď jedním souvislým územím nebo i více dílčími územími v rámci jednoho hydrologického povodí či rajonu. Slouží k ochraně vodního zdroje v územích, která jsou stanovena vodoprávním úřadem, a to v takovém rozsahu, aby nebyla ohrožena vydatnost, jakost nebo zdravotní nezávadnost vodního zdroje [11].

## 3.2 Čerpací stanice

Vodárenská čerpací stanice je objekt vybavený čerpacím zařízením, který slouží k zajištění požadovaného tlaku a průtoku v rozvodné síti. Dopravuje vodu z níže položených zdrojů do úpravny vody, rozvodných sítí či vodojemů. Hydraulický systém čerpací stanice je tvořen sacím potrubím, čerpadlem a výtlačným potrubím, přičemž právě čerpadlo tvoří nejdůležitější součást vybavení stanic.

Čerpadlo je strojně – technologické zařízení sloužící pro dopravu vody čerpáním z míst s nižší do míst s vyšší nadmořskou výškou. Při návrhu druhu, typu, počtu a pracovní oblasti čerpadel je důležité znát předpokládané čerpané množství, rozdíl hladin mezi dolní a horní nádrží, který musí čerpadlo při čerpání překonat, rozdíl tlaků nad hladinami, rozdíl rychlostních výšek v sacím a výtlačném potrubí a ztráty energie. Hlavním cílem je vybrat takové čerpadlo, jehož pracovní bod se nachází v oblasti nejvyšší účinnosti. Důležité je také zohlednit možnost vzniku kavitačních jevů, nestability vlivem abnormálního kolísání průtoku a přetížení způsobené abnormálním nárůstem spotřeby energie [1-4; 12; 13].

Norma ČSN 75 5301 Vodárenské čerpací stanice rozděluje čerpací stanice z hlediska důležitosti zásobování na ty, ve kterých je možné připustit přerušování dodávky vody a na ty, ve kterých to možné připustit není. Dále je možné čerpací stanice rozčlenit dle typu, způsobu dopravy vody, dle množství dopravované vody, uspořádání technologické a stavební části a jejich vzdálenosti od vodních zdrojů atd. Podle typu je možné rozlišit čerpací stanice hlavní, přečerpávací a automatické [1; 2; 12; 13].

*Hlavní čerpací stanice* se vyskytuje nejčastěji na výstupu z úpravny vody nebo odběrného zařízení v případě, kdy není vodu nutné upravovat. Slouží k zajištění dopravy vody do zásobního vodojemu [1; 12].

*Přečerpávací stanice* slouží pro dopravu vody do vyššího tlakového pásma nebo do zásobního vodojemu [1; 12].

*Automatická tlaková stanice* se používá pro čerpání vody přímo do zásobovacího pásma bez využití akumulace. Tlaková funkce vodojemu je v tomto případě nahrazena uzavřenou tlakovou nádrží. Provoz čerpadel je ovládán automaticky na základě tlakových poměrů v tlakové nádobě [1; 3; 12].

### **3.3 Úpravna vody**

Úpravna vody či také vodárna je v ČSN 75 0150 Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství definována jako soubor objektů a zařízení vybavených technologií pro úpravu podzemní i povrchové vody nebo jen se zařízením pro zdravotní zabezpečení vody pro pitné i užitkové účely. Technologický proces úpravy vody zajišťuje odstraňování nežádoucích látek z upravované vody, a to jak fyzikálními, tak i chemickými a biologickými metodami a dávkováním technologicky či zdravotně potřebných látek [1; 14; 15]. Vodou pro pitné účely se rozumí voda v původním stavu či

po úpravě určená k pití, vaření, přípravě nápojů a potravin, k péči o tělo apod. Musí být zdravotně nezávadná i při trvalém užívání a nesmí vyvolat onemocnění nebo zdravotní problémy přítomností mikroorganismů či nebezpečných látek. Musí vyhovovat smyslovým požadavkům, být bez korozivních vlastností a musí obsahovat dostatek biogenních prvků [9; 16].

Při návrhu technologie úpravy vody je nutné brát v potaz druh a jakost využívaných zdrojů, jejich fyzikálně-chemické, mikrobiologické a biologické vlastnosti. Obecně platí, že při výběru vodního zdroje pro hromadné zásobování by měly být vybrány primárně ty zdroje, které se v přirozeném stavu svými vlastnostmi co nevíce blíží požadavkům na vodu pitnou. Z kvality této surové vody se následně dle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. určí samotný typ úpravy. Úprava podzemní vody je běžně méně náročná a nákladná než úprava vody povrchové, a to z důvodu jejího nižšího znečištění a vyšší kvality [4; 10].

Základními stupni úpravy podzemní vody je *odkyselování* (odstraňování agresivního oxidu uhličitého), *odželezování a odmanganování* (odstranění železa a manganu), *odstraňování vápníku a hořčíku*, *dezinfekce* (zneškodnění choroboplodných zárodků), *deionizace* (odstranění iontů), *demineralizace* (odstranění rozpuštěných látek anorganického původu) a *desorpce* (odpoutávání nahromaděných molekul z fázového rozhraní a jejich přechod do objemové fáze). Dále je možné využít i proces *odstraňování dusíkatých látek*, *odstraňování radioaktivních látek*, *membránové procesy* atd. [4; 9; 10].

Základními stupni úpravy povrchové vody je *mechanické předčištění surové vody* (za použití česlí, sít, lapáků písku, usazovacích nádrží...), *čiření* (odstranění koloidních částic z vody za použití činidel – tzv. koagulantů), *filtrace* (průchod vody přes zrnitý či porézní materiál, kde dochází k zachytávání částic nerozpuštěných látek; dělí se na pomalou filtraci využívající fyzikálně-chemických a biochemických procesů a na rychlofiltraci využívající pouze fyzikálně-chemické procesy), *preoxidace* (oxidace anorganických a organických látek způsobená přidávkem oxidačního činidla k surové vodě), *dezinfekce* (zneškodnění choroboplodných zárodků), *adsorpce* (odstranění plynů a rozpuštěných látek např. pomocí aktivního uhlí hromaděním na fázovém rozhraní). Dále je možné použít i *stabilizaci* (proces sloužící k zajištění neměnné kvality vody, používá se především v případě, kdy se ve vodě vyskytuje nedostatek vápníku a hořčíku

a voda má nízkou KNK<sub>4,5</sub>), *fluoridaci*, *dechloraci*, *odstraňování dusíkatých látek*, *ultrafiltraci*, *nanofiltraci* atd. Přehled typických procesů úpravy povrchových a podzemních vod je uveden v Tab. 1 [4; 9; 10].

Tab. 1: Přehled typických procesů úpravy povrchových a podzemních vod [4]

Povrchová voda	Podzemní voda
Mechanické předčištění	Odkyselování
Čiření	Odželezování
Filtrace	Odmanganování
Dezinfekce	Dezinfekce
Adsorpce	Odstraňování vápníku a hořčíku
Fluoridace	Deionizace
Ultrafiltrace	Demineralizace
Nanofiltrace	Desorpce
Stabilizace	Membránové procesy

### 3.4 Přiváděcí řad

Přiváděcí neboli přivodní vodovodní řad může být jak gravitační, tak výtlačný a slouží pro dopravení vody ze zdroje do hlavního objektu (úpravny vody, čerpací stanice, vodojemu a/nebo zásobovacího pásma), a to většinou bez přímého napojení odběratelů. Navrhuje se na maximální denní potřebu vody [1; 3; 12].

### 3.5 Vodojem

Podle normy ČSN 75 5355 Vodojem je vodojem definován jako součást technologie úpravny vody nebo samostatný objekt, který slouží pro akumulaci vody. Z hlediska účelu je možné rozeznávat akumulaci dlouhodobou a akumulaci krátkodobou. Dlouhodobá akumulace slouží pro zásobování spotřebiště v průběhu celého roku, krátkodobá akumulace se pak tvoří právě ve vodojemech [2; 4; 5; 17; 18].

Celkový objem vodojemu se skládá z objemu využitelného, který je možno využít pro provozní, požární i poruchové účely a z objemu nevyužitelného, který je dán konstrukcí vodojemu a nelze ho využít k žádným účelům. Využitelný objem zásobního vodojemu se většinou navrhuje na 60 % až 80 % maximální denní potřeby vody zásobovaného pásma [2; 4; 5; 17; 18].

Každý vodojem se skládá z jedné nebo více nádrží a jedné nebo více manipulačních komor, přičemž jednokomorové vodojemy se navrhují jen výjimečně v odůvodněných případech. Dno a stěny nádrže vodojemu musí být vodotěsné a z vnitřní strany hladké a odolné proti otěru. Nádrž vodojemu musí být vybavena větracím zařízením a nesmí být osvětlena přímým světlem z důvodu nebezpečí rozvoje biologického oživení na hladině. Každý vodojem plní tři základní funkce – funkci akumulaci, tlakovou a kontaktní [2; 4; 5; 17; 18].

### 3.5.1 Akumulační funkce vodojemu

Dle normy ČSN 75 5355 Vodojemy slouží akumulaci nádrží vodojemu, která plní jeho akumulaci funkci, ke shromažďování a zadržování vody pro krátkodobou akumulaci, k zajištění požární vody a vody potřebné pro překlenutí poruchy. Celkový objem vodojemu se tedy skládá z objemu provozního, požárního a poruchového [2; 4; 17].

#### 3.5.1.1 Provozní objem vodojemu

Provozní objem vodojemu vyrovnává nerovnoměrnosti mezi přítokem vody a jejím odběrem během dne. Provozní objem je počítán pro dva základní způsoby plnění vodojemu, a to pro *gravitační*, kdy voda přitéká do vodojemu bez přerušování celých 24 hodin a do spotřebiště odtéká nerovnoměrně, nebo způsob, při kterém je *voda do vodojemu čerpána* po dobu 20 hodin denně v letním období a 17 hodin denně v zimním období a do spotřebiště opět odtéká nerovnoměrně [2; 4].

#### 3.5.1.2 Požární objem vodojemu

Požární objem vodojemu slouží k neustálému udržování určité zásoby vody pro případné hašení požárů. Jednotlivé požární odběry a požadované požární objemy vodojemu pro různé druhy objektů stanovuje norma ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou a jsou uvedeny v Tab. 2 níže. Požární objem vodojemu se vypočte pro nutnou dobu hašení a pro požadovaný průtok dle následujícího vzorce [2; 4]:

$$V_{\text{pož}} = 3,6 \cdot q_p \cdot n \cdot t \quad (3.1)$$

Kde:  $V_{\text{pož}}$  je potřebný požární objem [ $\text{m}^3$ ]

$q_p$  je potřeba požární vody [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$n$  je uvažovaný počet odběrů [ks]

$t$  je předpokládaná doba trvání požáru [h]

[2]

Tab. 2: Hodnoty nejmenší dimenze potrubí, odběru a objemu nádrže [19]

Číslo položky	Druh objektu a jeho mezní plocha požárního úseku $S$ v $m^2$	Potrubí DN v mm	Odběr $Q$ ( $l \cdot s^{-1}$ ) pro $v = 0,8 \text{ m} \cdot s^{-1}$ (doporučená rychlost)	Odběr $Q$ ( $l \cdot s^{-1}$ ) pro $v = 1,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$ (s požárním čerpadlem <sup>3)</sup> )	Obsah nádrže požární vody v $m^3$
1	Rodinné domy do zastavěné plochy $S \leq 200$ a nevýrobní objekty (kromě skladů) do plochy $S^{1)} \leq 120$	80	4	7,5	14
2	Nevýrobní objekty o ploše $120 < S^{1)} \leq 1\,000$ ; výrobní objekty a sklady do plochy $S^{1)} \leq 500$ ; čerpací stanice kapalných a zkapalněných plyných pohonných hmot	100	6	12	22
3	Nevýrobní objekty o ploše $1\,000 < S^{1)} \leq 2\,000$ ; Výrobní objekty a sklady o ploše $500 < S^{1)} \leq 1\,500$ ; otevřená technologická zařízení do plochy $S^{1)} \leq 1\,500$	125	9,5	18	35
4	Nevýrobní objekty o ploše $S^{1)} > 2\,000$ ; Výrobní objekty, sklady a otevřená technologická zařízení o ploše $S^{1)} > 1\,500$	150	14	25	45
5	Objekty s vysokým požárním zatížením <sup>2)</sup> ( $p > 120 \text{ kg} \cdot m^{-2}$ ) a současně s plochou $S^{1)} > 2\,500$	200	25	40	72

<sup>1)</sup> Plocha  $S$  v  $m^2$  představuje plochu požárního úseku ( u vícepodlažních úseků je dána součtem ploch užitných podlaží).

<sup>2)</sup> U položek 1 až 4 se nemusí k požárnímu zatížení přihlížet.

<sup>3)</sup> U hasebnímu zásahu lze připojením mobilní techniky na hydrant překročit doporučenou rychlost proudění vody v potrubí ( $v = 0,8 \text{ m} \cdot s^{-1}$ ) až na hodnotu  $v = 2,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$ , aby se zabránilo „kavitačnímu“ režimu při provozu požárního čerpadla vlivem zvýšených hydraulických ztrát byla pro účely této normy navržena nižší hodnota rychlosti, a to  $v = 1,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$ .

### 3.5.1.3 Poruchový objem vodojemu

Poruchový objem vodojemu slouží pro zásobování spotřebiště v případě drobných poruch na přiváděcím řadu nebo na zařízeních, která zajišťují dopravu vody do vodojemu. Většinou je stanoven jako doplněk do 60 % – 100 % z maximální denní potřeby vody ( $Q_{\max,d}$ ) nebo je ho možné vypočítat dle následujícího vzorce [2; 4; 17]:

$$V_{\text{prov}} = \frac{T}{24} \cdot Q_{\max,d} \quad (3.2)$$

Kde:  $V_{\text{prov}}$  je objem potřebný pro překlenutí poruchy [ $m^3$ ]

$T$  je doba potřebná na opravu poruchy [h]

$Q_{\max,d}$  je maximální denní potřeba vody [ $m^3/\text{den}$ ] [20]



### 3.5.2 Tlaková funkce vodojemu

Tlaková, nebo také polohová funkce vodojemu je dána polohou vodojemu vůči spotřebišti a slouží pro zajištění požadovaného tlaku v síti. Umístění vodojemu by mělo být co nejbližší spotřebišti, nejlépe pak přímo v těžišti spotřeby. V případě gravitačního zásobování poloha vodojemu stanovuje minimální a maximální tlak v systému [4].

Pro zástavbu do dvou nadzemních podlaží se požaduje v místě napojení vodovodní přípojky hydrodynamický přetlak nejméně 0,15 MPa. U zástavby nad dvě nadzemní podlaží pak 0,25 MPa. Maximální přetlaky v nejnižších místech vodovodní sítě se uvažují do hodnoty 0,6 MPa, v odůvodněných případech až 0,7 MPa [4; 6; 21].

Obecně je vhodné, aby vodojem dodával vodu pouze do té části spotřebiště, kde je rozdíl nadmořských výšek terénu menší nebo roven 25–35 m. V případě, že by tomu tak nebylo, přistupuje se k návrhu více vodojemů, a to pro jednotlivá výšková (tlaková) pásma. Pokud je více vodojemů pro jedno tlakové pásmo, budují se tak, aby jejich maximální provozní hladiny byly na stejné výškové úrovni [4].

### 3.5.3 Kontaktní funkce vodojemu

Kontaktní funkce vodojemu určuje takový objem vodojemu, při kterém je v něm zajištěna dostatečná doba zdržení, která je potřeba pro reakční dobu vody s dávkovanými chemikáliemi, a to zejména při hygienickém zabezpečení vody [4].

### 3.5.4 Dělení vodojemů

Vodojemy lze rozdělit dle různých přístupů a kritérií:

#### 3.5.4.1 Dělení vodojemů dle počtu nádrží

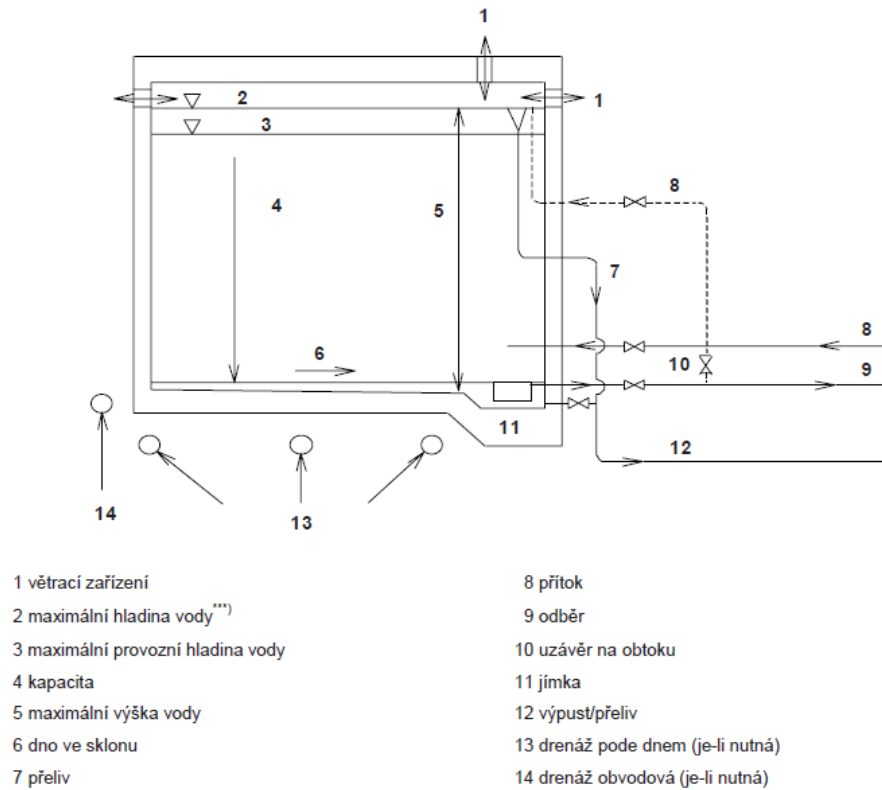
Podle počtu nádrží se vodojemy dělí na *jednokomorové* a *vícekomorové* (nejčastěji dvoukomorové) [2; 17; 20].

#### 3.5.4.2 Dělení vodojemů dle způsobu uložení

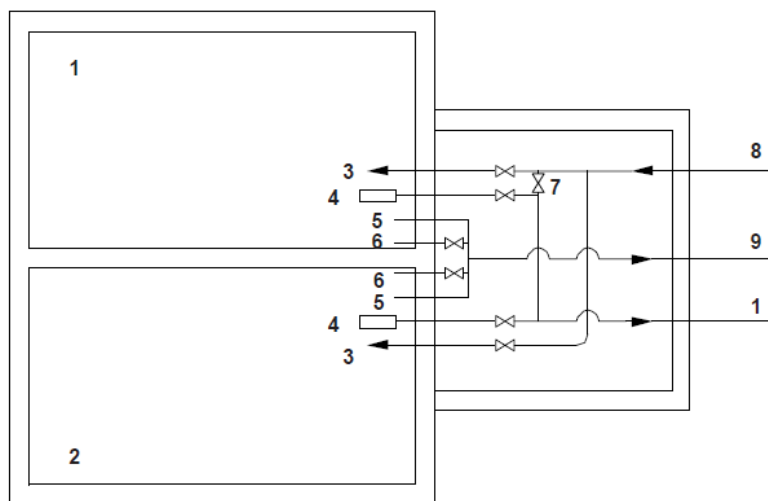
Dle způsobu uložení se vodojemy dělí na vodojemy zemní a věžové [4; 20].

*Zemní vodojem* má dno založeno pod přirozenou nebo plánovanou kótou terénu či v úrovni terénu a využívá zejména tepelně izolačních vlastností zeminy. Může být buď plně nebo částečně zapaštěn pod terén, případně se může nacházet celý nad úrovní terénu. Skládá se dnes už převážně ze dvou či více komor (vodních nádrží) a z manipulační komory. Do ní je na rozdíl od vodních nádrží přístup zvenku a jsou v ní

umístěna všechna ovládací zařízení vodojemu sloužící pro řízení jeho provozu. Jednokomorové zemní vodojemy se dnes již téměř nenavrhují. Celkový objem zemního vodojemu se skládá jak z objemu provozního, tak objemu poruchového a případně i požárního. Schématický řez a půdorysné uspořádání zemního (zásobního) vodojemu včetně vybavení jsou uvedeny na Obr. 5 a Obr. 6 [3; 4; 17].



Obr. 5: Schématický řez zemním (zásobním) vodojemem [18]



- |           |  |
|-----------|--|
| 1 nádrž 1 | 6 výpust                               |
| 2 nádrž 2 | 7 uzávěr na obtoku                     |
| 3 přítok  | 8 přívod z úpravny nebo ze zdroje vody |
| 4 odběr   | 9 výpust/přeliv                        |
| 5 přeliv  | 10 do zásobovacího pásma               |

Obr. 6: Půdorysné uspořádání zemního (zásobního) vodojemu [18]

*Věžový vodojem* je vodojem s nádrží umístěnou na nosné konstrukci nad terénem a používá se v rovinných územích, primárně pro zásobování menších spotřebišť. Skládá se výlučně z jedné vodní nádrže, nosné a základové konstrukce. Tvar nádrže je třeba volit tak, aby nosná konstrukce byla co nejrovnoměrněji zatížena. Samotný nosný sloup bývá ukončen kulovým kloubem a je připevněn na železobetonové základové desce. Svislá poloha konstrukce je zajištěna ocelovými kotevními lany. Vodovodní potrubí je vedeno v nosném sloupu a manipulační komora je umístěna pod vodojemem. Některé typy věžových vodojemů již dnes nemusí být kotveny lany, ale jejich statika je řešena samotným nosným sloupem [1; 3; 4].

Tyto typy vodojemů jsou ekonomicky i esteticky náročné a v praxi je proto snaha se jim převážně vyhýbat. V případě, že však nelze věžový vodojem nahradit jiným typem vodojemu, se pak jejich objem navrhuje na nejmenší možnou hodnotu, a to na objem provozní [1; 3; 4].

### 3.5.4.3 Dělení vodojemů dle funkce

Dle funkce a účelu ve vodovodním systému se rozdělují vodojemy na vodojemy *zásobní* či *akumulační* (pro zásobování rozvodné sítě vodou, pro určení tlakových poměrů v zásobovaném pásmu svým výškovým umístěním a pro vyrovnávání rozdílů mezi rovnoměrným přítokem a nerovnoměrným odběrem vody z vodojemu), vodojemy *hlavní* (nadřazený vodojem vyššího řádu pro zásobu vody pro přívod vody do dalších

vodojemů), vodojemy *přerušovací neboli pásmové* (pro přerušení tlaku v územích s velkým výškovým rozdílem), vodojemy *provozní* (akumulace vody pro provoz vodárenských objektů, zejména úpraven vody), vodojemy *vyrovnávací* (zajištění minimálních hydrodynamických tlaků v síti v oblastech s nepříznivou konfigurací terénu), vodojemy *požární* (akumulace požární vody) a vodojemy *prací vody* (akumulace vody pro praní filtrů na úpravě vody) [1; 3; 17].

#### **3.5.4.4 Dělení vodojemů dle polohy vůči spotřebišti**

Vodojemy je možné umisťovat *před spotřebišť* (tzv. vodojemy čelní), *za spotřebišť* (tzv. vodojemy koncové) anebo *přímo do spotřebišť*. Pokud se v dané oblasti použijí dva vodojemy a sice jeden zásobní (použití jako čelní) a druhý vyrovnávací (koncový), vzniká konfigurace umístění *jednoho vodojemu před spotřebišť a druhého za spotřebišť* [1; 3].

#### **3.5.4.5 Dělení vodojemů dle tvaru nádrže**

Podle tvaru nádrže existují zemní vodojemy s jednotlivými nádržemi *kruhového* a *pravoúhlého* (krabicového) půdorysu a věžové vodojemy *kulového* či zcela *obecného* tvaru [20].

#### **3.5.4.6 Dělení vodojemů dle použitých materiálů**

Dle použitých stavebních materiálů se rozeznávají vodojemy *monolitické* a *prefabrikované*, jmenovitě to pak mohou být např. vodojemy železobetonové, z upravovaných ocelí, z předpjatého betonu, dalších kovů a slitin či z plastických materiálů vyztužených skelnými vlákny [18; 20].

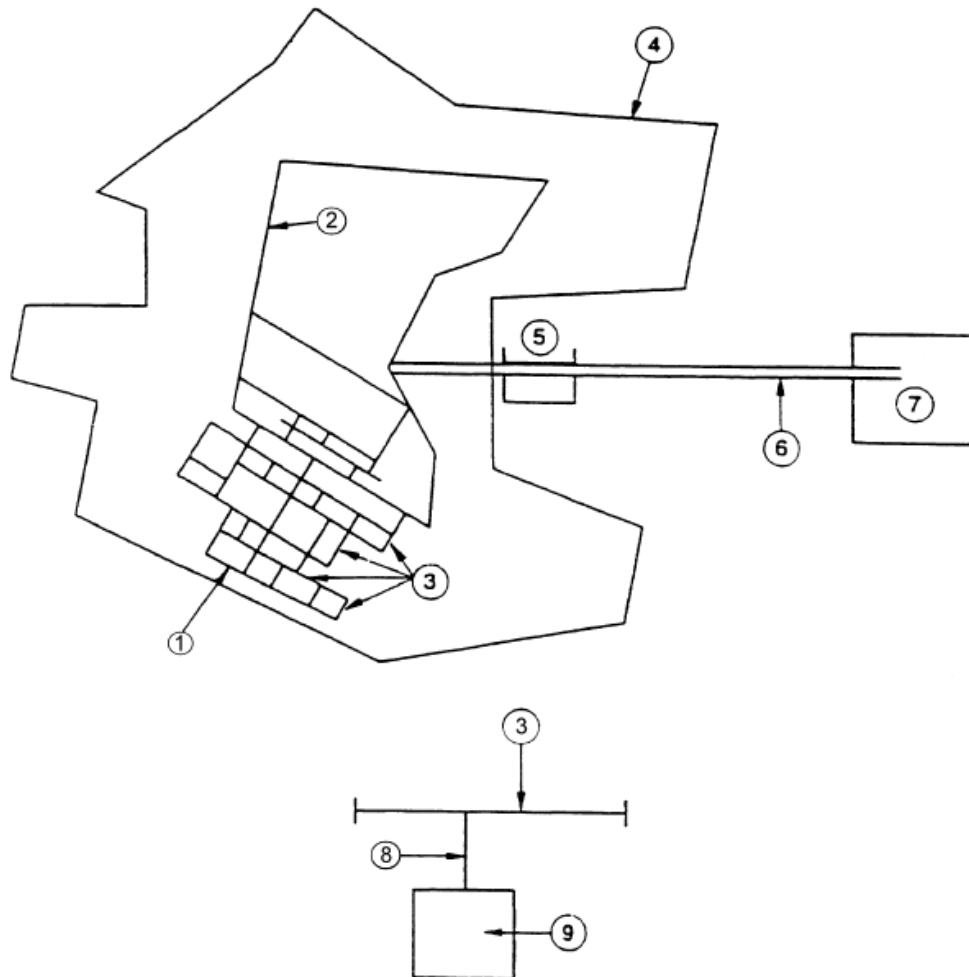
### **3.6 Zásobní řad**

Zásobní vodovodní řad je vodovodní řad, který obvykle dopravuje vodu z vodojemu do rozvodné sítě. Navrhuje se na maximální hodinovou potřebu vody [1; 3].

### **3.7 Rozvodná síť**

Rozvodná vodovodní síť je sestava vodovodních řadů 2.-3. kategorie (místní vedení dopravující vodu do těžiště spotřebišť nebo vedlejší uliční řady přímo funkčně propojené se zásobovanými objekty). Propojuje hlavní řady s vodovodními přípojkami a slouží tedy pro dopravu vody ze zásobního řadu do míst jejího odběru. Rozvodná síť se,

jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3 - Dělení vodárenských soustav podle plošného uspořádání vodovodní sítě, rozděluje podle plošného uspořádání na síť větvovou, okruhovou a kombinovanou a navrhuje se na maximální hodinovou potřebu vody. Příklad rozvodné vodovodní sítě je uveden na Obr. 7 [1; 3].



#### Legenda

- 1 Trubní síť
- 2 Hlavní řad
- 3 Rozváděcí řad
- 4 Zásobovací pásma
- 5 Zásobní vodojem
- 6 Přiváděcí řad
- 7 Zdroj nebo úpravna vody
- 8 Vodovodní přípojka
- 9 Odběratel

Obr. 7: Příklad rozvodné vodovodní sítě [12]

### **3.7.1 Větevná síť**

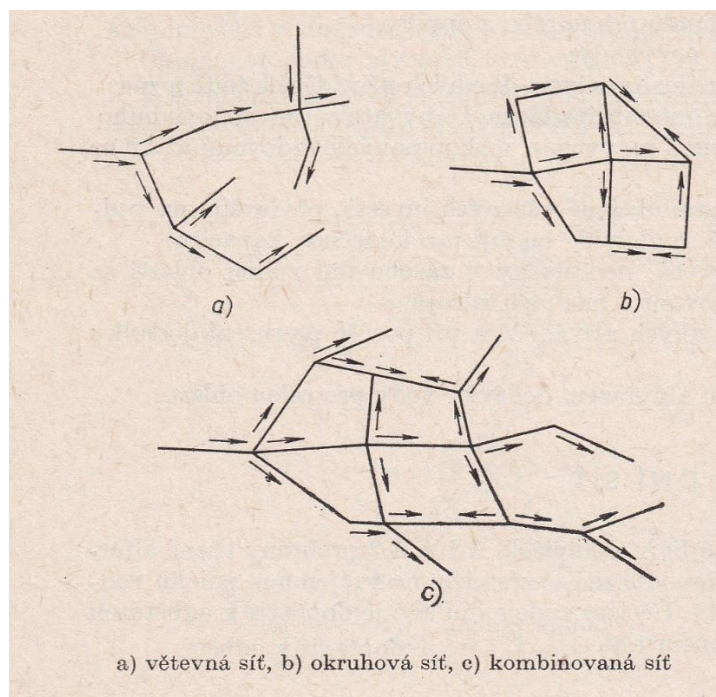
Větevná vodovodní síť nevytváří uzavřené okruhy a je napájena z vodojemu hlavním zásobovacím řadem. Ten se ve tvaru stromu rozvětňuje na jednotlivé vedlejší rozváděcí vodovodní řady, jejichž konce nejsou nijak propojeny. Přívod vody ke spotřebitelům je tedy pouze jednosměrný. Používá se u malých spotřebišť spíše venkovského charakteru. Výhodou větevné sítě jsou její minimální investiční náklady, jednoduchý návrh, výstavba a provoz, také jednoznačné průtokové a tlakové poměry. Nevýhodou je však nízká provozní spolehlivost. Voda je k místu spotřeby přiváděna pouze jednostranně, v případě poruchy je tedy část spotřebišť za touto poruchou bez vody. Na plynulost zásobení mají kromě poruch velký dopad i nárazové odběry. Konce řady větevné sítě musí být kvůli stagnaci a riziku zahánění vody opatřeny hydranty. Schéma větevné sítě je uvedeno na Obr. 8 [2; 3; 5; 7; 14; 22].

### **3.7.2 Okruhová síť**

Charakteristickým znakem okruhových sítí je přívod vody ke spotřebiteli z více než jedné strany. Samotná síť je napájena hlavním zásobovacím řadem, z něj pak odbočují vedlejší rozváděcí řady, které tvoří uzavřené okruhy. Konce těchto zásobovacích řadů jsou navzájem propojeny, což umožňuje zásobování každého místa spotřebišť ze dvou stran. V případě poruchy je tedy možné odstavit pouze porušený úsek a zbytek spotřebišť je tak stále vodou zásobován. Okruhová síť se využívá u větších spotřebišť, ve kterých převažuje plošný charakter zástavby. Velkými výhodami této sítě jsou kromě provozních faktorů též stálá cirkulace vody a vyrovnanější tlakové poměry v síti. Nevýhodou jsou však vysoké pořizovací náklady a složitější navrhování a výpočet sítě. Schéma okruhové sítě je uvedeno na Obr. 8 [2; 3; 5; 7; 14; 22].

### **3.7.3 Kombinovaná síť**

Kombinovaná síť je kombinací okruhové sítě v centru spotřebišť a větevné sítě v okrajových částech spotřebišť. Spojuje v sobě jak výhody, tak i nevýhody obou systémů [3; 4; 7].



Obr. 8: Schémata vodovodní sítě [7]

### 3.8 Materiál, uložení a ochranná pásma potrubí

Veškeré materiály rozvodné vodovodní sítě, se kterými dopravovaná pitná voda přichází do styku, musí být zdravotně nezávadné a nesmí jakýmkoliv způsobem negativně ovlivňovat jakost vody, Trouby, tvarovky i další příslušenství, která se používají pro vodovodní potrubí, musí vyhovovat příslušným normám a zároveň musí mít i hygienický atest [3; 12; 23]. Při návrhu trubního materiálu vodovodního potrubí je obecně nutné brát ohled na pracovní a zkušební přetlak, podtlak, hydraulické rázy, statické a dynamické zatížení, druh a únosnost a agresivitu půdy, provozní spolehlivost, požadovanou životnost materiálu, přítomnost bludných proudů, kvalitu dopravované vody atd. [3; 21].

Ve vodárenství se dnes používá především vysokohustotní polyetylén (HDPE) a tvárná litina, méně často pak i polyvinylchlorid (neměkčené PVC), sklolaminát a ocel. Velký podíl v současnosti provozovaných potrubí je však ještě vyroben z historického materiálu šedé litiny, křehčího a poruchovějšího materiálu, než je litina tvárná. Dříve se též používala potrubí z azbestocementu, ta jsou však kvůli své zdravotní závadnosti postupně vyřazována z provozu a nahrazována potrubími z jiných materiálů [3].

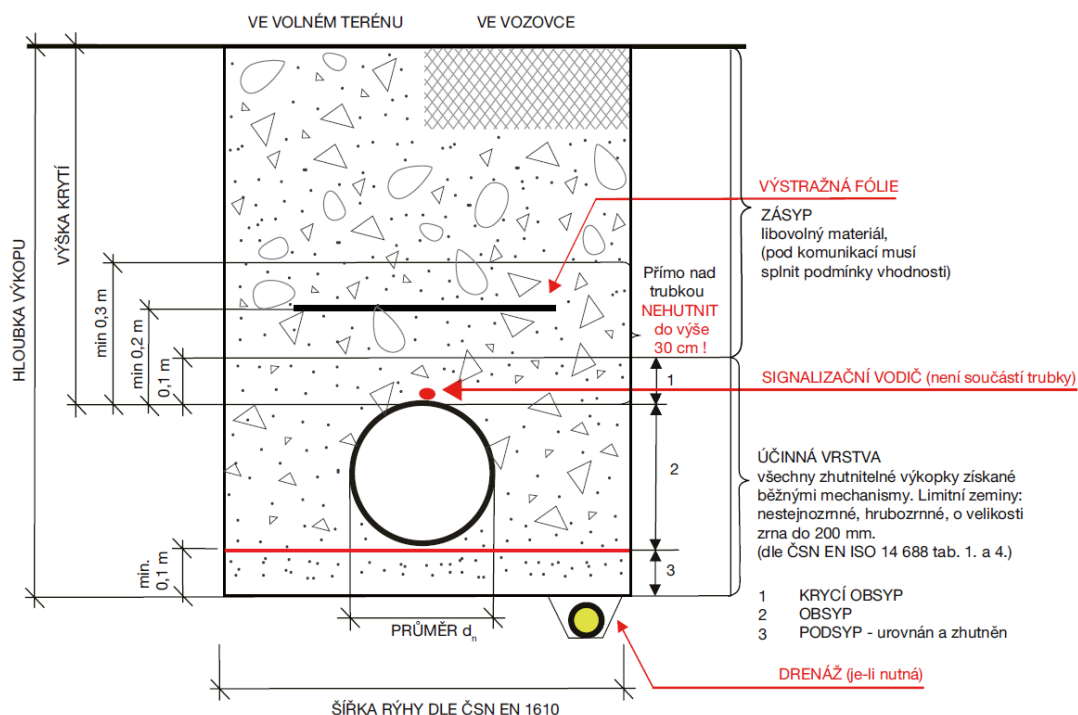
Vodovodní potrubí jsou vyráběna v tlakových řadách PN 2,5 / 6 / 10 / 16 / 25 / 40 / 63 a 100. Písmena PN značí jmenovitý tlak, tedy číselné označení, které se používá

pro referenční účely vztažené ke kombinaci rozměrových a mechanických charakteristik jednotlivých částí trubních systémů. Pro veřejné vodovody se požaduje tlaková řada PN 10 a vyšší [3; 24, 25].

Životnost potrubí udává výrobce a závisí na použitém materiálu, např. pro šedou litinu je to v rozmezí 60 – 90 let, pro plastové vodovodní potrubí 50 let, pro ocel od 25 do 40 let a pro tvárnou litinu pak až 80 let [3; 24, 25].

Zákon 274/2001 Sb. stanoví, že každému vodovodnímu řadu náleží ochranné pásmo k bezprostřední ochraně před poškozením. Tato ochranná pásma jsou vymezena vodorovnou vzdáleností od vnějšího líce stěny potrubí v délce 1,5 m na obě strany u řadů do průměru 500 mm včetně, u řadů nad průměr 500 mm pak v délce 2,5 m. U vodovodních řadů o průměru větším než 200 mm, jejichž dno je uloženo v hloubce větší než 2,5 m pod upraveným povrchem, se vodorovné vzdálenosti ochranných pásem od vnějšího líce potrubí zvyšují o 1 m. Při návrhu vodovodních řadů a přípojek je také velmi důležité dbát na nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti jak ve vodorovném, tak i svislém směru při souběhu či křížení s ostatním vedením technického vybavení. Jmenovité hodnoty jsou pak uvedeny v Příloze A ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání vedení technického vybavení. Tato norma dále v příloze B udává minimální povolené a maximální doporučené krytí vodovodních řadů a přípojek v závislosti na druhu a zpevnění terénu. Při ukládání potrubí se musí dbát nejenom na dodržení příslušných norem, ale i na splnění požadavků výrobce, jehož potrubí je při pokládce použito. Tyto požadavky většinou bývají uvedeny ve vzorových schématech uložení potrubí, jež jsou právě výrobcem publikována, viz Obr. 9 [8; 26].





Obr. 9: Příklad vzorového uložení vodovodního potrubí ve výkopu [27]

### 3.9 Tvarovky a armatury

Kromě vodovodních trub tvoří potrubí i armatury a tvarovky. Tvarovky jsou součástí potrubí, které umožňují změnu trasy, průměru, vytvářejí odbočky, slouží pro napojení armatur, ukončení potrubí apod. Trubními tvarovkami jsou např. různá kolena a oblouky, T-kusy, F-kusy, N-kusy, redukce atd. Armatury slouží pro řízení a ovládání provozu a dělí se na uzavírací, odběrné a ostatní [2; 3].

Mezi *uzavírací armatury* patří např. šoupátka, která se umísťují především v místech, kde dochází k odbočení či rozdělení vodovodního řadu a slouží k jeho uzavření nebo k omezení průtoku tímto řadem. Dalšími uzavíracími armaturami mohou být klapky, ventily, kohouty apod. [2; 3].

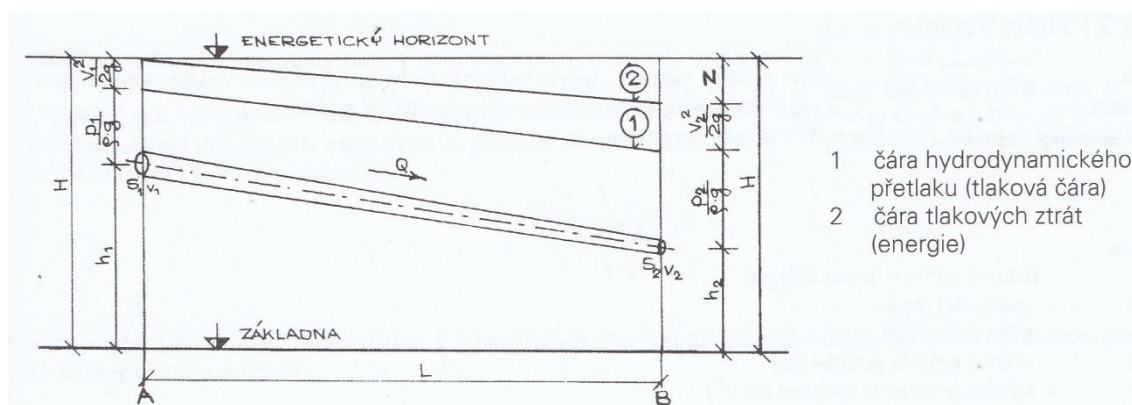
*Odběrnou armaturou* je např. hydrant, který slouží k odběru vody z vodovodní sítě pro požární účely, případně pro proplachování, odvzdušňování a odkalování potrubí. Hydranty mohou být podzemní (mají výtok vody těsně pod úrovní terénu), nadzemní (mají výtok vody nad úrovní terénu) a šachtové a jejich vzájemná maximální vzdálenost je dána ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou. V této normě jsou dále specifikované např. minimální DN potrubí a odběry vody. Pro rodinné domy a nevýrobní objekty do zastavěné plochy 200 m<sup>2</sup> včetně se požaduje umístění požárního hydrantu na potrubí minimálně DN 80 mm s doporučeným odběrem 4 l/s

trvajícím po dobu alespoň 30 minut. Norma dále stanovuje požadavek na zajištění minimálního statického (zásobovacího) přetlaku pro nejnepříznivěji položený hydrant o hodnotě 0,2 MPa. Dalšími odběrnými armaturami mohou být např. vzdušníky, kalosvody nebo výtokové stojany [2; 3; 19].

Mezi *ostatní armatury* patří např. zpětné klapky, montážní vložky, kompenzátory nebo redukční ventily. Redukční ventil slouží k regulaci tlaku v potrubí a může buď udržovat stávající hodnotu vstupního nebo výstupního tlaku nebo snižovat vstupní tlak o konstantní hodnotu [2; 3; 28].

## 4 Hydraulika trubních systémů

Voda ve vodovodních sítích proudí tlakově a pro stanovení nebo hydraulické posouzení dimenze potrubí, případně pro šetření tlakových poměrů v síti, se vychází z předpokladu ustáleného průtokového režimu. Při proudění vody v potrubí vznikají tlakové ztráty, způsobené buď třením kapaliny o stěny potrubí (ztráty třením  $Z_t$ ) nebo ztráty v tzv. místních odporech, tedy v místech, kde dochází např. ke změně vnitřní dimenze potrubí, změně směru potrubí atd. (ztráty místní  $Z_m$ ). Uvažuje-li se tlakové proudění kapaliny v potrubí v úseku mezi profily A a B dané délky  $L$  dle Obr. 10, uplatní se při tomto proudění tři základní rovnice hydrauliky, a to rovnice kontinuity, průtoková rovnice a Bernoulliho rovnice [2; 3].



Obr. 10: Ustálené tlakové proudění mezi profily A–B [3]

### 4.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity neboli rovnice spojitostní vychází z Eulerových hydrodynamických pohybových rovnic, uvažuje proudění nestlačitelné ideální kapaliny a vyjadřuje zákon zachování hmoty. Současně využívá i rovnici průtokovou, která říká, že při konstantním průtoku a změně profilu potrubí se mění i rychlosti proudění kapaliny [29].

$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \text{konst.} \quad (4.1)$$

Kde:  $Q$  je průtok potrubím [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

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

$v$  je střední průřezová rychlost [ $\text{m/s}$ ] [3]

## 4.2 Rovnice Bernoulliho

Rovnici Bernoulliho lze odvodit integrací Eulerových pohybových rovnic, případně z aplikace Newtonova zákona na infinitezimální válec. Vyjadřuje zákon o zachování energie a nejčastěji se v praxi používá v úpravě, ve které má každý jednotlivý člen rozměr délky, viz vzorec 4.2 [29].

$$H = h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z = \text{konst.} \quad (4.2)$$

Kde:  $H$  je výška energetického horizontu od základny (energetická výška) [m]

$h_1$  a  $h_2$  jsou polohové výšky [m]

$v_1$  a  $v_2$  jsou střední průřezové rychlosti [m/s]

$\rho$  je hustota (měrná hmotnost) [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  je tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>]

$Z$  je tlaková ztráta v úseku potrubí A-B délky  $L$  [m]

členy  $\frac{p_1}{\rho g}$  a  $\frac{p_2}{\rho g}$  vyjadřují tlakové (přetlakové) výšky [m]

členy  $\frac{v_1^2}{2g}$  a  $\frac{v_2^2}{2g}$  vyjadřují rychlostní výšky [m] [3; 29]

## 4.3 Tlakové ztráty

Při proudění kapaliny v potrubí vznikají tlakové ztráty třením a ztráty místní, jak již bylo uvedeno výše. Celkové ztráty jsou dány součtem těchto dvou druhů ztrát [3].

$$Z = Z_t + Z_m \quad (4.3)$$

Kde:  $Z$  jsou celkové tlakové ztráty [m]

$Z_t$  jsou ztráty třením [m]

$Z_m$  jsou ztráty místní [m] [3]

### 4.3.1 Ztráty třením $Z_t$

Ztráty třením mají původ ve tření proudící kapaliny o stěny potrubí a ve vodovodních sítích jsou ve srovnání se ztrátami místními dominantní. Velikost ztrát třením závisí

na materiálu potrubí, jeho drsnosti, délce a průměru, průtočném množství (resp. průtočné rychlosti  $v$ ). Vypočítají se z tzv. *Darcyho – Weissbachovy rovnice* [2, 3].

$$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.4)$$

Kde:  $Z_t$  jsou ztráty třením [m]

$\lambda$  je součinitel tření [-]

$L$  je délka úseku [m]

$d$  je vnitřní průměr potrubí [m]

$v$  je střední průřezová rychlost [m/s]

$g$  je tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>] [3]

Součinitel tření ( $\lambda$ ) se stanovuje pomocí různých postupů a vzorců. Univerzálním vzorcem pro vodovodní potrubí, který lze použít téměř pro celou oblast proudění vody ve vodovodech, je vzorec *Whietův – Colebrookův* [2; 3].

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{k}{3,71 \cdot d} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (4.5)$$

Kde:  $\lambda$  je součinitel tření [-]

$k$  je absolutní drsnost potrubí [m]

$d$  je vnitřní průměr potrubí [m]

$Re$  je Reynoldsovo číslo [-] [2; 3]

Reynoldsovo číslo  $Re$  se vypočítá z rovnice uvedené níže a jeho velikost určuje, zda je dané proudění laminární či turbulentní [29].

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4.6)$$

Kde:  $Re$  je Reynoldsovo číslo [-]

$v$  je střední průřezová rychlost [m/s]

$d$  je vnitřní průměr potrubí [m]

$\nu$  je kinematická viskozita [m<sup>2</sup>/s] [3]

Pro výpočet součinitele třením je dále možné použít např. vzorec Woodův, Manningův, Hazenův-Williamsův, Blaisův, Nikuradsův atd. [2; 7].

### 4.3.2 Ztráty místní $Z_m$

Ztráty místní vznikají v místních odporech potrubí, kterými mohou být náhlé lomy potrubí, rozšíření, zúžení, osazené armatury atd. Ztráty místní se u tzv. hydraulicky dlouhých potrubí zanedbávají, u hydraulicky krátkých potrubí (sací potrubí čerpadel, shybky, násosky...) je však již jejich praktický význam velmi důležitý a zanedbat je tedy nelze. Místní ztráty je možné určit dle vztahu:

$$Z_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.7)$$

Kde:  $Z_m$  jsou ztráty místní [m]

$\xi$  je součinitel místní ztráty, který závisí na druhu a rozměru odporu; jeho jmenovité hodnoty jsou uvedeny v hydraulických tabulkách [-]

$v$  je střední průřezová rychlost [m/s]

$g$  je tíhové zrychlení [ $m/s^2$ ] [2]

Tab. 3: Součinitel místní ztráty pro uzavírací armatury [30]

uzávěr	Šoupě	Klapka	Ventil
otevření [%]	$\zeta_u$	$\zeta_u$	$\zeta_u$
10	190	2499	6756
20	30	203,08	624
30	10,5	50,02	122,4
40	4,3	21,67	50
50	2,06	10,11	24
60	0,98	5,06	13,79
70	0,44	3,52	9,4
80	0,15	2,56	7,16
90	0,06	1,44	5,57
100	0,03	0,56	4,95

## 4.4 Drsnost potrubí

Hodnotu drsnosti potrubí lze vyjádřit pomocí tří druhů součinitelů drsnosti: bezrozměrným Manningovým součinitelem drsnosti  $n$ , bezrozměrným Hazen-Williamsovým součinitelem drsnosti  $c$  a White-Colebrookovou drsnost  $k$ , případně  $\Delta$

vyjádřenou v milimetrech, přičemž právě s posledním jmenovaným koeficientem počítá program EPANET [31].

Skutečná hodnota drsnosti potrubí závisí jak na materiálu potrubí a jeho vnitřní výstelce, tak i na podmínkách, které panují uvnitř potrubí. Jedná se např. o vlastnosti dopravované vody, počet a typ spojů a armatur apod. [31].

Pro PVC a PE se doporučená hodnota součinitele drsnosti pohybuje okolo 0,01 mm, pro ocel v rozmezí 0,1 mm – více než 4 mm v závislosti na inkrustaci, pro litinu v rozmezí 0,3 mm – více než 4 mm opět dle inkrustace potrubí [31].

## 5 Potřeba vody a ztráty vody v síti

Potřebou vody se rozumí návrhová hodnota, která udává požadované množství vody za časovou jednotku [1]. Samotný výpočet potřeby vody je důležitým podkladem pro navrhování a posouzení vodovodních sítí a vždy se provádí jak pro současnost, tak i pro výhledové období s ohledem na zpracované územní plány pro danou oblast nebo dle údajů příslušných orgánů územního plánování. Při výpočtu je nutné přihlídnout i k nerovnoměrnosti odběrů, která se projevuje jak v řádu hodin (hodinová nerovnoměrnost), tak v řádu dnů (denní nerovnoměrnost). V závislosti na druhu nerovnoměrnosti pak existují vzorce pro výpočet maximální denní a maximální hodinové potřeby vody [2-4; 32].

Celková potřeba vody pro zásobovanou oblast se stanovuje pro čtyři základní skupiny odběru vody, a to pro *obyvatelstvo, průmysl, zemědělství* a *pro požární účely*. Pro výpočet potřeby vody dnes neexistují žádné účinné právní ani jiné předpisy. Při výpočtu se tedy stále využívá metodika již neplatné Směrnice č. 9 z roku 1973 a čísla roční potřeby vody v příloze č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. v platném znění. Při výpočtu potřeby vody dle vyhlášky je nutné připočítat 20 % přípustných ztrát vody [1-3].

Před samotným popisem výpočtu potřeby vody je důležité vymežit několik termínů definovaných Směrnici č. 9 z roku 1973:

*Specifická potřeba vody* je potřeba vody na jednu spotřební jednotku (např. osobu). Udává se společně se ztrátami vznikajícími při dopravě vody, a to ve výši 20 %. Základní jednotkou je l/jednotka/den [2; 32].

*Nerovnoměrnost potřeby vody* popisuje rozkolísanost odebíraného množství vody v zásobované oblasti za jednotku času za určité období [2; 32].

*Součinitel nerovnoměrnosti (k)* udává poměr maximální a průměrné potřeby vody za jednotku času v určitém období. Jmenovité hodnoty součinitele denní nerovnoměrnosti jsou uvedeny ve Směrnici č. 9 z roku 1973 viz Tab. 4 v kapitole 5.6 Maximální denní potřeba vody. Pro součinitel hodinové nerovnoměrnosti se uvažuje hodnota 1,8, u sídlištní zástavby až 2,1. Pro menší spotřebiště (méně než 2000 obyvatel) se může využít hodnot koeficientu dle ČSN EN 805 přílohy A.7. Dále je možné používat hodnoty součinitele hodinové nerovnoměrnosti z normy ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Ačkoliv se tato norma zaobírá stokovými sítěmi, hodnoty



součinitelů hodinové nerovnoměrnosti se z ní pro výpočet maximální hodinové potřeby vody často využívají [2; 32; 33].

*Občanská vybavenost* je soubor zařízení, která slouží přímo pro potřeby obyvatelstva v souvislosti s bydlením (obchody, školy atd.) [2; 32].

*Technická vybavenost* je souhrn zařízení nezbytných k provozu sídlišť (inženýrské sítě atd.) [2; 32].

*Základní vybavenost* je občanská a technická vybavenost, kterou využívají pouze obyvatelé daného obytného území [2; 32].

*Vyšší vybavenost* je občanská a technická vybavenost, kterou využívají nejenom obyvatelé daného obytného území, ale také obyvatelé území spádového [2; 32].

## 5.1 Potřeba vody pro obyvatelstvo

Potřebou vody pro obyvatelstvo se rozumí potřeba vody pro bytový fond a pro občanskou a technickou vybavenost. Je to voda, která se využívá v domácnostech pro pití, umývání, splachování, úklid, vaření, kropení zahrad atd. a pro objekty občanské vybavenosti, jako jsou školy, restaurace apod. [2; 3; 32]. Vypočítá se jako:

$$Q_O = Q_B + Q_{OV} \quad (5.1)$$

Kde:  $Q_O$  je průměrná potřeba vody pro obyvatelstvo [l/den]

$Q_B$  je potřeba vody pro bytový fond [l/den]

$Q_{OV}$  je potřeba vody pro občanskou vybavenost [l/den] [7]

### 5.1.1 Potřeba vody pro bytový fond

Specifická potřeba vody pro bytový fond ( $q_B$ ) v současnosti činí 35 m<sup>3</sup>/rok (96 l/os./den) [34]. Potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ ) se vypočítá ze vztahu:

$$Q_B = PO \cdot q_B \quad (5.2)$$

Kde:  $Q_B$  je potřeba vody pro bytový fond [l/den]

$PO$  je počet zásobovaných obyvatel

$q_B$  je specifická potřeba vody [l/os./den] [7]

### 5.1.2 Potřeba vody pro občanskou vybavenost

Specifická potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $q_{OV}$ ) se udává v l/os./den a odvíjí se od velikosti obce. Jmenovité hodnoty specifické potřeby vody pro občanskou vybavenost jsou uvedeny ve Směrnici č. 9 z roku 1973 [2; 32].

## 5.2 Potřeba vody pro průmysl

Potřeba vody pro průmysl se skládá z *potřeby provozní vody* (voda potřebná na provoz závodu) a *potřeby vody pro pracovníky* (pití, vaření, mytí) [2].

### 5.2.1 Potřeba vody pro pracovníky v průmyslu

Podle charakteru výroby se průmyslové závody dělí na závody s čistým provozem, závody s horkým a čistým nebo špinavým a prašným provozem, závody s horkým a špinavým provozem. Při výpočtu potřeby vody v průmyslu je třeba započítat také specifickou potřebu vody pro přímou potřebu (pití a závodní kuchyně). Tato specifická potřeba vody celkem činí 30 l/os./směnu. V závodech s nepřetržitým provozem se potřeba vody pro pracovníky rozděluje rovnoměrně a pokud je k dispozici skutečný nebo předpokládaný průběh odběrů, těchto údajů se využívá [2; 32]. „*Nejsou-li k dispozici podrobnější údaje, uvažuje se maximální hodinová potřeba vody pro pracovníky v průmyslu ve výši 50 % z hodnoty vypočítané pro příslušnou směnu, a to po dobu 1 hodiny na konci směny; zbytek potřeby se uvažuje rovnoměrně rozdělený po celou směnu.*“ [2].

## 5.3 Potřeba vody pro zemědělství

Potřeba vody pro zemědělství se skládá z *potřeby vody pro živočišnou výrobu*, *potřeby vody pro pracovníky* a *potřeby vody pro doplňkovou závlahu* [3].

### 5.3.1 Potřeba vody pro živočišnou výrobu

Ve Směrnici č. 9/1973 jsou uvedeny některé specifické potřeby vody pro živočišnou výrobu bez velkochovů. U nich se potřeba vody posuzuje individuálně pro jednotlivé použité technologie chovu, napájení, způsob ustájení apod. Specifická potřeba vody  $q_z$  pro jednotlivé chovy je uvedena v příloze č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. v platném znění. Průměrná denní potřeba vody pro živočišnou výrobu se pak vypočte dle následujícího vztahu [35].

$$Q_z = P_z \cdot q_z \quad (5.3)$$

Kde:  $Q_z$  je průměrná denní potřeba vody pro zemědělskou živočišnou výrobu [l/den]

$P_z$  je počet kusů zvířat

$q_z$  je specifická potřeba vody [l/kus/den] [34]

### 5.3.2 Potřeba vody pro pracovníky v zemědělství

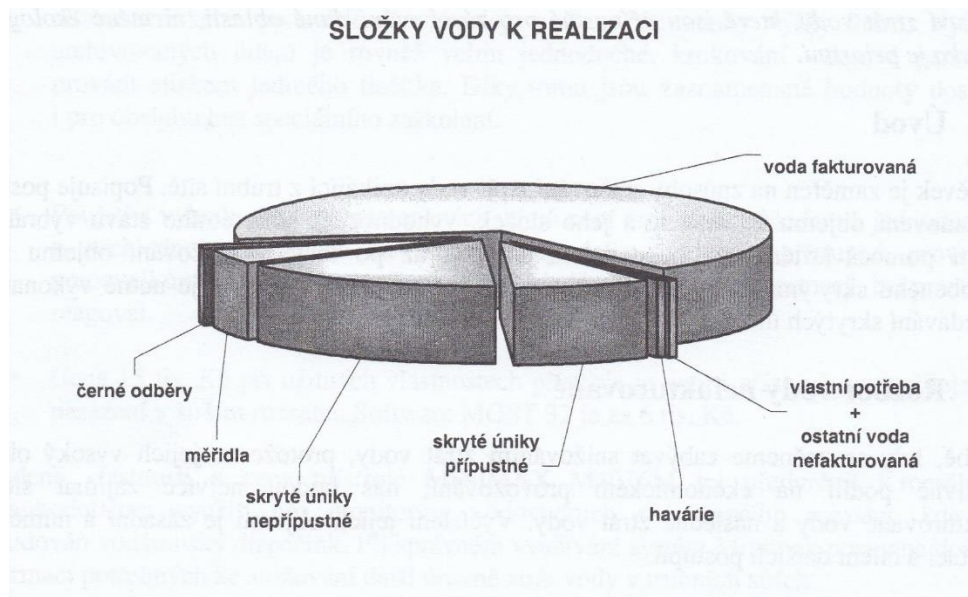
Výpočet potřeby vody pro pracovníky v zemědělství je shodný s výpočtem potřeby vody pro pracovníky v průmyslu (tzn. rozdělení potřeby vody do jednotlivých hodin dle uvedených předpokladů v kapitole 5.2.1 – Potřeba vody pro pracovníky v průmyslu) [2; 35].

## 5.4 Potřeba vody pro požární účely

Potřeba vody pro požární účely se uvažuje pouze nárazově a její skutečný odběr není možné předem odhadnout, také místo odběru a čas výskytu nejsou známé. Potřeba požární vody se odvíjí od velikosti budov, počtu jejich podlaží, jejich druhu, vzájemné prostorové orientace apod. Podrobné požadavky na dodávané množství požární vody, objem požární nádrže a rozmístění zdrojů požární vody stanovují normy ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou a ČSN 75 2411 Zdroje požární vody [2; 7; 35].

## 5.5 Ztráty vody

Dle finančního ohodnocení existují ve vodárenství dvě základní skupiny vod. *Voda fakturovaná* je všechna voda, která byla skutečně dodaná a vyfakturovaná všem odběratelům za dané období. *Voda nefakturovaná*, často také označovaná jako absolutní ztráty vody, je pak voda, která byla sice do sítě dodána, ale nebyla nijak finančně ohodnocena. Součet vody nefakturované (VNF) a vody fakturované (VF) se nazývá *voda k realizaci* (VVR) a udává celkové množství vyrobené vody. Jednotlivé složky vody k realizaci a jejich poměrové zastoupení je vyjádřeno grafem na Obr. 11 [3; 36; 37].



Obr. 11: Složky vody k realizaci [37]

Ztráty vody nastávají v každé vodovodní síti a mohou být způsobeny nepřesným měřením, nedovoleným či neměřeným odběrem (krádež vody), únikem vody přes netěsné spoje armatur, manipulacemi na vodovodu, poruchami potrubí apod. V případě poruch potrubí pak může dojít k úniku vody buď na povrch terénu (tzv. zjevné ztráty) anebo k úniku vody pod povrch terénu (tzv. skryté ztráty) [3; 20; 36; 37].

Ztráty vody je možné vyhodnocovat různými metodami. Jednou z nejčastěji používaných metod je *metoda procentuální (procento vody nefakturované)* vyjadřující procentuální poměr vody nefakturované (VNF) ku vodě k realizaci (VVR). Průměrná hodnota těchto ztrát se pro Českou republiku pohybuje okolo hodnoty 15 %. Dále se velmi často používá *metoda jednotkového úniku (JÚ)*, ztráty lze též vyjádřit např. pomocí *počtu havárií na kilometr skutečné délky sítě*, jako *ztráty vody na přípojku*, *ztráty vody na kilometr přepočtené délky vodovodních řadů a přívadců* nebo pomocí *indexu ztrát ILI* [3; 4; 37; 38].

## 5.6 Maximální denní potřeba vody

Maximální denní potřebu vody pro obyvatelstvo a živočišnou výrobu je možné vypočítat ze vztahu:

$$Q_{d,max} = Q_{pd} \cdot k_d \quad (5.4)$$

Kde:  $Q_{d,max}$  je maximální denní potřeba vody [l/den]

$Q_{pd}$  je průměrná denní potřeba vody [l/den]

$k_d$  je koeficient denní nerovnoměrnosti [-]; hodnoty, kterých může nabývat, jsou uvedeny v Tab. 4 [7; 32].

Tab. 4: Jmenovité hodnoty součinitele denní nerovnoměrnosti ( $k_d$ ) [32]

Velikost obce	Součinitel denní nerovnoměrnosti	
	k	d
a) do 1 000 obyvatel	1,5	
b) 1 000 - 5 000 obyvatel	1,4	
c) 5 000 - 20 000 obyvatel	1,35	
d) 20 000 - 100 000 obyvatel	1,25	

## 5.7 Maximální hodinová potřeba vody

Maximální hodinovou potřebu vody pro obyvatelstvo a živočišnou výrobu je možné vypočítat ze vztahu:

$$Q_{h,max} = \frac{Q_{d,max}}{24} \cdot k_h \quad (5.5)$$

Kde:  $Q_{h,max}$  je maximální hodinová potřeba vody [l/h]

$Q_{d,max}$  je maximální denní potřeba vody [l/den]

$k_h$  je koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-] [7]

# 6 Matematické modelování ve vodním hospodářství

Úkolem modelování ve vodním hospodářství je popis jednoduchých i složitějších mechanismů včetně jejich vzájemných vztahů. Tento popis je nejprve pouze abstraktní reprezentací reálného systému představami o jeho složkách a funkčních vztazích a nazývá se *konceptním modelem*. Pokud jsou tyto myšlenky a vztahy následně vyjádřeny pomocí matematických rovnic, vzniká tzv. *model matematický*. Tento model slouží k poskytování kvantitativních odpovědí na otázky o chování systému za daných vnějších podmínek. Protože systémy ve vodním hospodářství jsou velmi složité a komplexní, pro jejich podrobný popis musí být matematické modely velmi zjednodušeny. S ohledem na to, že relevantní aspekty systému závisí na otázce, která má být zodpovězena, neexistuje žádný univerzální model a pro řešení různých problémů je tedy nutné aplikovat i rozdílné modely. Matematické modelování se v praxi využívá především k identifikaci slabých míst systému s následnou optimalizací jak technických opatření a změn, tak i nákladů. Pomocí matematického modelování lze v dané lokalitě provést např. optimalizaci tlakových pásem, protipožární zabezpečení, konceptní řešení dodávky vody pro rozvojové území, posouzení stávajícího systému zásobování vodou, analýzu kvality vody a ztrát ve vodovodní síti apod. [39; 40].

## 6.1 Stavba matematického modelu

Stavbou modelu se rozumí iterativní proces hledání adekvátního modelu pro daný systém s využitím následujících kroků [39]:

*Formulace problému* je základním prvkem tvorby modelu. Je třeba stanovit cíle, kterých má být dosaženo. V tomto kroku se přesně a jasně stanoví požadavky na přesnost výsledků, míru nejistoty ve výstupech, časový interval řešení, samotné hranice systému, důležité proměnné, podmínky v prostředí atd. [39].

*Sběr dat* slouží ke získání dostupných a relevantních znalostí a vstupů do modelu buď z odborné literatury či z provedených průzkumů, měření a monitoringu [39].

*Konceptualizace systému* má za cíl vymezit podmínky, za kterých bude model používán a vybrat takový typ modelu, který se na řešení daného problému nejlépe hodí (dle časové řady, stavových proměnných, distribuovaných parametrů...), dále má specifikovat proměnné (vstupy, výstupy a vztahy), rozsah časových konstant atd. [39].

*Stanovení struktury modelu* slouží k volbě procesů a proměnných odpovídajících řešenému problému. Většina kritérií pro výběr struktury modelu vyžaduje odhad hodnot parametrů, viz dále [39].

*Odhad parametrů* je založen na maximalizaci či minimalizaci kritéria dobré shody, jako jsou nejmenší čtverce, maximální pravděpodobnost atd. Poskytuje nejenom hodnoty parametrů modelu, ale také počáteční a okrajové podmínky stavových proměnných [39].

*Posouzení modelu* následuje po odhadu parametrů a slouží pro srovnání modelu s předpoklady uvedenými v rámci konceptualizace. Pro posouzení se často využívají statistické testy systematických odchylek mezi výsledky modelu a měřeními [39].

*Testování modelu* je posledním krokem při stavbě matematického modelu a slouží pro hodnocení vhodnosti modelu. To lze provést např. porovnáním jeho výstupů s daty získanými při jiných podmínkách apod. V případě, že by daný model řešenému problému neodpovídal, je nutné celý proces vytváření modelu realizovat znovu, někdy je nutné dokonce i celý problém jinak a vhodněji přeformulovat. Tento proces testování modelu pro omezený rozsah aplikací se nazývá validace [39].

V případě, že byly správně a s uspokojivými výsledky provedeny všechny výše uvedené kroky, nastává poslední fáze stavby modelu, a to jeho *aplikace* v praxi [39].

## **6.2 Kalibrace a verifikace modelu**

Pro správnou funkci modelu je třeba provést jeho kalibraci a verifikaci. Kalibrace je proces, při kterém se hledají takové hodnoty parametrů, které zajišťují co největší shodu výstupů modelu s naměřenými daty. Kalibrace je velmi podobná procesu odhadu parametrů v rámci stavby matematického modelu, nemusí však využívat statistické metody (nejčastěji se používá metoda „pokus a omyl“). Jako podklad pro kalibraci modelu slouží především data získaná monitoringem a měřením [39; 40].

Samotná kalibrace se dělí na tzv. „makro“ a „mikro“ kalibraci. Po sestavení hydraulického modelu distribučního systému je třeba nejprve vyhodnotit jeho přesnost a upravit jeho parametry tak, aby vykazoval požadovanou shodu se skutečností [41].

„Makro“ kalibrace je proces základního nastavení vodovodního systému dle jeho vstupních dat, kterými jsou okrajové podmínky (tlakové podmínky na vstupu do systému, odběry vody v jednotlivých uzlech, prvotní nastavení armatur, zanesení ztrát vody do modelu atd.) a bilance množství vody v systému. Slouží pro dosažení požadované shody modelu se skutečností a identifikuje příčinu případných rozdílů, jako jsou nesprávné parametry modelu, chyba měřících zařízení apod. [41].

„Mikro“ kalibrace je proces zpřesnění, který u hydraulického modelu spočívá v úpravě součinitele hydraulické drsnosti, hledání příslušných místních ztrát atd. Slouží pro nalezení co nejpřesnějších parametrů modelu pro zajištění co nejlepší přesnosti samotného modelu [41].

Verifikace je pak proces velmi podobný validaci, tedy ověřování modelu, tentokrát však pro širší rozsah aplikací. V případě, že kalibrace a verifikace nejsou úspěšné, je nutné buď změnit strukturu modelu, změnit matematické formulace procesů či získat dodatečné informace o modelovaném problému [39; 40].

### **6.3 EPANET**

EPANET je celosvětově nejrozšířenější počítačový program, který je schopen provádět simulace hydraulického chování vodovodních sítí i vývoj kvality a stáří vody v čase. Byl vyvinut společností EPA a je veřejně dostupný. Jeho použití je velmi široké – od návrhu vodovodních systémů po jejich posouzení, pro návrh programu vzorkování, kalibraci hydraulického modelu, analýzu zbytkového chloru apod. Sám EPANET je jádrem jiných i komerčních výpočetních modelů, jako je např. MIKE URBAN, MIKE+ nebo Pipe2022 [28; 41]. Dalšími často používanými modely ve vodním hospodářství jsou např. SWMM (simulace srážko-odtokových vztahů), HEC-RAS (říční hydraulika), HEC-HMS (analýza srážek a odtoků), HEC-ResSim (simulace systému nádrží), HEC-FDA a HEC-FIA (analýza povodňových škod) nebo CWMS (předpovědi chování řek pro provoz nádrží v reálném čase) [43-49].

### **6.4 EpaCAD**

EpaCAD je bezplatný software, doplněk k EPANETu vyvinutý institutem ITA (Institut Tecnològic del Agua) na Technické univerzitě ve Valencii (Universitat Politècnica de València). Slouží ke snadnému převedení souborů formátu .dxf z AutoCADu do EPANETu pomocí automatického importování požadovaných základních prvků a jejich vlastností. Dle výkresu v AutoCADu program dokáže sestavit vodovodní síť z uzlů a potrubí, každému uzlu přiřadí příslušné souřadnice a určí reálné délky potrubí [50; 51].

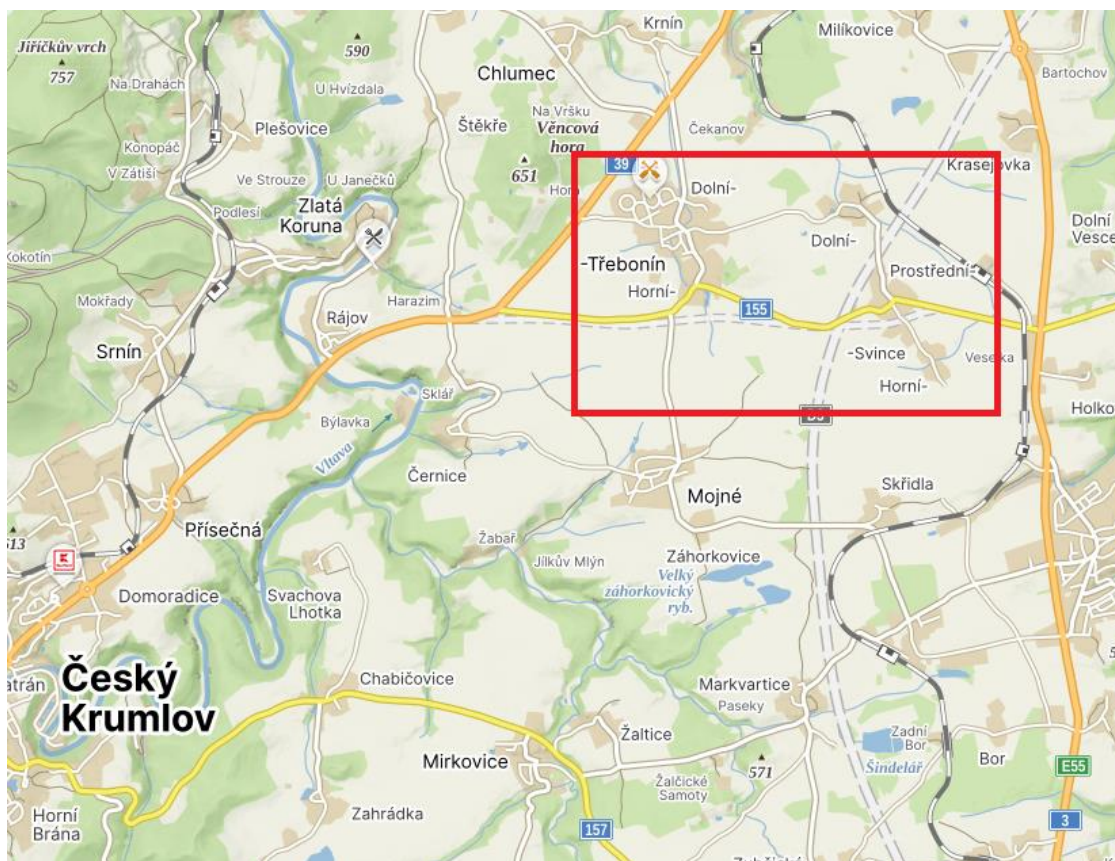


## C Praktická část

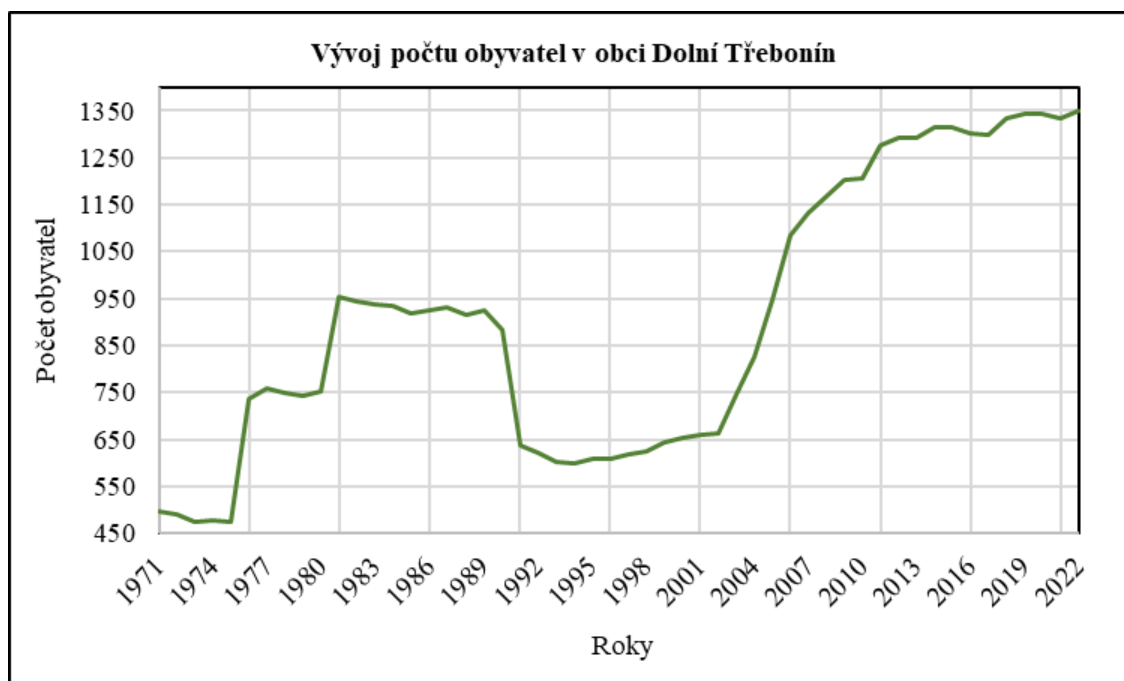
Praktická část této práce se zabývá popisem řešeného zásobovaného území, studií stávajícího systému a především tvorbou, kalibrací a následným využitím modelu vodovodní sítě v zájmové oblasti vytvořeném v EPANETu. Hlavním podkladem pro tuto část práce byla data poskytnutá provozovatelem vodovodu v obci Dolní Třebonín – výkres vodovodní sítě v zájmové oblasti v digitální formě, měřené hodnoty tlaků a průtoků ve vybraných místech sítě za dvoudenní měrnou kampaň, informace o průběhu odběrů vody během dne od jednotlivých velkoodběratelů, počet zaměstnanců či počet chovaného dobytka u velkoodběratelů atd. Dalšími důležitými podklady byly územní plán obce Dolní Třebonín, webové stránky obce, jednotlivých velkoodběratelů a provozovatele vodovodu v obci – společnosti PRVOK s.r.o.

### 1 Popis zásobovaného území

Z Obr. 12 je patrné, že obec Dolní Třebonín se nachází v Jihočeském kraji v okrese Český Krumlov, cca 9 km severovýchodně od Českého Krumlova [52]. Obec je situována v nadmořské výšce 424 m n.m., je složena z 8 částí (Štětkře, Záluží, Čertyně, Dolní Třebonín, Horní Třebonín, Dolní Svince, Prostřední Svince a Horní Svince) a její rozloha je dle katastru udána jako 2043 ha, na kterých včetně všech místních částí žilo k 1.1.2023 celkem 1353 obyvatel. Vývoj počtu obyvatel za posledních 50 let v obci Dolní Třebonín je znázorněn na Obr. 13. Zájmovým územím této diplomové práce jsou však pouze místní části Dolní a Horní Třebonín a Dolní, Prostřední a Horní Svince. V těchto místních částech je v současnosti celkem 1053 obyvatel plně zásobeno vodou z veřejného vodovodu, 1001 těchto odběratelů bydlí v Horním a Dolním Třeboníně, 52 pak v Prostředních Svincích. V době vypracovávání této diplomové práce probíhaly přípravné projekční práce na vodovodní přípojky s napojením na realizované vodovodní řady, nová vodovodní síť v Horních a Dolních Svincích nebyla v provozu a v těchto oblastech tedy nevznikaly žádné odběry [52-55].



Obr. 12: Poloha obce Dolní Třebonín [52]



Obr. 13: Graf vývoje počtu obyvatel v zájmové oblasti [56]

## 2 Popis zájmových území

### 2.1 Dolní Třebonín

Místní část Dolní Třebonín je největší částí s celkovou rozlohou 5,1 km<sup>2</sup> na severu obce Dolní Třebonín. K roku 2021 zde bylo evidováno 407 domů s celkovým počtem 1055 obyvatel [52; 53 57; 58].



Obr. 14: Zástavba rodinných domů v Dolním Třeboníně



Obr. 15: Zástavba bytových domů v Dolním Třeboníně

Co se týká občanské vybavenosti, nachází se zde obecní úřad, pošta a knihovna, dále také jeden obchod se smíšeným zbožím a jedno rekreační zařízení nabízející ubytování

o celkové kapacitě 11 lůžek. Je zde také základní a mateřská škola. Základní a mateřská škola Dolní Třebonín je malotřídkou disponující pěti třídami na ZŠ, dvěma třídami na MŠ, školní družinou a školní jídelnou. V místní části Dolní Třebonín jsou zároveň dle aktuálního územního plánu navrženy největší rozvojové zastavitelné plochy, a to především rodinných a bytových domů, ale i objektů občanské vybavenosti. Do budoucna se předpokládá rozšíření stávající vodovodní sítě připojením těchto lokalit [52; 53; 57; 58].



Obr. 16: Budova MŠ, obecního úřadu a pošty v Dolním Třeboníně



Obr. 17: Obchod se smíšeným zbožím v Dolním Třeboníně

## 2.2 Horní Třebonín

Místní část Horní Třebonín se nachází jižně od Dolního Třebonína. Celková rozloha činí 72,1 ha a k roku 2021 zde bylo evidováno 14 domů s celkovým počtem 40 obyvatel [52; 53; 57; 58].



Obr. 18: Zástavba v Horním Třeboníně

Nachází se zde zemědělské družstvo, jež se zabývá jak rostlinnou, tak živočišnou výrobou a disponuje také jídelnou. S ohledem na předpokládaný nárůst připojených obyvatel na vodovod v Horním Třeboníně se dle územního plánu uvažuje s rozšířením vodovodní sítě a s postupnou rekonstrukcí té stávající [52; 53; 57; 58].



Obr. 19: Zemědělské družstvo v Horním Třeboníně

## 2.3 Dolní Svince

Místní část Dolní Svince s celkovou rozlohou 2 km<sup>2</sup> je situována východně od Dolního Třebonína. K roku 2021 zde bylo evidováno 10 domů s celkovým počtem 26 obyvatel. V roce 2022 byla v této místní části zbudována nová vodovodní síť včetně vodovodu spojujícího Dolní a Prostřední Svince. V době vypracovávání této diplomové práce ještě nová vodovodní síť v Dolních Svincích nebyla v provozu a v této oblasti tedy nevznikaly žádné odběry. Do napojení obyvatel na veřejný vodovod jsou tedy jednotlivé nemovitosti zásobeny vodou z individuálních zdrojů [52; 53; 57; 58].

## 2.4 Prostřední Svince

Místní část Prostřední Svince se nachází jižně od Dolních Svinců. Celková rozloha této místní části činí 2 km<sup>2</sup> a k roku 2021 zde bylo evidováno 21 domů s celkovým počtem 66 obyvatel [52; 53; 57; 58].



Obr. 20: Zástavba v Prostředních Svincích

Z občanské vybavenosti se zde nachází knihovna, penzion s celkovou kapacitou 22 lůžek a zemědělské družstvo stejného majitele, jako v Horním Třeboníně. Dle územního plánu budou výhledově nové rozvojové oblasti napojeny na stávající veřejný vodovod. V roce 2022 byla dokončena realizace nového vodovodního přivaděče propojujícího vodovodní síť v Horním Třeboníně a v Prostředních Svincích [52; 57; 58].



Obr. 21: Zemědělské družstvo v Prostředních Svincích

## 2.5 Horní Svince

Horní Svince, místní část s rozlohou 1,5 km<sup>2</sup>, se nachází jižně od Prostředních Svinců. K roku 2021 zde bylo evidováno 11 domů s celkovým počtem 22 obyvatel a v roce

2022 byla v této místní části zbudována nová vodovodní síť včetně vodovodu spojujícího Horní a Prostřední Svince. V době vypracování této diplomové práce ještě nová vodovodní síť v Horních Svincích nebyla v provozu a v této oblasti tedy nevznikaly žádné odběry. Do napojení obyvatel na veřejný vodovod jsou tedy jednotlivé nemovitosti zásobeny vodou z individuálních zdrojů [52; 53; 58].



## 3 Výpočet stávající potřeby vody

V této kapitole je proveden výpočet potřeby vody pro aktuální stav, tedy současný počet obyvatel, počet objektů občanské vybavenosti, počet zaměstnanců pracujících ve službách a zemědělství apod.

### 3.1 Výpočet potřeby vody pro Dolní Třebonín

#### 3.1.1 Výpočet potřeby vody pro obyvatelstvo

Dle kapitoly 5.1 - Potřeba vody pro obyvatelstvo z části B – Teoretická část se výpočet potřeby vody skládá ze dvou složek. Těmi je potřeba vody pro bytový fond a potřeba vody pro občanskou vybavenost.

##### 3.1.1.1 Výpočet potřeby vody pro bytový fond

V Dolním Třeboníně je na vodovod napojeno 997 osob, z nichž 892 bydlí v rodinném a 105 v bytovém domě [55]. Pro jednu osobu žijící v bytovém domě jsem při výpočtu v Tab. využila hodnotu potřeby vody dle přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. ve výši  $35 \text{ m}^3/\text{os.}/\text{rok}$ , pro osobu žijící v rodinném domě pak  $36 \text{ m}^3/\text{os.}/\text{rok}$ . Rozdíl  $1 \text{ m}^3/\text{os.}/\text{rok}$  je spojen s očištěnou okolím rodinného domu. Použitím rovnice 5.2 jsem vypočítala celkovou potřebu vody pro bytový fond ve výši  $98,0 \text{ m}^3/\text{den}$ .

Tab. 5: Výpočet potřeby vody pro bytový fond

Roční potřeba vody na ob. v rod. domě ( $q_B$ )	36	$\text{m}^3/\text{os.}/\text{rok}$
Roční potřeba vody na ob. v bytovém domě ( $q_B$ )	35	$\text{m}^3/\text{os.}/\text{rok}$
Počet obyvatel žijících v rodinném domě	892	-
Počet obyvatel žijících v bytovém domě	105	-
Výsledná potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	35787	$\text{m}^3/\text{rok}$
<b>Výsledná potřeba vody pro bytový fond (<math>Q_B</math>)</b>	<b>98,0</b>	<b><math>\text{m}^3/\text{den}</math></b>

##### 3.1.1.2 Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

V Dolním Třeboníně se nachází jedna základní a mateřská škola, jídelna, obchod se smíšeným zbožím, obecní úřad, pošta, knihovna a rodinný dům sloužící jako penzion.

Základní školu Dolní Třebonín v současné době navštěvuje 47 žáků, kteří jsou vyučováni 8 učiteli v celkem pěti třídách [55; 59]. Při výpočtu potřeby vody pro tento

sektor v Tab. jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. Výsledná potřeba vody pro základní školu je 1,4 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 6: Výpočet potřeby vody pro základní školu

Počet žáků i učitelů	55	-
WC a tekoucí teplá voda	5	m <sup>3</sup> /os./200 prac. dnů za rok
Celková potřeba vody	275,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>1,4</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Mateřskou školu v Dolním Třeboníně v současné době navštěvuje 37 dětí, o které se starají 4 vychovatelé [55; 60]. Výslednou potřebou vody uvedenou v Tab. 7 pro mateřskou školu je hodnota 1,6 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 7: Výpočet potřeby vody pro mateřskou školu

Počet žáků i vychovatelů	41	-
WC a tekoucí teplá voda	8	m <sup>3</sup> /os./200 prac. dnů za rok
Celková potřeba vody	328,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>1,6</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Součástí základní školy je jídelna, ve které pracují celkem 3 zaměstnanci. Za den celkem vydají 70 jídel [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 8 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. Výslednou potřebou vody pro jídelnu je hodnota 2,8 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 8: Výpočet potřeby vody pro jídelnu

Počet zaměstnanců	3	-
Počet vydaných jídel za den	70	ks
Vaření jídla, mytí nádobí, vybavení WC, umyvadla	8	m <sup>3</sup> /strávníka/pracovníka/směna za rok
Počet směn za rok	200	-
Celková potřeba vody	560,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>2,8</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

V Dolním Třeboníně se dále nachází prodejna smíšeného zboží – Rytíř. V tomto obchodě pracuje pouze jeden zaměstnanec [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 9 jsem

opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. a to pro prodejny s čistým provozem. Výslednou potřebou vody pro obchod je hodnota 0,07 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 9: Výpočet potřeby vody pro obchod smíšeného zboží

Počet zaměstnanců	1	-
WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	18	m <sup>3</sup> /os./směna/rok
Délka směny v pondělí	9	h
Délka směny v úterý	9	h
Délka směny ve středu	9	h
Délka směny ve čtvrtek	9	h
Délka směny v pátek	9	h
Délka směny v sobotu	4	h
Počet směn za rok	327	-
Celková potřeba vody	22,6	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>0,07</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

V zájmové oblasti se dále nachází Ubytování u Moučků. Celková kapacita penzionu je 11 lůžek [61]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 10 pro tento sektor jsem znovu využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. Výslednou potřebou vody pro penzion je hodnota 1,4 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 10: Výpočet potřeby vody pro penzion

Počet lůžek	11	ks
Většina pokojů má WC a koupelnu s tekoucí teplou vodou	45	m <sup>3</sup> /lůžko/rok
Celková potřeba vody	495,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>1,4</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

V Dolním Třeboníně se dále nachází jedna pošta, ve které pracuje pouze jeden zaměstnanec [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 11 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. a to jmenovitě pro kancelářské budovy. Výslednou potřebou vody pro poštu je hodnota 0,1 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 11: Výpočet potřeby vody pro poštu

Počet zaměstnanců	1	-
WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	14	m <sup>3</sup> /os./250 prac. dnů za rok
Celková potřeba vody	14,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>0,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

V Dolním Třeboníně se nachází jedna knihovna. Ta je otevřena pouze 2 hodiny každou středu a pracuje zde pouze jeden knihovník [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 12 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. pro kancelářské budovy. Výslednou potřebou vody pro knihovnu je hodnota 0,04 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 12: Výpočet potřeby vody pro knihovnu

Počet zaměstnanců	1	-
WC, umyvadla	14	m <sup>3</sup> /stálého pracovníka/rok
Celková potřeba vody	4,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>0,04</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

A nakonec se v Dolním Třeboníně nachází obecní úřad. Pracuje zde celkem 6 zaměstnanců, a to po dobu 9 hodin v pondělí a ve středu [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 13 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. pro kancelářské budovy. Výslednou potřebou vody pro obecní úřad je hodnota 0,3 m<sup>3</sup>/rok.

Tab. 13: Výpočet potřeby vody pro obecní úřad

Počet zaměstnanců	6	-
WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	14	m <sup>3</sup> /os./250 prac. dnů za rok
Délka směny v pondělí	9	h
Délka směny ve středu	9	h
Celková potřeba vody	84,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>0,3</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Pro zjištění celkové potřeby vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ) jsem sečetla všechny dílčí potřeby z Tab.6 až Tab.13, viz Tab. 14.

Tab. 14: Celková potřeba vody pro občanskou vybavenost

Potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ )	1783	$m^3/rok$
<b>Celková potřeba vody pro občanskou vybavenost (<math>Q_{OV}</math>)</b>	<b>8</b>	<b><math>m^3/den</math></b>

Celková potřeba vody pro obyvatelstvo ( $Q_O$ ) uvedená v Tab. 15 se vypočte dle rovnice 5.1. Je to součet potřeby vody pro bytový fond ( $Q_B$ ) a pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ). Výslednou celkovou potřebou vody pro obyvatelstvo je hodnota  $106 m^3/den$ .

Tab. 15: Celková potřeba vody pro obyvatelstvo

Potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	98,0	$m^3/den$
Potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ )	8	$m^3/den$
<b>Celková potřeba vody pro obyvatelstvo (<math>Q_O</math>)</b>	<b>106</b>	<b><math>m^3/den</math></b>

## 3.2 Výpočet potřeby vody pro Horní Třebonín

### 3.2.1 Výpočet potřeby vody pro obyvatelstvo

#### 3.2.1.1 Výpočet potřeby vody pro bytový fond

V Horním Třeboníně žije 40 osob v rodinných domech, přičemž pouze 4 z nich jsou zásobeni pitnou vodou z veřejného vodovodu. Ostatní rodinné domy odebírají pitnou vodu z vlastních zdrojů [55]. Použitím rovnice 5.2 jsem vypočítala celkovou potřebu vody pro bytový fond ve výši  $0,4 m^3/den$ .

Tab. 16: Výpočet potřeby vody pro bytový fond

Roční potřeba vody na ob. v rod. domě ( $q_B$ )	36	$m^3/os./rok$
Počet obyvatel žijících v rodinném domě	4	-
Výsledná potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	144	$m^3/rok$
<b>Výsledná potřeba vody pro bytový fond (<math>Q_B</math>)</b>	<b>0,4</b>	<b><math>m^3/den</math></b>

### 3.2.1.2 Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

V Horním Třeboníně se nachází zemědělské družstvo orientující se jak na rostlinnou, tak na živočišnou výrobu. Součástí zemědělského družstva je i jídelna, která denně vydá 90 jídel, v době žní pak vydává i svačiny [55]. Při výpočtu potřeby vody pro tento sektor v Tab. 17 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. Výsledná potřeba vody pro jídelnu je 2,8 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 17: Výpočet potřeby vody pro jídelnu

Počet zaměstnanců	2	-
Počet vydaných jídel za den	90	ks
Vaření jídla, mytí nádobí, vybavení WC, umyvadla	8	m <sup>3</sup> /strávníka/pracovníka/směna za rok
Počet směn za rok	260	-
Celková potřeba vody	720,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>2,8</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

### 3.2.2 Výpočet potřeby vody pro zemědělství

Dle kapitoly 5.3 - Potřeba vody pro zemědělství z části B – Teoretická část se výpočet potřeby vody pro tento sektor skládá ze dvou dílčích složek. Těmi je potřeba vody pro živočišnou výrobu a potřeba vody pro pracovníky v zemědělství.

#### 3.2.2.1 Výpočet potřeby vody pro živočišnou výrobu

V ZD Horní Třebonín je chováno 370 kusů dobytka, z toho 330 dojníc a 40 telat [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 18 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. Výslednou celkovou potřebou vody pro živočišnou výrobu je hodnota 34,5 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 18: Výpočet potřeby vody pro zemědělskou živočišnou výrobu

Počet dojnic	330	ks
Počet telat	40	ks
Potřeba vody pro zemědělskou živ. potřebu pro dojnici ( $q_{hz}$ )	36	$m^3/ks/rok$
Potřeba vody pro zemědělskou živ. potřebu pro tele ( $q_{hz}$ )	6	$m^3/ks/rok$
Celková potřeba vody pro zemědělskou živ. výrobu ( $Q_{hz}$ )	12600	$m^3/rok$
<b>Výsledná potřeba vody pro zemědělskou živ. výrobu (<math>Q_{hz}</math>)</b>	<b>34,5</b>	<b><math>m^3/den</math></b>

### 3.2.2.2 Výpočet potřeby vody pro pracovníky v zemědělství

Zemědělské družstvo zaměstnává celkem 29 zaměstnanců. 9 je zaměřeno na rostlinnou výrobu, 12 na živočišnou výrobu, 2 pracují v kuchyni, 4 jsou technici a 2 zaměstnanci pracují v účtárně [55]. U prvních 21 pracovníků a 4 techniků bylo uvažováno, že pracují denně 8 hodin ve špinavém provozu. U 2 účetních jsem pak uvažovala pracovní dobu 8 hodin po dobu 260 dní v roce, a to pouze v čistém provozu [55].

Výslednou potřebou vody pro pracovníky v zemědělství ve špinavém provozu uvedenou v Tab. 19 je hodnota 3,1  $m^3/den$ .

Tab. 19: Výpočet potřeby vody pro pracovníky v zemědělství ve špinavém provozu

Délka směny	8	hodin
Specifická potřeba vody u špinavého provozu	120	$l/os./směna$
Pití	5	$l/os./směna$
Celková potřeba vody ve špinavém provozu	125	$l/os./směna$
Počet směn v roce	365	-
Počet pracovníků v zemědělství ve špinavém provozu ( $PP_{zem.}$ )	25	-
<b>Výsledná potřeba vody ve špinavém provozu</b>	<b>3,1</b>	<b><math>m^3/den</math></b>

Výslednou potřebou vody pro pracovníky v zemědělství v čistém provozu uvedenou v Tab. 20 je hodnota 0,1 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 20: Výpočet potřeby vody pro pracovníky v zemědělství v čistém provozu

Délka směny	8	hodin
Specifická potřeba vody u čistého provozu	50	l/os./směna
Pití	5	l/os./směna
Celková potřeba vody v čistém provozu	55	l/os./směna
Počet směn v roce	260	
Počet pracovníků v zemědělství v čistém provozu ( $PP_{zem.}$ )	2	-
<b>Výsledná potřeba vody v čistém provozu</b>	<b>0,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Výslednou celkovou potřebou vody pro pracovníky v zemědělství uvedenou v Tab. 21 je hodnota 3,2 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 21: Výpočet potřeby vody pro pracovníky v zemědělství

Výsledná potřeba vody ve špinavém provozu	3,1	m <sup>3</sup> /den
Výsledná potřeba vody v čistém provozu	0,1	m <sup>3</sup> /den
<b>Výsledná celková potřeba vody pro pracovníky v zemědělství</b>	<b>3,2</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Výslednou celkovou potřebou vody pro zemědělství uvedenou v Tab. 22 je hodnota 37,7 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 22: Výpočet potřeby vody pro zemědělství

Výsledná potřeba vody pro zemědělskou živ. výrobu ( $Q_{hz}$ )	34,5	m <sup>3</sup> /den
Výsledná celková potřeba vody pro pracovníky v zemědělství	3,2	m <sup>3</sup> /den
<b>Výsledná celková potřeba vody pro zemědělství</b>	<b>37,7</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>



### 3.3 Výpočet potřeby vody pro Prostřední Svince

#### 3.3.1 Výpočet potřeby vody pro obyvatelstvo

##### 3.3.1.1 Výpočet potřeby vody pro bytový fond

V Prostředních Svincích je na vodovod napojeno 52 osob, které žijí v rodinných domech [55]. Použitím rovnice 5.2 jsem vypočítala celkovou potřebu vody pro bytový fond ve výši 5,1 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 23: Výpočet potřeby vody pro bytový fond

Roční potřeba vody na ob. v rod. domě ( $q_B$ )	36	m <sup>3</sup> /os./rok
Počet obyvatel žijících v rodinném domě	52	-
Výsledná potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	1872	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody pro bytový fond (<math>Q_B</math>)</b>	<b>5,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

##### 3.3.1.2 Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

V Prostředních Svincích se v současné době nachází jeden penzion a knihovna.

Celková kapacita Pensionu Kolo je 22 lůžek [62]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 24 pro tento sektor jsem znovu využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. Výslednou potřebou vody pro penzion je hodnota 2,7 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 24: Výpočet potřeby vody pro penzion

Počet lůžek	22	ks
Většina pokojů má WC a koupelnu s tekoucí teplou vodou	45	m <sup>3</sup> /lůžko/rok
Celková potřeba vody	990,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>2,7</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Knihovna v Prostředních Svincích je otevřena pouze 2 hodiny každé pondělí a pracuje zde pouze jeden knihovník [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 25 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. pro kancelářské budovy. Výslednou potřebou vody pro knihovnu je hodnota 0,04 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 25: Výpočet potřeby vody pro knihovnu

Počet zaměstnanců	1	-
WC, umyvadla	14	m <sup>3</sup> /stálého pracovníka/rok
Celková potřeba vody	4,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody</b>	<b>0,04</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Pro zjištění celkové potřeby vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ) jsem sečetla obě dílčí potřeby z Tab.24 a Tab.25, viz Tab. 26.

Tab. 26: Celková potřeba vody pro občanskou vybavenost

Potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ )	994,0	m <sup>3</sup> /rok
<b>Celková potřeba vody pro občanskou vybavenost (<math>Q_{OV}</math>)</b>	<b>2,7</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

Celková potřeba vody pro obyvatelstvo ( $Q_O$ ) uvedená v Tab. 26 se vypočte dle rovnice 5.1. Je to součet potřeby vody pro bytový fond ( $Q_B$ ) a pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ). Výslednou celkovou potřebou vody pro obyvatelstvo je hodnota 7,9 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 27: Celková potřeba vody pro obyvatelstvo

Potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	5,1	m <sup>3</sup> /den
Potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ )	2,7	m <sup>3</sup> /den
<b>Celková potřeba vody pro obyvatelstvo (<math>Q_O</math>)</b>	<b>7,9</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

### 3.3.2 Výpočet potřeby vody pro zemědělství

#### 3.3.2.1 Výpočet potřeby vody pro živočišnou výrobu

V ZD Prostřední Svince, jež patří stejnému majiteli jako ZD Horní Třebonín, je chováno 110 kusů dobytka. Jedná se především o jalovice ve stáří od 8 do 15 měsíců [55]. Při výpočtu potřeby vody v Tab. 28 jsem opět využila hodnoty z přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb., kdy jsem uvažovala, že jalovice má stejnou roční potřebu

vody jako býk. Výslednou celkovou potřebou vody pro živočišnou výrobu je hodnota 5,4 m<sup>3</sup>/den.

Tab. 28: Výpočet potřeby vody pro zemědělskou živočišnou výrobu

Počet jalovic	110	ks
Potřeba vody pro zemědělskou živ. potřebu pro býka ( $q_{hz}$ )	18	m <sup>3</sup> /ks/rok
Celková potřeba vody pro zemědělskou živ. výrobu ( $Q_{hz}$ )	1980	m <sup>3</sup> /rok
<b>Výsledná potřeba vody pro zemědělskou živ. výrobu (<math>Q_{hz}</math>)</b>	<b>5,4</b>	<b>m<sup>3</sup>/den</b>

V ZD Prostřední Svince pracují ti samí pracovníci, jako v ZD Horní Třebonín. Protože ale sídlo celého zemědělského družstva je právě v Horním Třeboníně, potřebu vody pro zaměstnance jsem započítala pouze v Horním Třeboníně a již ne v Prostředních Svincích, kde je pouze ustájen dobytek.

## 4 Porovnání vypočtených a naměřených hodnot

Na základě vypočtených denních potřeb vody pro jednotlivé místní části a pro jednotlivé sektory jsem následně provedla porovnání těchto hodnot se skutečně naměřenými odběry v době probíhající měrné kampaně. Toto porovnání je provedeno níže v Tab. 28 až Tab. 33.

### 4.1 Dolní Třebonín

Pro srovnání vypočtených hodnot a hodnot skutečných je nejprve třeba provést shrnutí dat, viz Tab. 29. Pro toto porovnání jsem do tabulky zanesla vypočtené hodnoty potřeby vody pro celý bytový fond a pro souhrn občanské vybavenosti pouze pro obchod, penzion a poštu a samostatně pro mateřskou školu. V rámci měrné kampaně, která probíhala v době podzimních prázdnin v pátek a v sobotu, byl jednou denně odečten vodoměr u mateřské školy a zároveň v době měrné kampaně nebyla v provozu základní škola, jídelna, knihovna ani obecní úřad.

Tab. 29: Souhrn vypočtených hodnot potřeb vody

Vypočtená potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	98,0	$m^3/\text{den}$
Vypočtená potřeba vody pro vybranou občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ )	1,6	$m^3/\text{den}$
Vypočtená potřeba vody pro vybranou občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ) a bytový fond ( $Q_B$ )	99,6	$m^3/\text{den}$
Vypočtená potřeba vody pro MŠ ( $Q_{OV, MŠ}$ )	1,6	$m^3/\text{den}$

Skutečné hodnoty odběrů pro bytový fond a tuto vybranou občanskou jsem zjistila z měření probíhajícího ve dnech 27.10.2023 od 0:00 do 28.10.2023 23:59 viz Tab. 30. Pro porovnání jsem vytvořila průměrnou hodnotu denních odběrů za dobu probíhající měrné kampaně.

Tab. 30: Skutečné hodnoty odběrů pro jednotlivé sektory v době měrné kampaně

Skutečné odběry vody pro vybranou občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ) a bytový fond ( $Q_B$ )	78,4	$m^3/\text{den}$
Skutečné odběry vody pro MŠ ( $Q_{OV, MŠ}$ )	1,3	$m^3/\text{den}$

Z Tab. 29 a Tab. 30 je patrné, že vypočtené hodnoty jsou vyšší než hodnoty skutečně naměřených odběrů v daném období. Pro výhledové stavy je tedy bezpečné a vhodné použít výpočet dle Směrnice č. 9/1973 a Přílohy č. 12 k vyhlášce č. 428/2001.

## 4.2 Horní Třebonín

Pro srovnání vypočtených hodnot a hodnot skutečných je nejprve třeba provést shrnutí dat, viz Tab. 31.

Tab. 31: Souhrn vypočtených hodnot potřeb vody

Vypočtená potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	0,4	m <sup>3</sup> /den
Vypočtená potřeba vody pro jídelnu a ZD	40,5	m <sup>3</sup> /den

Skutečné hodnoty odběrů pro bytový fond a tuto vybranou občanskou vybavenost jsem zjistila z měření probíhajícího ve dnech 27.10.2023 od 0:00 do 28.10.2023 23:59 viz Tab. 32. Pro porovnání jsem vytvořila průměrnou hodnotu denních odběrů za dobu probíhající měrné kampaně.

Tab. 32: Skutečné hodnoty odběrů pro jednotlivé sektory v době měrné kampaně

Skutečné odběry vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	0,2	m <sup>3</sup> /den
Skutečné odběry vody pro jídelnu a ZD	47,1	m <sup>3</sup> /den

Z Tab. 31 a Tab. 32 je patrné, že vypočtené hodnoty potřeby vody pro bytový fond jsou vyšší než hodnoty skutečně naměřených odběrů v daném období. Pro výhledové stavy je tedy bezpečné a vhodné použít pro bytový fond výpočet dle Směrnice č. 9/1973. Dále je ale také patrné, že vypočtená potřeba vody pro jídelnu zemědělského družstva a pro samotné zemědělské družstvo je nižší než skutečný odběr. Důvodem může být to, že pracovníci zemědělského družstva využívají odebranou pitnou vodu z vodovodu i pro oplachy pracovních ploch a zemědělských strojů. Dalším případným důvodem tohoto rozdílu je používání automatických napáječek, u kterých zvířeti stačí pouze stlačit určitý mechanismus v napáječce pro to, aby do ní natekla voda. Tímto způsobem není možné přesně kontrolovat množství natékané vody do napáječek a může se stát, že velký objem vody proteče bez toho, aniž by byl skutečně zvířetem využit.

### 4.3 Prostřední Svince

Pro srovnání vypočtených hodnot a hodnot skutečných je nejprve třeba provést shrnutí dat, viz Tab. 33.

Tab. 33: Souhrn vypočtených hodnot potřeb vody

Vypočtená potřeba vody pro bytový fond ( $Q_B$ )	5,1	$m^3/\text{den}$
Vypočtená potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ )	2,7	$m^3/\text{den}$
Vypočtená potřeba vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ) a bytový fond ( $Q_B$ )	7,9	$m^3/\text{den}$
Vypočtená potřeba vody pro zemědělství	5,4	$m^3/\text{den}$

Skutečné hodnoty odběrů pro bytový fond a tuto vybranou občanskou vybavenost jsem zjistila z měření probíhajícího ve dnech 27.10.2023 od 0:00 do 28.10.2023 23:59 viz Tab. 34. Pro porovnání jsem vytvořila průměrnou hodnotu denních odběrů za dobu probíhající měrné kampaně.

Tab. 34: Skutečné hodnoty odběrů pro jednotlivé sektory v době měrné kampaně

Skutečné odběry vody pro občanskou vybavenost ( $Q_{OV}$ ) a bytový fond ( $Q_B$ )	3,7	$m^3/\text{den}$
Skutečné odběry vody pro zemědělství	3,0	$m^3/\text{den}$

Z Tab. 33 a Tab. 34 je patrné, že vypočtené hodnoty jsou vyšší než hodnoty skutečně naměřených odběrů v daném období. Pro výhledové stavy je tedy bezpečné a vhodné použít výpočet dle Směrnice č. 9/1973 a Přílohy č. 12 k vyhlášce č. 428/2001.

## 5 Tvorba modelu v programu EPANET

### 5.1 Popis vodovodního systému

Místní části obce jsou v současné době zásobovány pitnou vodou z Vodárenské soustavy Jižní Čechy upravované na úpravně vody Plav. Předávacím místem zájmového území je šachta Mojnë, kde se konstantně měří průtok a tlak. Z této šachty voda pokračuje do Horního Třebonína, kde se vodovodní síť rozděluje – jedna větev pokračuje do Dolního Třebonína, další do Prostředních Svinců. Na nátoku do Prostředních Svinců se nachází bývalá úpravna vody s osazenými čidly pro měření průtoku a tlaku.

V Prostředních Svincích se vodovodní síť rozdvouje a pokračuje do Dolních a Horních Svinců. Část Dolního Třebonína je zásobena pitnou vodou napřímo, část je pak zásobena vodou vedenou přes redukční ventil se známou konstantní hodnotou výstupního tlaku. Tato redukovaná větev vodovodní sítě následně pokračuje až do vodojemu Záluží, který slouží pro zásobení obce Záluží a Chlumeč mimo zájmové území.



Obr. 22: Redukční ventil

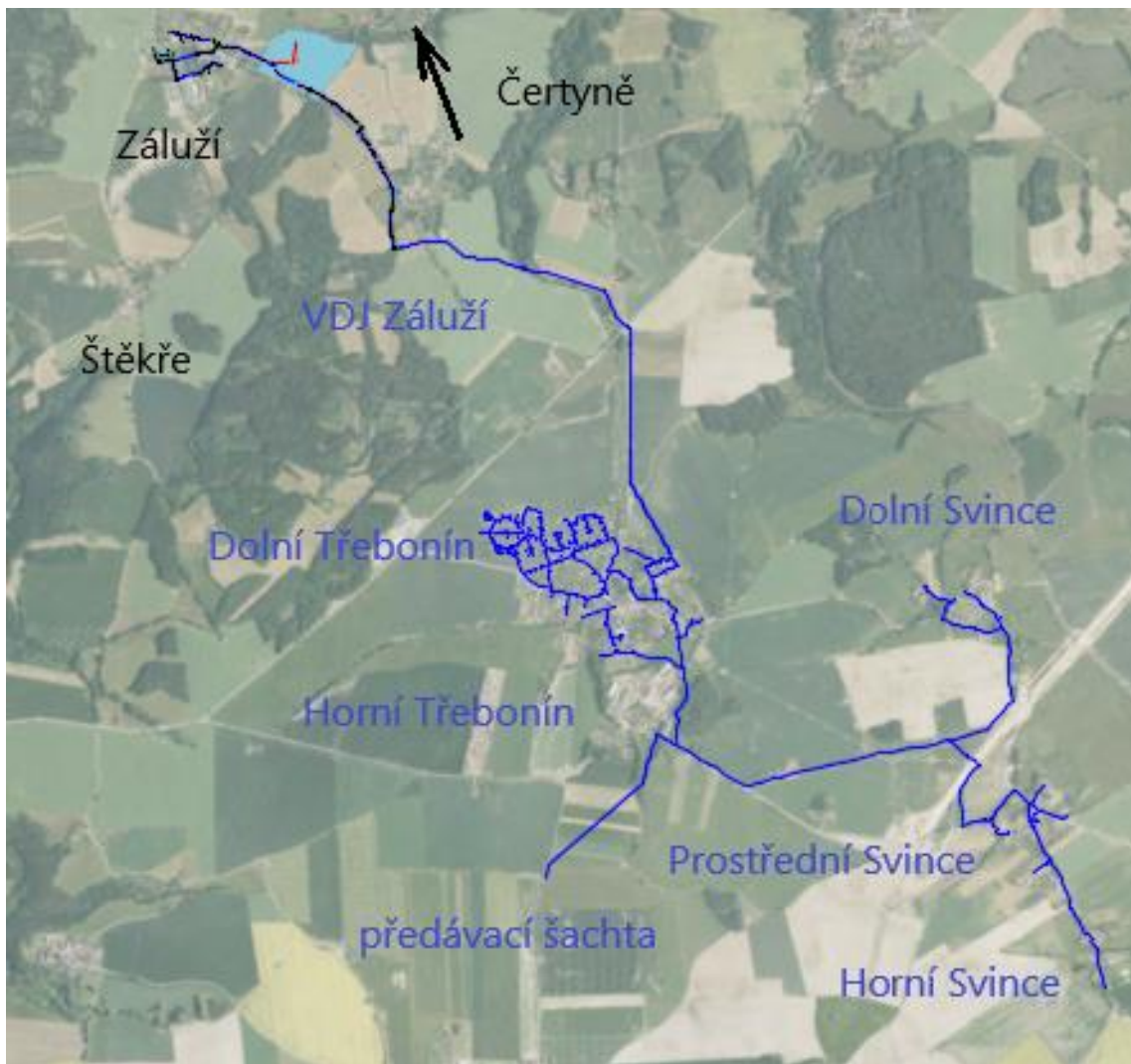
Vodojem Záluží je zemní vodojem s jednou komorou o celkovém objemu 150 m<sup>3</sup>, maximální hladinou v úrovni 560,25 m n.m. a minimální hladinou v úrovni 556,47 m n.m. Je plněn horem přes redukční ventil a kontinuálně se měří nátok do vodojemu, odtok do spotřebiště a úroveň hladiny vody v nádrži.



Obr. 23: Vodojem Záluží

Schéma celé vodovodní sítě je zobrazeno na Obr. 24. Modře jsou zde označeny místní části obce a objekty řešené v rámci této diplomové práce.





Obr. 24: Obec Dolní Třebonín a její vodovodní síť

Většina vodovodního řadu v Dolním Třeboníně je realizována z polyethylénu (PE) DN 110, 125 nebo 63, některé části vodovodu jsou pak z ocele (OC) 200, polyvinylchloridu (PVC) 110 a litiny (LT) 80, 100 a 200. Vodovodní síť Horního Třebonína je pak vybudována z litiny (LT) 200. Vodovod mezi Horním Třebonínem a Svincemi je polyethylénový (PE) 90. Rozvodná síť v Dolních Svincích je z polyethylénu (PE) 63, v Prostředních Svincích z polyethylénu (PE) 90, 63, 50 a 32 a v Horních Svincích z polyethylénu (PE) 63. Až do tohoto roku jsou místní části Dolní a Horní Svince zásobeny vodou z vlastních zdrojů. V současné době je v těchto místech již vybudována nová vodovodní síť, ale v době vypracovávání této diplomové však stále ještě není uvedena do provozu [55].

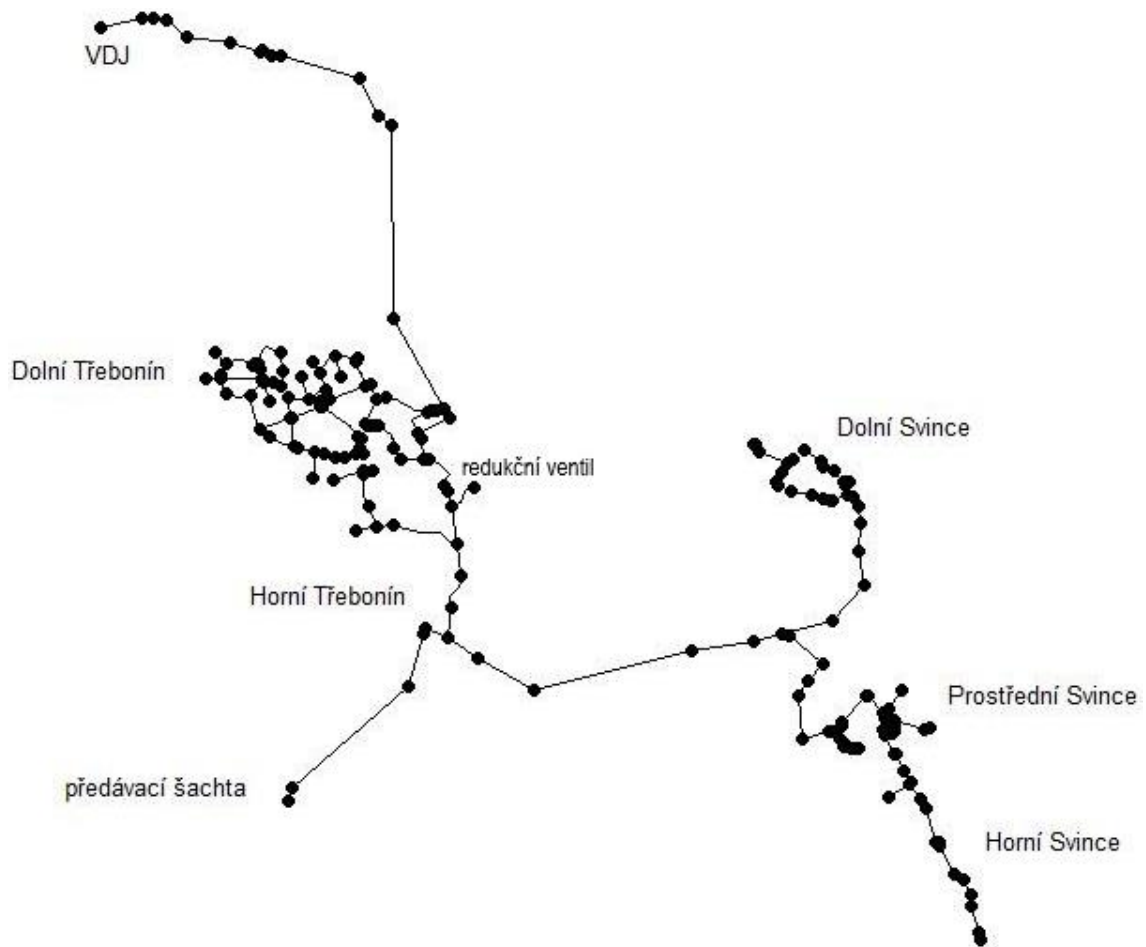
## 5.2 Tvorba matematického modelu

Matematický model zájmového území jsem vytvořila v programu EPANET 2.2 s využitím doplňkového softwaru EpaCAD. Pomocí softwaru EpaCAD jsem převedla výkres vodovodní sítě poskytnutý provozovatelem v digitální formě do EPANETu, a to včetně skutečných délek jednotlivých úseků potrubí sítě s ohledem na požadavek provozovatele na co nejmenší odchylku modelované situace od poskytnutých podkladů. Pro přehlednější práci s modelem jsem následně do EPANETu přidala podkladovou ortofoto mapu území a model schematizovala, jak je uvedeno na Obr. 25 a 26.



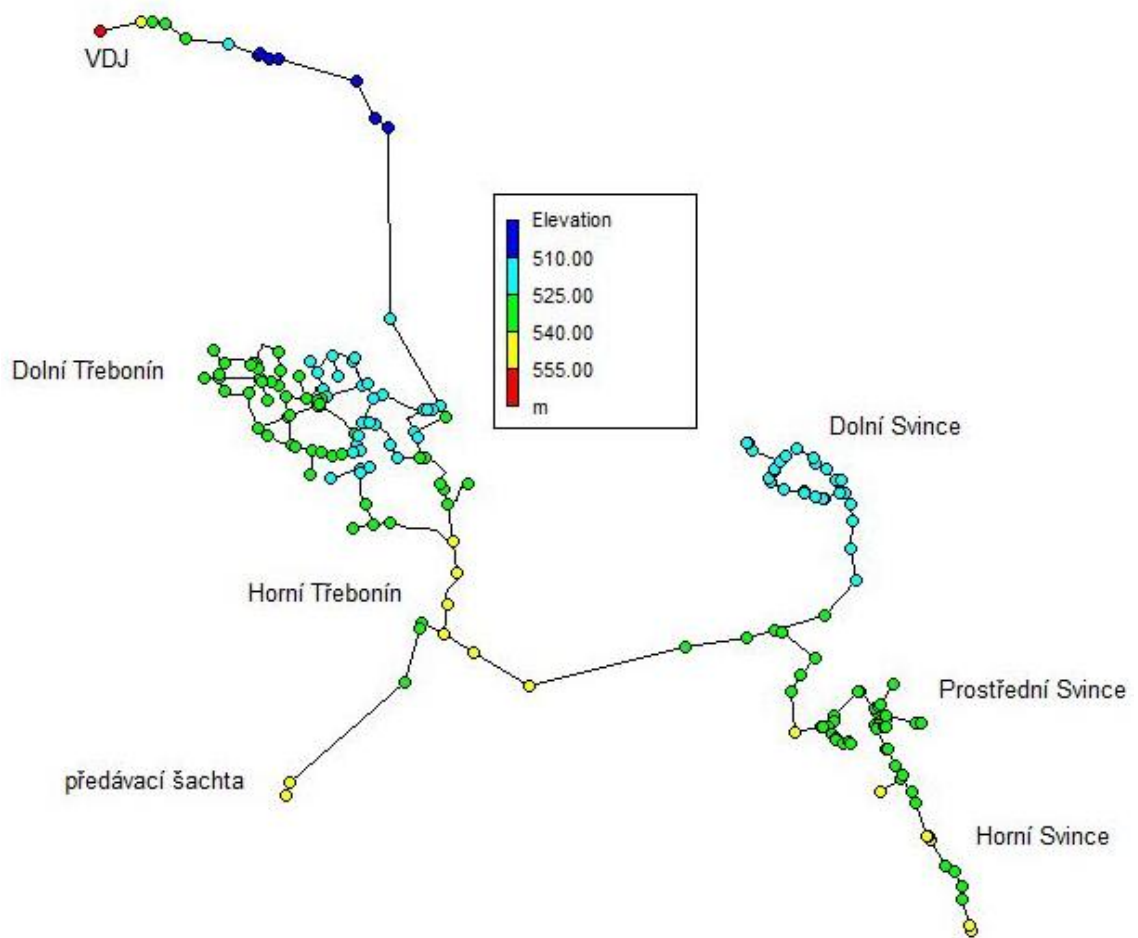
Obr. 25: Model vodovodní sítě s podkladovou ortofoto mapou

Vodojem v tomto modelu byl uvažován jen jako odběrné místo, protože zásobuje obec Záluží a Chlumec za řešeným územím a ze zájmové oblasti do něj pouze voda natéká.



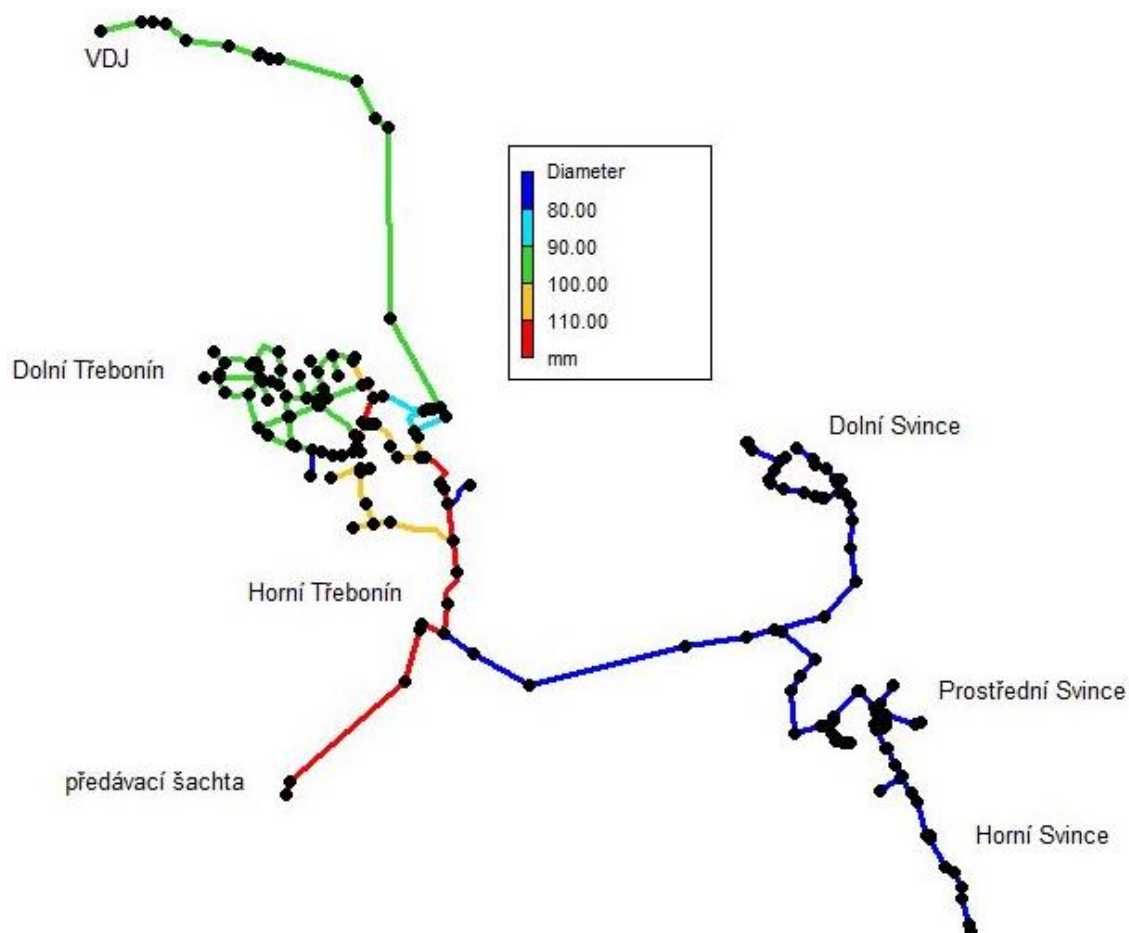
Obr. 26: Model vodovodního systému

Jednotlivým uzlům sítě jsem následně přiřadila výšku zjištěnou z analýzy výškopisu a odečtené průměrné hloubky uložení potrubí. Dle informací provozovatele je vodovodní potrubí v místních částech Horní a Dolní Třebonín a Prostřední Svinice uloženo v hloubce 1,25 m pod terénem, nově zbudovaný vodovod v místních částech Horní a Dolní Svinice pak v hloubce 1,4 m. Tyto nadmořské výšky jsou uvedeny na Obr. 27.



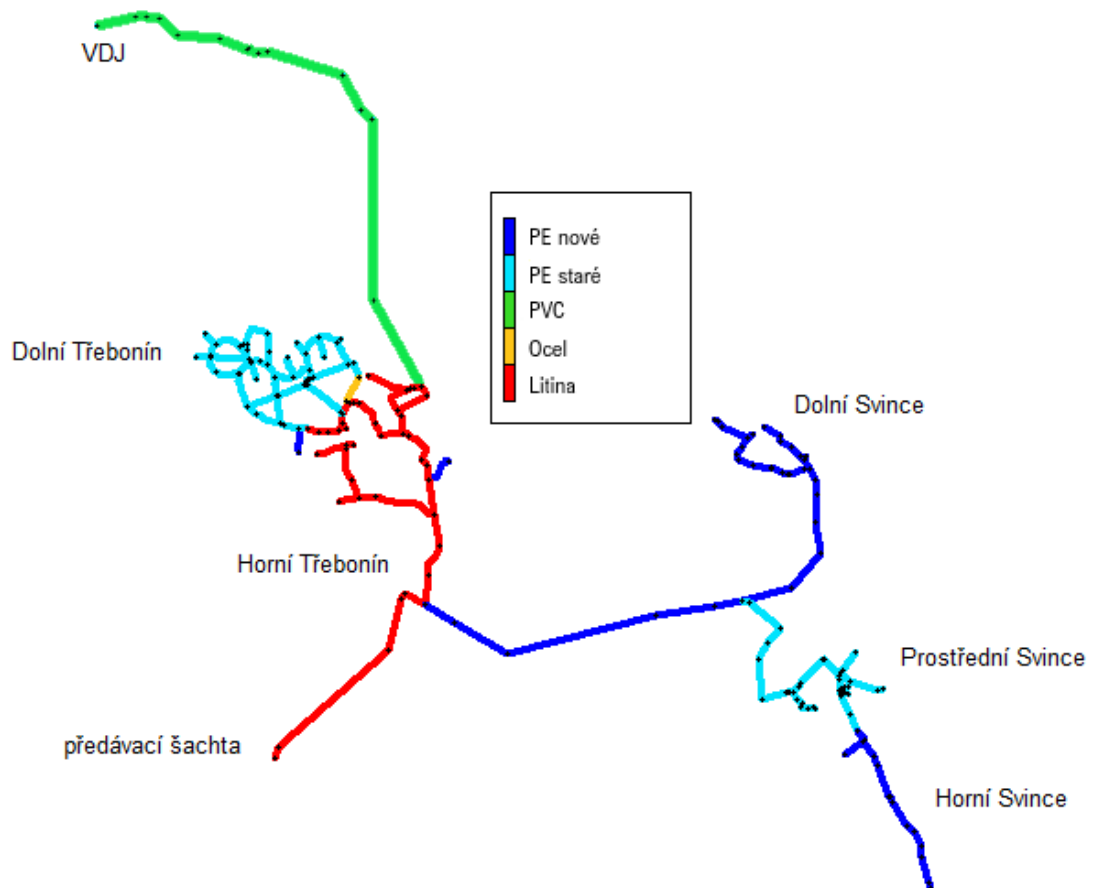
Obr. 27: Nadmořské výšky jednotlivých bodů modelu

Následně jsem jednotlivým úsekům potrubí přiřadila příslušné dimenze, viz Obr. 28.



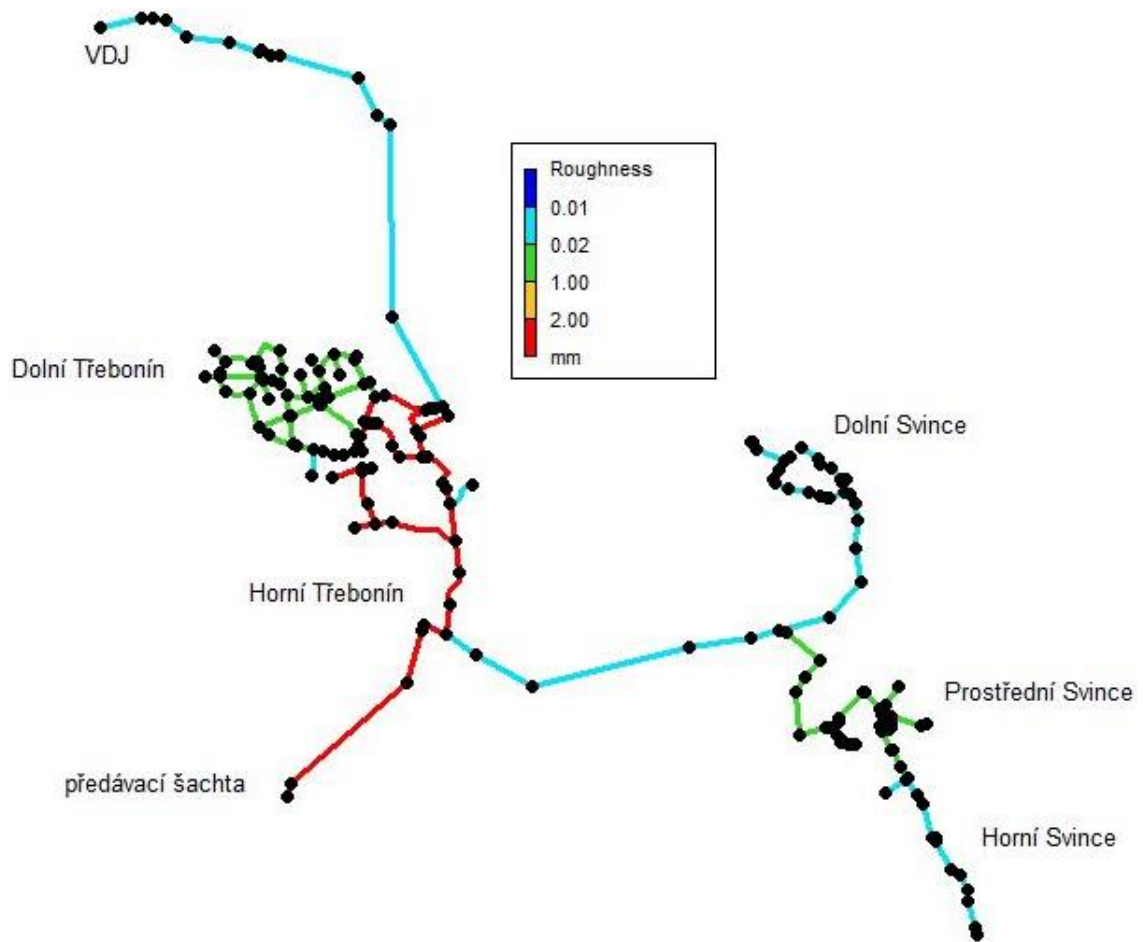
Obr. 28: Průměry jednotlivých potrubí ve vodovodním systému

Pro prvotní sestavení modelu jsem předpokládala drsnost ocelových a litinových trub jako hodnotu 2 mm, drsnost trub z PVC a PE pak 0,02 mm.



Obr. 29: Materiály potrubí

V případě nově zbudovaných potrubí v Horních a Dolních Svincích, přivaděče z Horního Třebonína do Prostředních Svinců a několika nových PE potrubí v Dolním Třeboníně jsem pak kvůli nízkému stáří potrubí zvolila drsnost 0,01 mm. Rozdělení těchto drsností v modelu je uvedeno na Obr. 30.

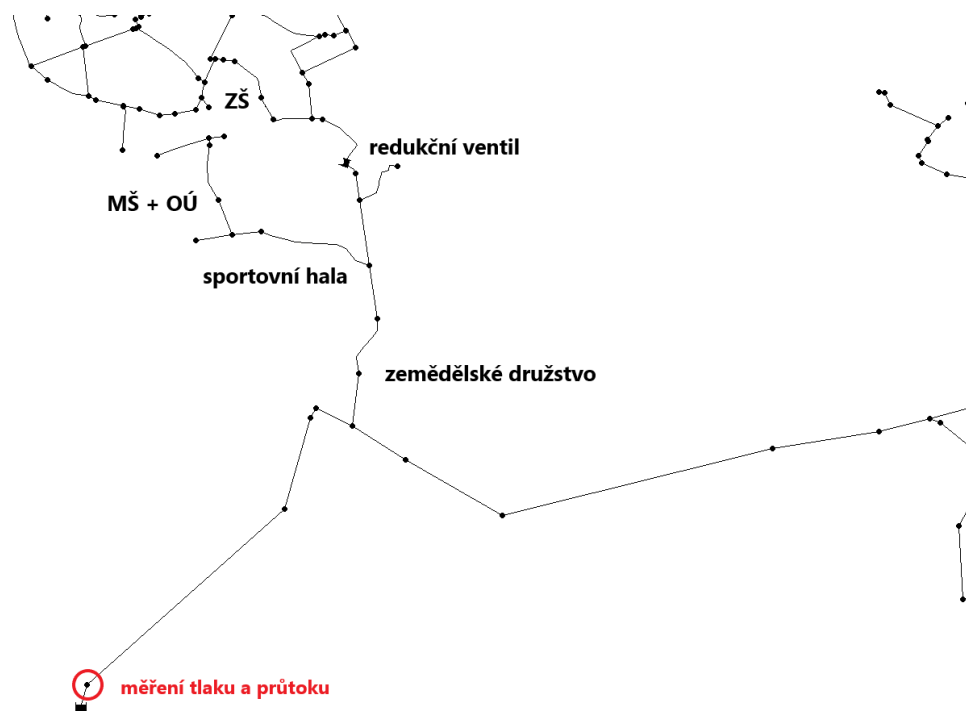


Obrázek 30: Prvotně zadané drsnosti jednotlivých potrubí

Podle nátoků měřených v rozmezí 27.10.2023 0:00 až 28.10.2023 23:59 do předávací šachty Mojné, do Prostředních Svinců (průtok měřený v zaniklé úpravně vody), podle odtoků do VDJ Záluží a podle odečtených denních odběrů z vodoměrů u ZD Horní Třebonín a Prostřední Svince a u MŠ Dolní Třebonín jsem následně do modelu rozdělila jednotlivé odběry, viz níže.

### 5.3 Měrná kampaň

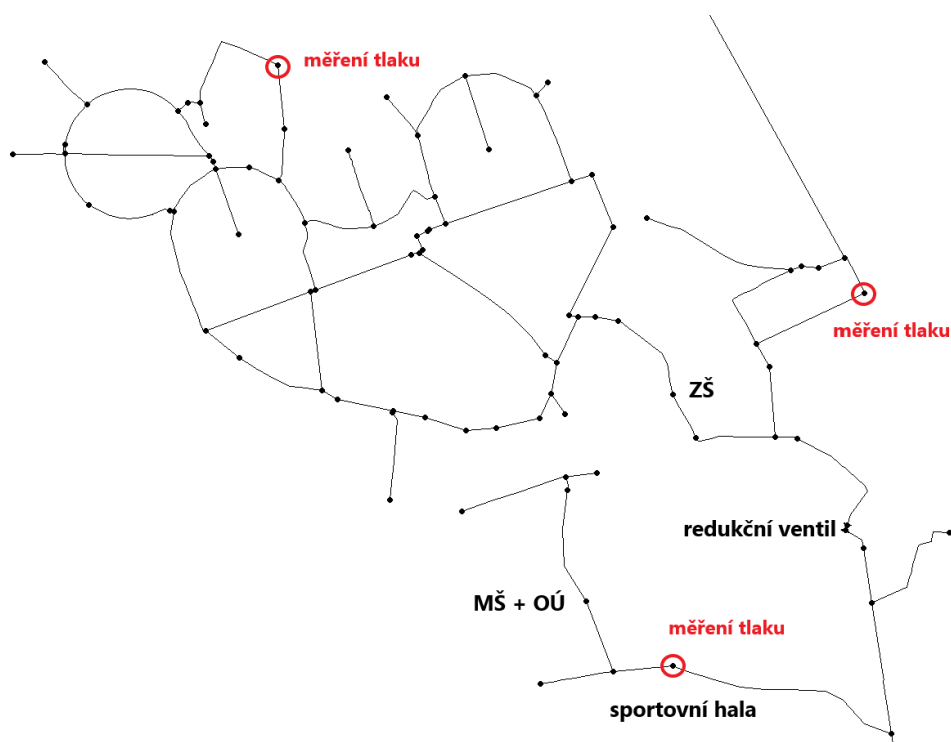
Jak již bylo uvedeno výše, měrná kampaň probíhala ve dvou dnech, a to od pátku 27.10.2023 0:00 do soboty 28.10.2023 23:59. V předávací šachtě Mojné (viz Obr. 31) byl kontinuálně měřen průtok a tlak s ukládáním průměrných hodnot jednou za 10 minut.



Obr. 31: Umístění měřicích zařízení v předávací šachtě Mojnë

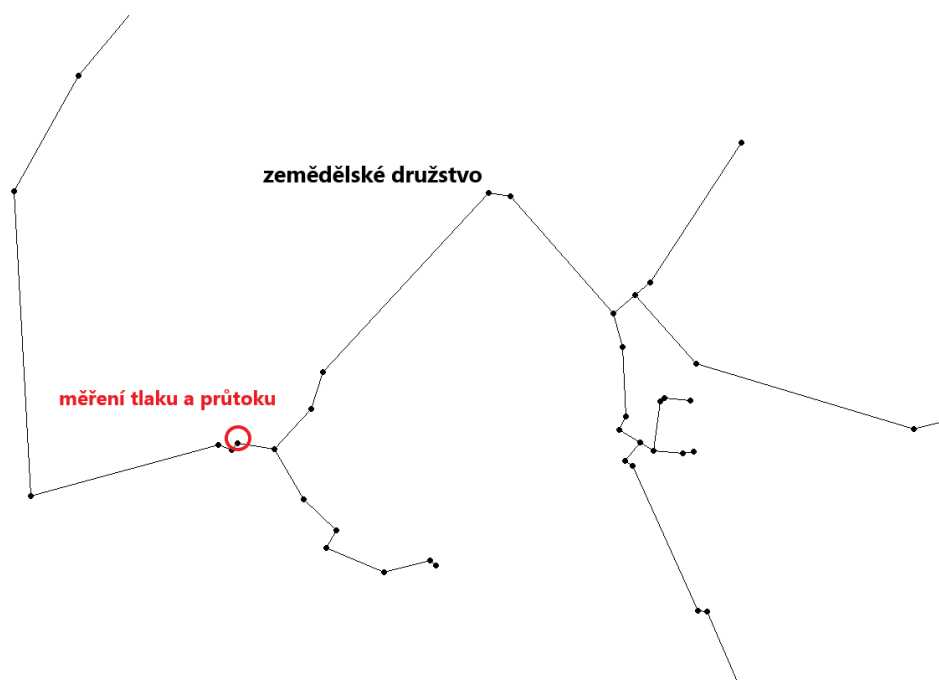
Na vodovodní síti v Dolním Třeboníně byly rozmístěny tři tlakoměry tak, aby byly podchyceny tlakové podmínky v co největším rozsahu sítě. Dva z nich byly umístěny na podzemní hydranty v oblasti za redukčním ventilem, jak je uvedeno na Obr. 32. Třetí tlakoměr byl umístěn na vnitřní rozvody nové sportovní haly, která zatím nezahájila svůj úplný provoz.





Obr. 32: Umístění měřicích zařízení v Dolním Třeboníně

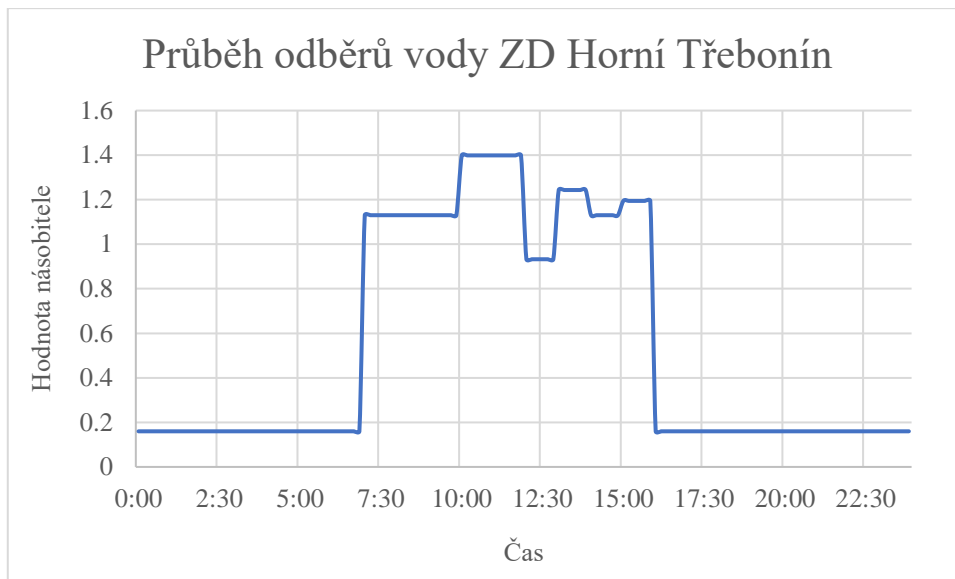
Hydrantové tlakoměry použité při měření byly typu Sebalog P-3-1 a měřily minutové hodnoty tlaků. Tlakoměr instalovaný ve sportovní hale byl také nastaven na zaznamenávání minutových hodnot. Pro jednotnost jsem následně tyto minutové záznamy z dataloggeru průměrovala po deseti minutách a v této podobě jsem je i zanesla do modelu. Posledním měrným místem byla budova bývalé úpravní vody v Prostředních Svincích uvedená na Obr. 33, kde byl měřen kontinuálně průtok i tlak zaznamenávaný v průměrných desetiminutových hodnotách.



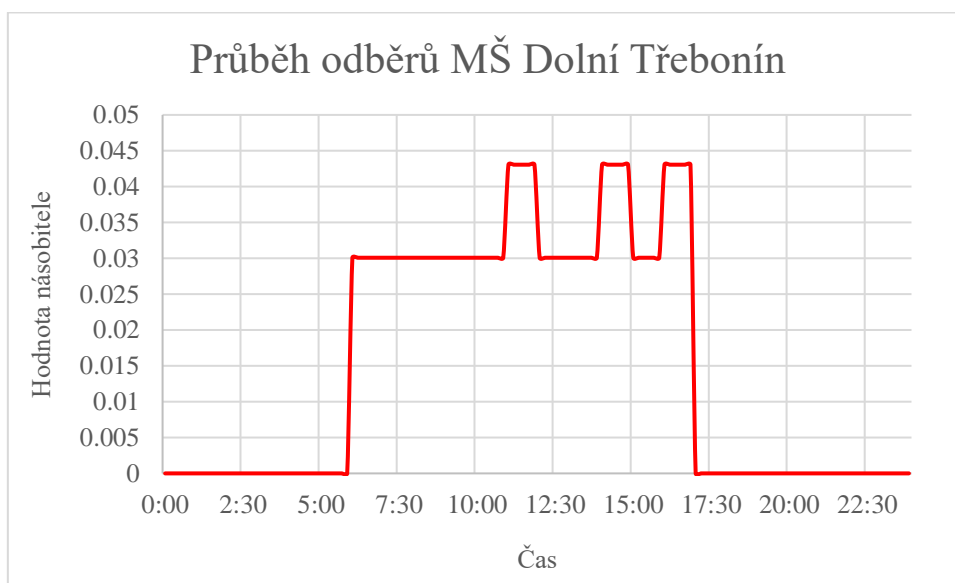
Obr. 33: Umístění měřicích zařízení v bývalé úpravně vody

### 5.3.1 Vyhodnocení měrné kampaně

Na základě měřených nátoků do zájmové oblasti a známých průtoků v bývalé úpravně v Prostředních Svincích a nátoků do vodojemu Záluží jsem určila celkové odběry v Dolním a Horním Třeboníně. V době měrné kampaně byly také odečítány denní spotřeby z vodoměrů u velkoodběratelů – jmenovitě u ZD Horní Třebonín a Prostřední Svince a MŠ Dolní Třebonín. Od těchto velkoodběratelů byl také zjištěn orientační průběh odběrů vody během dne a následně byl tento průběh zanesen do modelu. Jako velkoodběratele jsem uvažovala i ZŠ Dolní Třebonín, v době měrné kampaně však probíhaly podzimní prázdniny, a tak jsem odběr pro základní školu zanesla až později do zkalibrovaného modelu.

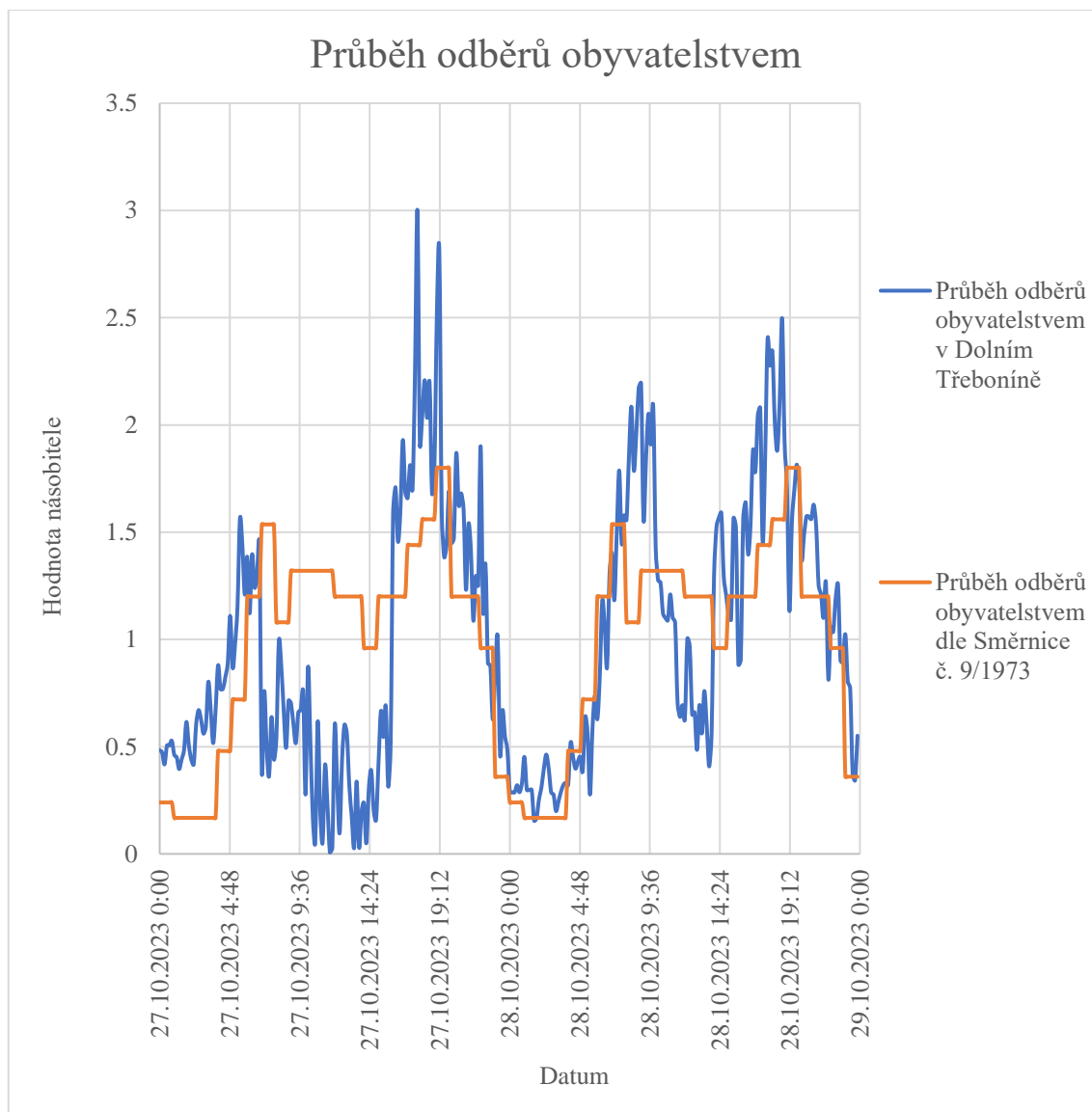


Obr. 34: Příklad vytvořeného denního průběhu odběrů vody ZD Horní Třebonín



Obr. 35: Příklad vytvořeného denního průběhu odběrů vody MŠ Dolní Třebonín

Po odečtení těchto velkoodběratelů od již dříve vypočtených celkových odběrů v Horním a Dolním Třeboníně jsem získala průběh odběrů obyvatelstvem v těchto dvou místních částech obce.



Obr. 36: Příklad denního průběhu odběrů obyvatelstvem v Dolním Třeboníně a dle Směrnice č. 9/1973

Dle grafu uvedeného na Obr. 36 je patrné, že průběh odběrů obyvatelstvem v Dolním Třeboníně poměrně dobře kopíruje průběh odběrů dle přílohy C Směrnice č. 9/1973. Dále je dle grafu možné konstatovat, že oproti průběhu daného Směrnicí je průběh denních odběrů obyvatelstvem v Dolním Třeboníně více rozkolísaný – tedy v maximech vystoupá nad hodnotu určenou Směrnicí a v minimech pod tuto hodnotu naopak většinou klesá.

Následně jsem do jednotlivých uzlů sítě v těchto místních částech dané odběry rozdělila poměrově dle počtu obyvatel napojených na veřejný vodovod a dle hustoty osídlení. V Prostředních Svincích jsem po odečtení odběrů zemědělským družstvem od nátoky do této místní části zbývající spotřebu rozdělila po síti také v závislosti na hustotě osídlení. Ztráty vody v místní části Dolní Třebonín jsem určila z rozdílu minimálních

nočních průtoků a nočních odběrů zemědělským družstvem a rozpočítala mezi celkem 6 bodů na síti. Polovinu ztrát jsem rovnoměrně rozdělila mezi 2 body v oblasti, kde se vyskytují nejstarší vodovodní řady, zbylou polovinu jsem pak rovnoměrně rozpočítala mezi 4 koncové body vodovodní sítě v Dolním Třeboníně. Měření odběrů v Prostředních Svincích žádné ztráty vody nevykazovalo, proto jsem s nimi v této místní části neuvažovala.

Správnost určení množství ztrát vody jsem si ověřila také z procentního zastoupení ztrát v celkovém nátoku vody do systému. Pro bezpečnost jsem určila ztráty vody jako 17 % z průměrného nátoku do oblasti a toto výsledné číslo jsem porovnála s rozdílem mezi minimálním nočním nátokem a odběrem vody zemědělským družstvem ve stejnou hodinu. Tyto dvě vypočtené hodnoty se vzájemně téměř nelišily, a proto jsem výši mnou určených ztrát uvažovala za správnou.



Obr. 37: Jeden z tlakoměrů typu Sealog P-3-1 umístěný na podzemním hydrantu v Dolním Třeboníně  
Na bázi měřených tlaků ve třech místech sítě v Dolním Třeboníně, v předávací šachtě Mojné a v Prostředních Svincích byla následně provedena kalibrace modelu.

### 5.3.2 Výsledky měrné kampaně

Na základě výsledných tlaků naměřených v průběhu měrné kampaně za redukčním ventilem jsem konstatovala, že ventil na síti v Dolním Třeboníně neplní svou funkci,

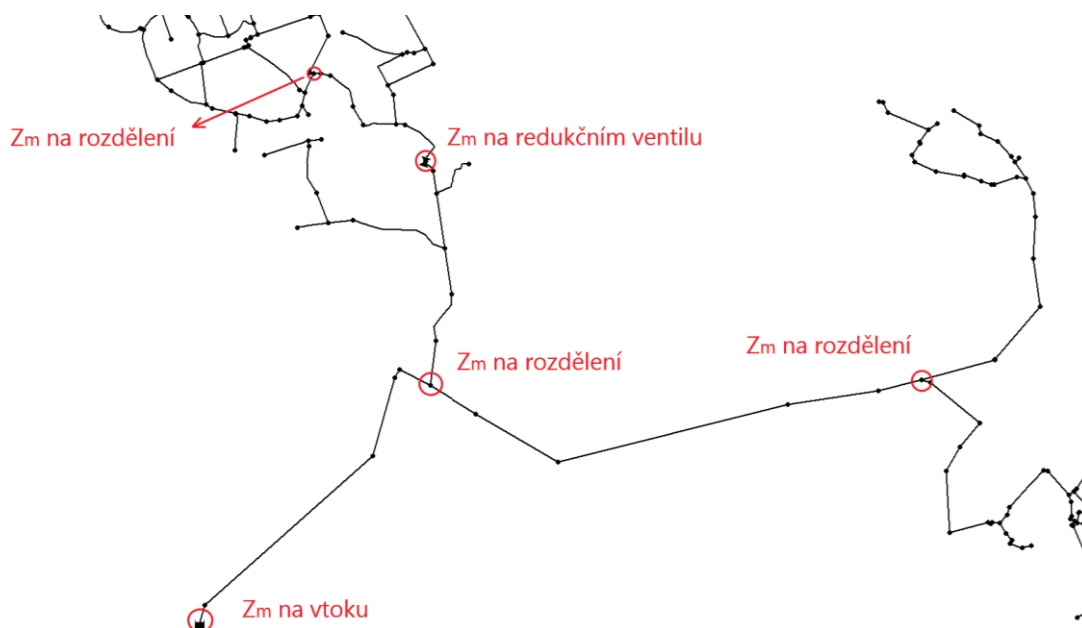
tak, jak by měl. S ohledem na tuto skutečnost jsem tedy doporučila provozovateli vodovodní sítě v zájmové oblasti překontrolovat, zda je redukční ventil v provozu, či zda vůbec nefunguje, jak indikuje provedené měření.

## **5.4 Kalibrace modelu**

Pro následnou kalibraci jsem tedy uvažovala redukční ventil jako „otevřený“, kdy model nepočítal s žádnou úpravou výstupního tlaku z tohoto ventilu. Pro větší shodu naměřených a vypočtených dat jsem nejprve pozměnila drsnosti jednotlivých potrubí. Drsnost ocelových a litinových trub jsem zvýšila z hodnoty 2 mm až na hodnotu 6 mm, drsnost trub z PVC a PE z 0,02 mm na 0,5 mm. V případě nově zbudovaných potrubí, kde jsem prvotně zvolila drsnost 0,01 mm, jsem tuto drsnost navýšila na 0,02 mm.

Z porovnání měřených a vypočtených dat bylo patrné, že mezi měřeními na zdroji a jednotlivými body měření na síti dochází k omezení kapacity řadu. Dle mého předpokladu jsem tedy následně do modelu vložila místní ztráty v místě osazeného průtokoměru na vtoku do systému, redukčního ventilu v Dolním Třeboníně a na některých místech rozdělení průtoků do více větví. V místě osazeného průtokoměru na vtoku do systému jsem zároveň i zúžila průtočný profil z DN 200 mm na DN 150 mm.

Pro kalibraci jsem předpokládala převážně zvýšené místní ztráty v místech uvedených na Obr. 38 s ohledem na větší množství vyskytujících se armatur a tvarovek a skutečnost, že v některých uzlech nemusí být uzavírací armatury zcela otevřeny. Tyto místní ztráty jsem umístila do daných uzlů především z toho důvodu, aby jejich vliv v modelu působil na co největší oblast řešené sítě. Výsledné koeficienty místních ztrát se pro tato vybraná místa po provedené kalibraci pohybovaly v řádů tisíců.

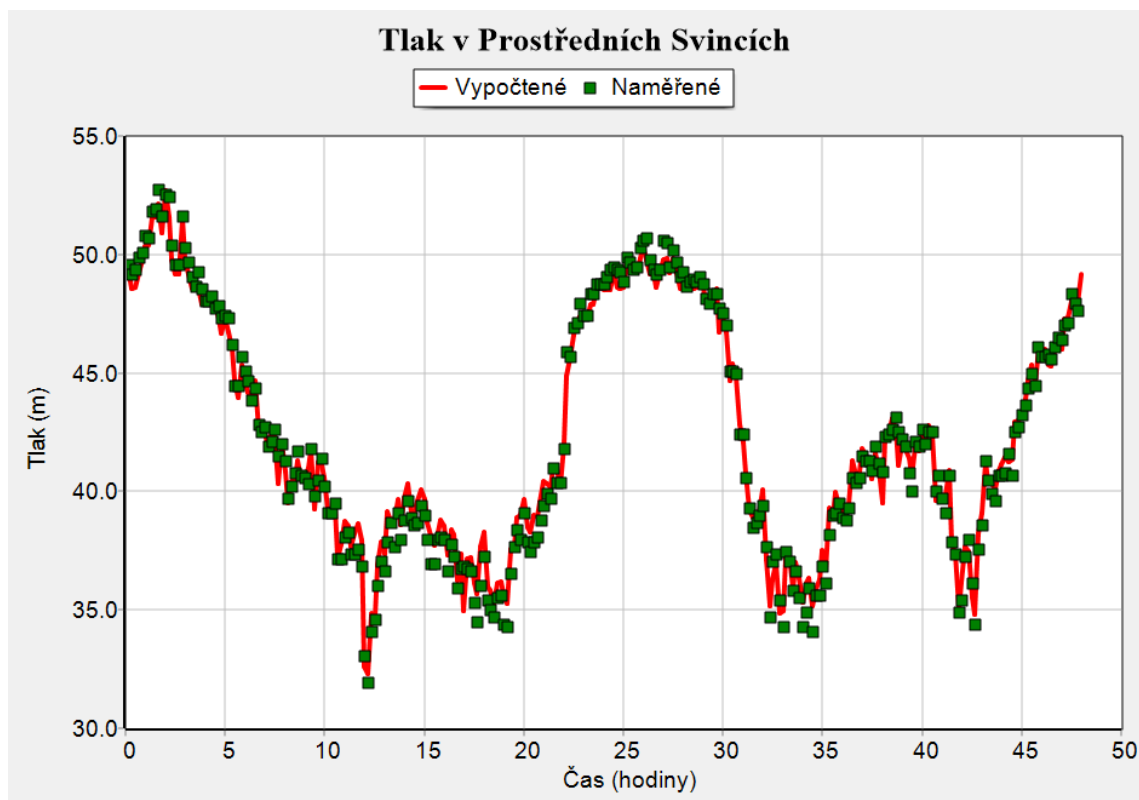


Obr. 38: Zanesení místních ztrát v modelu

### 5.4.1 Výsledky kalibrace

Místa uvedená na Obr. 39, která jsem určila jako zdroje zvýšených místních ztrát, doporučuji provozovateli přesněji identifikovat a ověřit podrobnějším měřením s orientací na místní ztráty a stav potrubí včetně míst, ve kterých bylo provedeno měření v rámci měrné kampaně. Dále doporučuji prověřit veškeré uzavírací armatury na trati, zda jsou skutečně plně otevřeny.

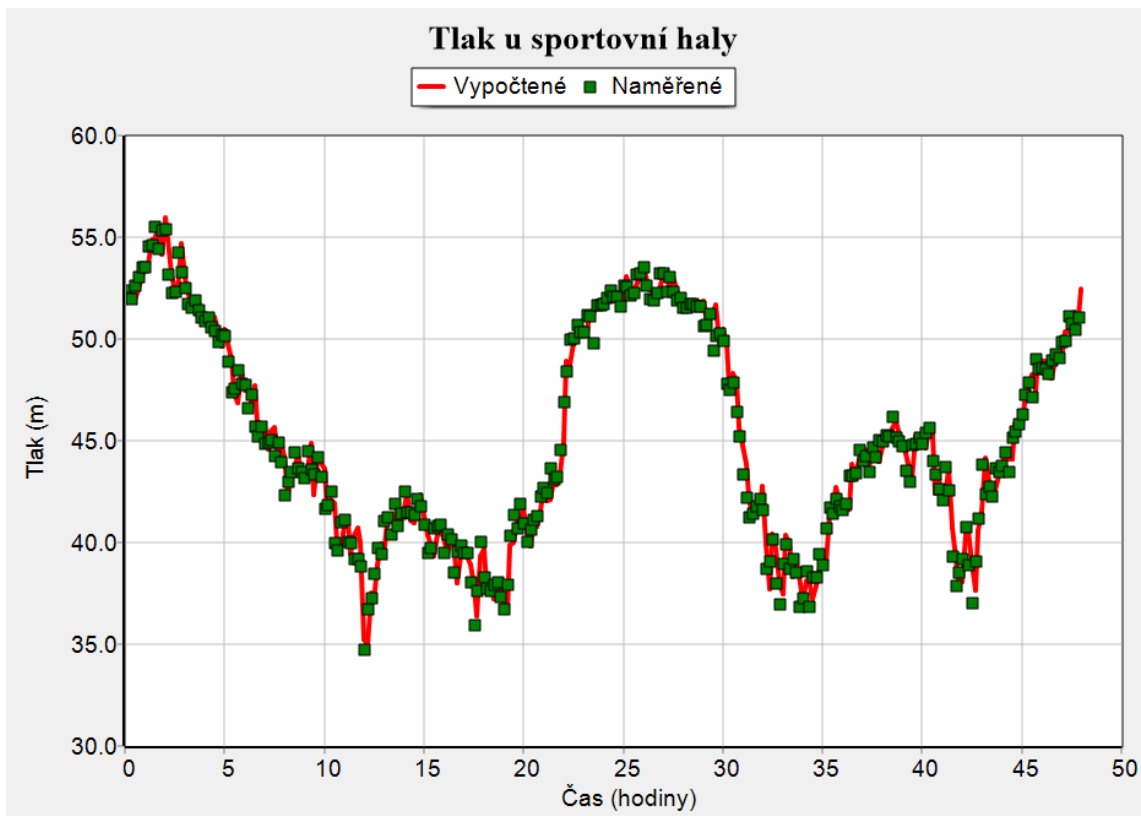
Výsledné grafy po provedené kalibraci jsou uvedeny na obrázcích níže.



Obr. 39: Výsledky kalibrace v uzlu v Prostředních Svincích

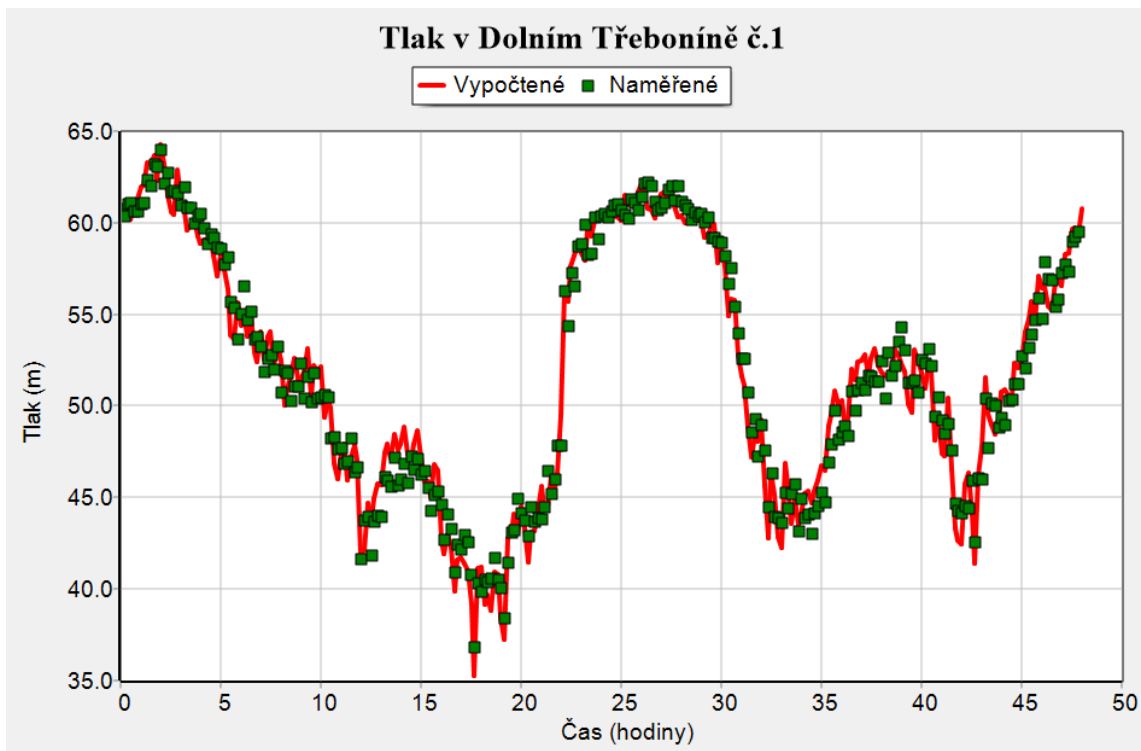
Z Obr. 39 je patrné, že vypočtené a naměřené hodnoty se nejlépe překrývají v nočních a dopoledních hodinách. Menší shoda mezi těmito hodnotami pak nastává v době nejvyšších odběrů, tedy v pátek 27.10.2023 v odpoledních a v sobotu 28.10.2023 v dopoledních hodinách. Důvodem je velká rozkolísanost odběrů v tomto období, kterou nebylo možné úplně přesně postihnout vytvořenou teoretickou odběrovou křivkou pro jednotlivé odběratele.





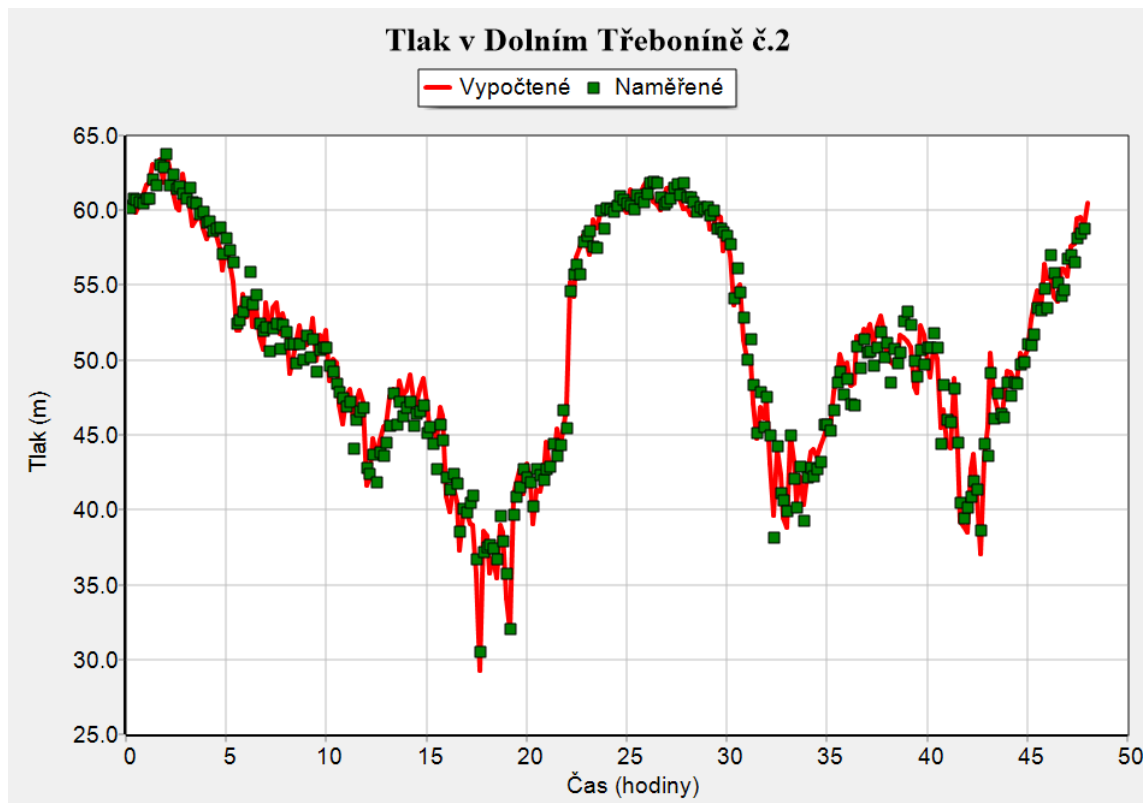
Obr. 40: Výsledky kalibrace v uzlu v Dolním Třeboníně před RV u sportovní haly

Na Obr. 40, který ukazuje průběh naměřených a vypočtených tlaků na síti v Dolním Třeboníně před redukčním ventilem není rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami již tak patrný, jako na Obr. 39. Důvodem bude pravděpodobně správnější a přesnější rozdělení místních ztrát před nátokem vody do zkoumaného uzlu a správnější vytvoření teoretické odběrové křivky odběratelů, než tomu bylo u uzlu v Prostředních Svincích.



Obr. 41: Výsledky kalibrace v uzlu za RV v Dolním Třeboníně č. 1

Stejná situace jako na Obr. 39 se pak projevuje i na Obr. 41, který ukazuje průběh naměřených a vypočtených tlaků na síti v Dolním Třeboníně za redukčním ventilem a před nátokem vody do vodojemu Záluží. Zde jsou však rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami více patrné, stejně tak je patrný i velký rozdíl tlaků v tomto bodě v průběhu dne. Důvodem rozdílů mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je opět ne úplně přesné rozdělení místních ztrát po síti a postihnutí skutečných odběrů vytvořenou teoretickou odběrovou křivkou pro jednotlivé odběratele.



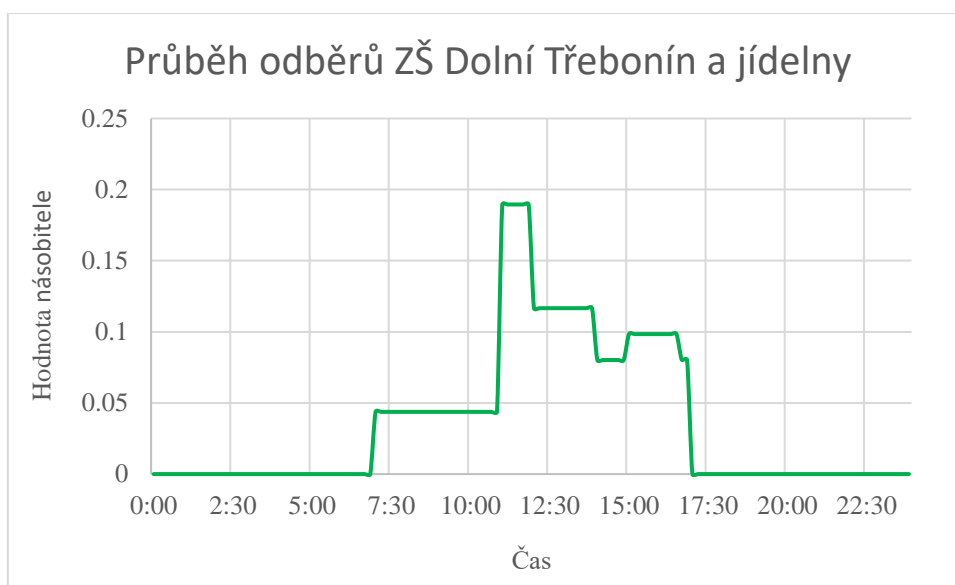
Obr. 42: Výsledky kalibrace v uzlu za RV v Dolním Třeboníně č. 2

Obdobný scénář, jako na Obr. 41 se pak opakuje i na Obr. 42, který ukazuje průběh naměřených a vypočtených tlaků na síti v Dolním Třeboníně za redukčním ventilem. Důvodem rozdílů mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je opět nepřesné rozdělení místních ztrát po síti a postihnutí skutečných odběrů vytvořenou teoretickou odběrovou křivkou pro jednotlivé odběratele.

Provozovatel na můj návrh provedl kontrolu redukčního ventilu, konstatoval, že ventil ve správném provozu skutečně není a provedl jeho přenastavení. Pro použití modelu pro současný stav i oba výhledové stavy již tedy redukční ventil uvažují jako funkční, kdy udržuje konstantní výstupní hodnotu tlaku na 4 barech, tedy 40,79 m v.sl.

## 6 Vyhodnocení stávajícího stavu

Zkalibrovaný model jsem nejprve použila pro posouzení současné sítě a následně pro vyhodnocení systému z hlediska požárních odběrů. Do tohoto modelu jsem zanesla i mnou vytvořený průběh odběrů vody ZŠ Dolní Třebonín a jídelny, který jsem vytvořila na základě informací o odběrech vody tímto velkoodběratelem v průběhu dne od provozovatele a na základě odečtů vodoměru, které proběhly mimo časový rámec již zmíněné měrné kampaně.

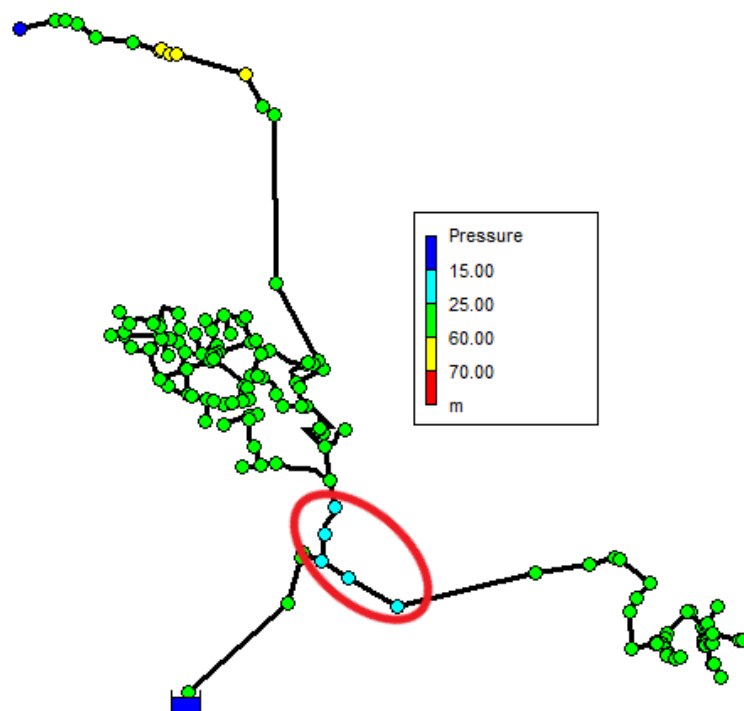


Obr. 43: Příklad vytvořeného denního průběhu odběrů vody ZŠ Dolní Třebonín a jídelny

### 6.1 Stávající stav systému

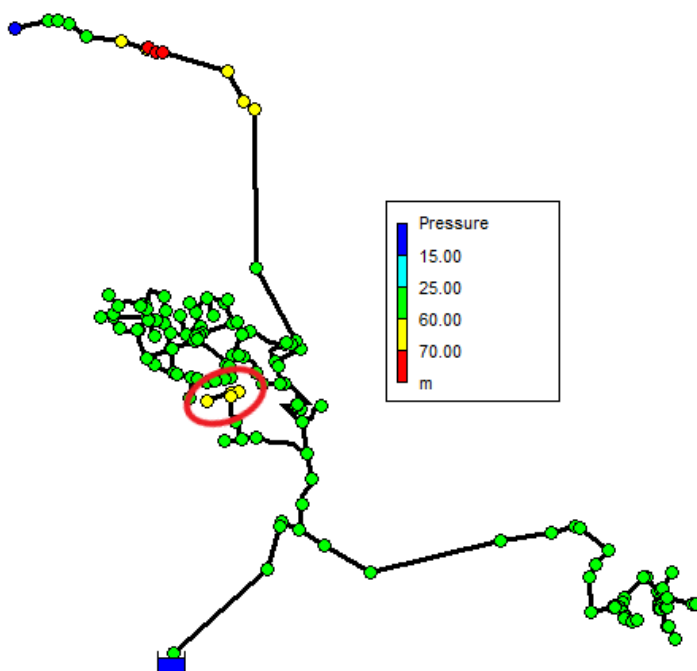
#### 6.1.1 Posouzení tlaků

V současné době se tlaky ve většině uzlů vodovodního systému před redukčním ventilem pohybují v rozmezí 25–60 m v.sl., výjimkou je pak uzel reprezentující odběr zemědělským družstvem v Horním Třeboníně a několik uzlů na přivaděči mezi Horním Třebonínem a Prostředními Svinci, kde tlaky klesají až téměř na hodnotu 15 m v. sl., viz Obr. 44.



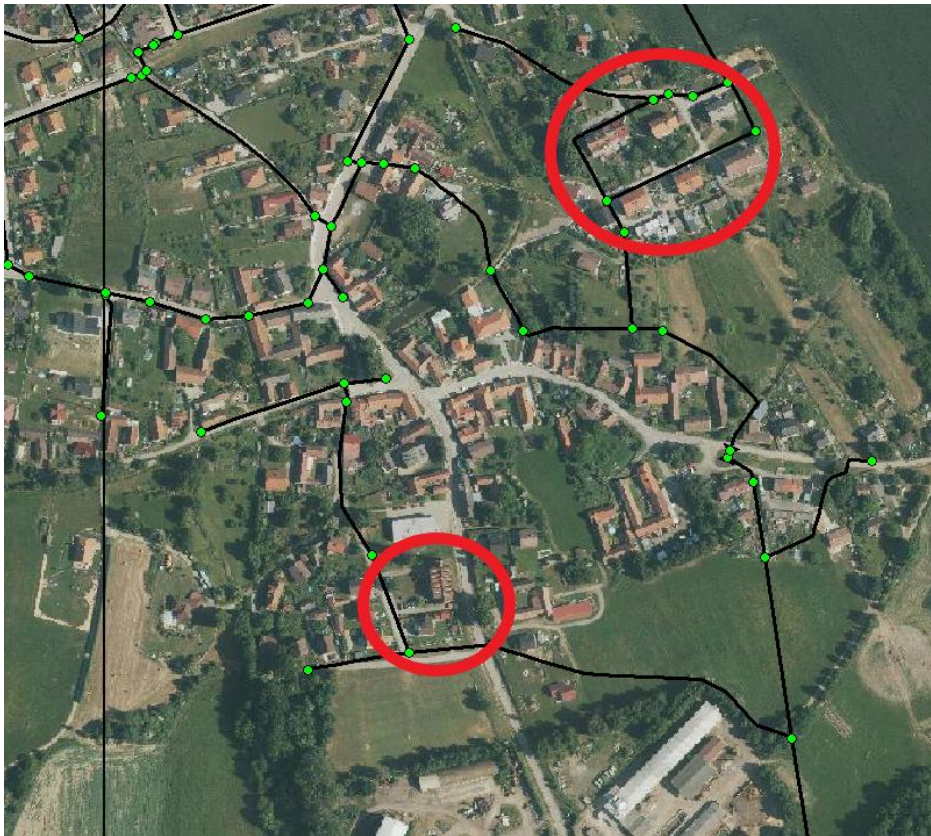
Obr. 44: Uzly, ve kterých dochází k výskytu nejnižších tlaků

Další výjimkou jsou čtyři koncové uzly na větvné síti před redukčním ventilem, kde naopak ve špičkách tlak přesahuje až hodnotu 65 m v.sl., viz Obr. 45.



Obr. 45: Uzly, ve kterých dochází k výskytu nejvyšších tlaků

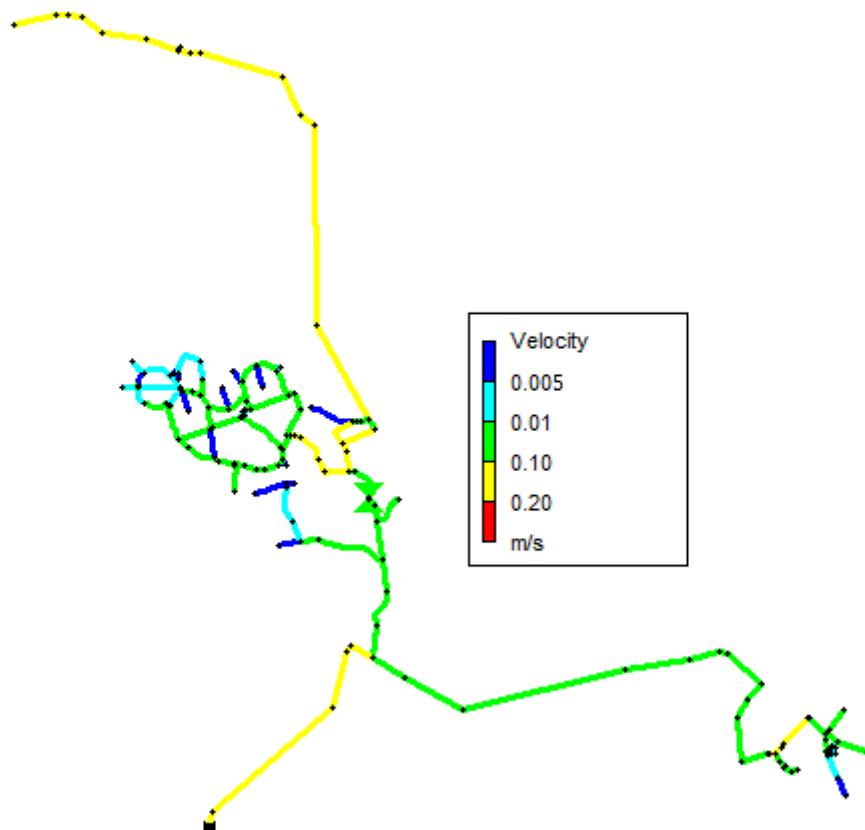
Díky již přenastavenému redukčnímu ventilu se tlak v uzlech na vodovodní síti za ventilem pohybuje v rozmezí 17 až 51 m v. sl. V ulicích v místní části Dolní Třebonín, kde se nachází bytové domy s více než dvěma nadzemními podlažími (viz Obr. 46) nedochází k poklesu tlaku pod hodnotu 33 m v.sl. Stávající stav tedy plně vyhovuje požadavkům na zajištění minimálních hydrodynamických přetlaků jak pro zástavbu nižší, než jsou dvě nadzemní podlaží, tak i pro zástavbu nad dvě nadzemní podlaží. Stejně tak i maximální přetlaky ve všech uzlech vyhovují stanoveným požadavkům.



Obr. 46: Vyznačené oblasti s výskytem bytových domů

### 6.1.2 Posouzení rychlostí

Rychlosti proudění vody se ve vodovodním systému po celou dobu simulace pohybují v rozmezí téměř od 0 až do 0,2 m/s, ve většině potrubí pak v rozmezí 0,01 – 0,1 m/s. Maximální rychlosti se v systému vyskytují v čase 17:00 první pracovní den, kdy jen ve 13 úsecích potrubí klesá rychlost proudění pod 0,005 m/s, jak je patrné z Obr. 47.

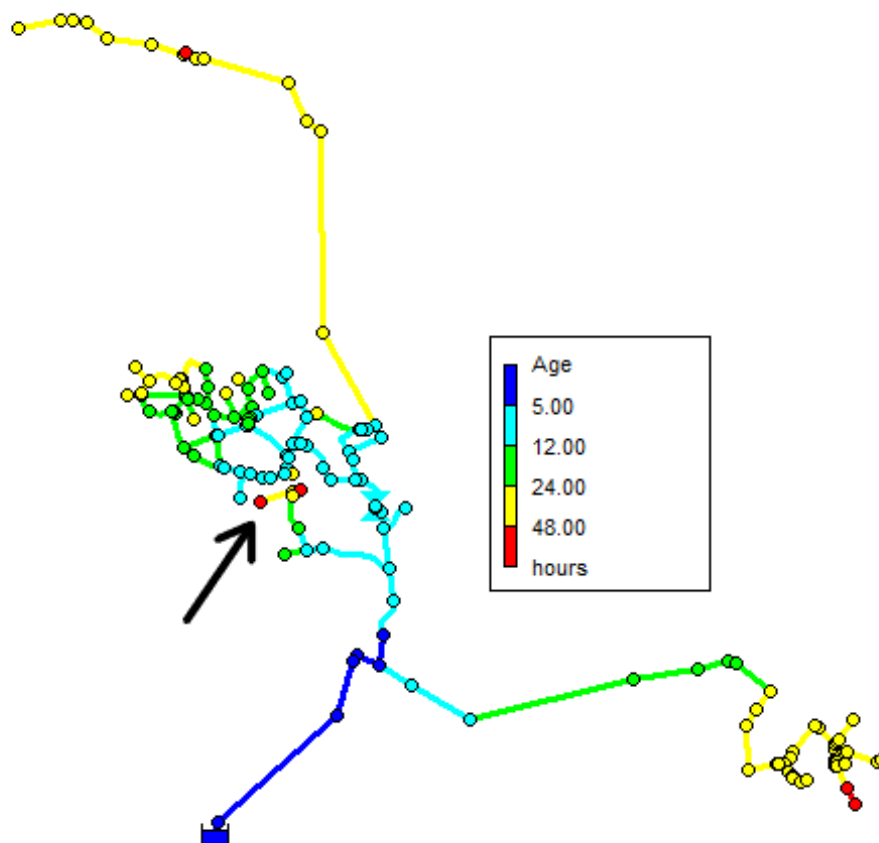


Obr. 47: Výskyt nejvyšších rychlostí v čase 17:00

S ohledem na velmi nízké rychlosti v celé vodovodní síti je možné konstatovat, že z hlediska maximálních doporučených rychlostí síť vyhovuje. Naopak zde velmi pomalé proudění zvyšuje stáří dopravované vody, které může mít negativní vliv na jakost vody u odběratele.

### 6.1.3 Posouzení stáří vody

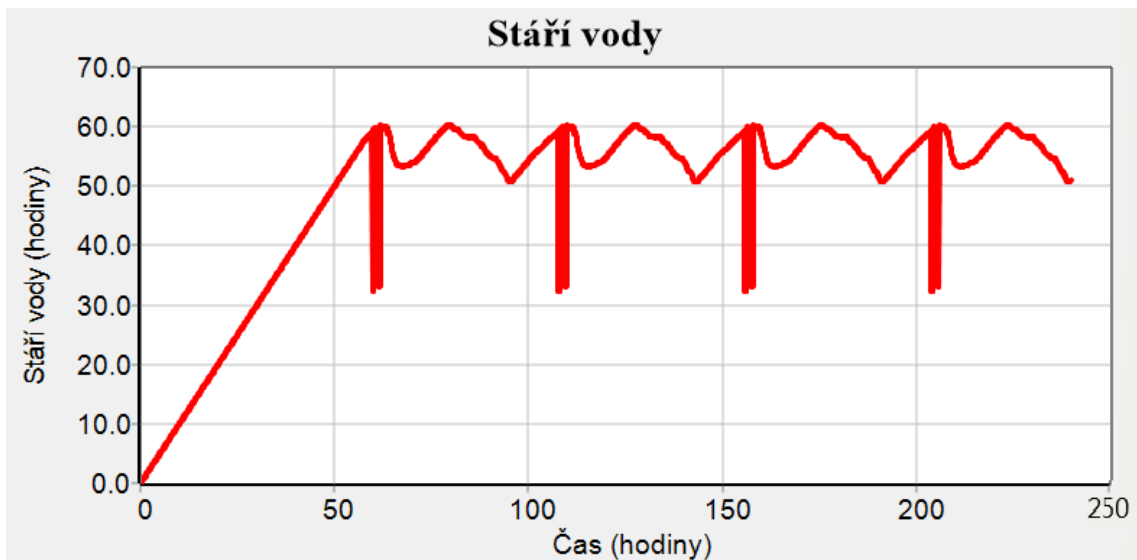
V souvislosti s výskytem nízkých rychlostí proudění vody v systému jsem následně pro současný stav provedla i analýzu stáří vody v síti. Protože byl časový úsek 48 hodin pro projev periodického chování stáří vody příliš krátký, změnila jsem dobu simulace na 240 hodin. Výsledné stáří vody v jednotlivých úsecích a uzlech je patrné z Obr. 48.



Obr. 48: Analýza stáří vody v síti

Pro jednotlivé body a úseky, ve kterých stáří vody vystoupalo nad 48 hodin, jsem provedla individuální posouzení. Kromě koncových uzlů větvivé sítě, ze kterých v současné době není voda odebírána, dochází k nejdelšímu zdržení vody v uzlu na síti v Dolním Třeboníně před redukčním ventilem, který je na Obr. 48 označen šipkou. Zde stáří vody periodicky dosahuje až hodnoty 60 hodin, jak je patrné z Obr. 49.



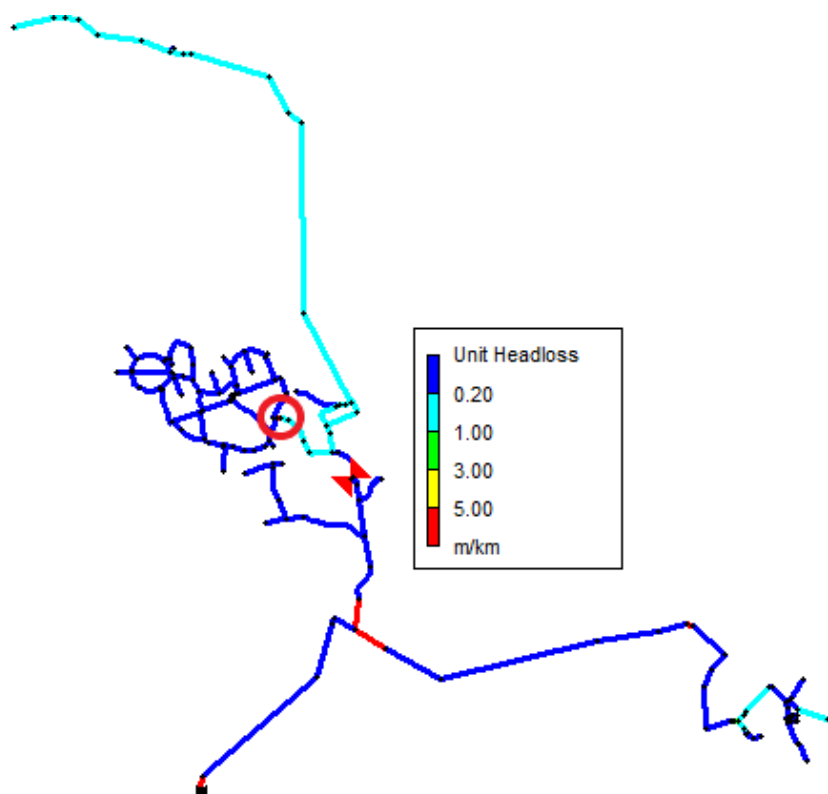


Obr. 49: Kolísání stáří vody v šetřeném bodě

V tomto bodě bych provozovateli doporučila s ohledem na vysoké hodnoty, kterých zde stáří vody dosahuje, provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

#### 6.1.4 Posouzení tlakových ztrát

Následně jsem provedla posouzení tlakových ztrát ve vodovodním systému. Největší tlaková ztráta v m/km se vyskytuje v úsecích a uzlech, kam jsem vložila zvýšené místní ztráty, viz Obr. 50. Kvůli vloženým vysokým koeficientům místní ztráty tlaková ztráta v úseku označeném kolečkem přesahuje až hodnotu 300 m/km.

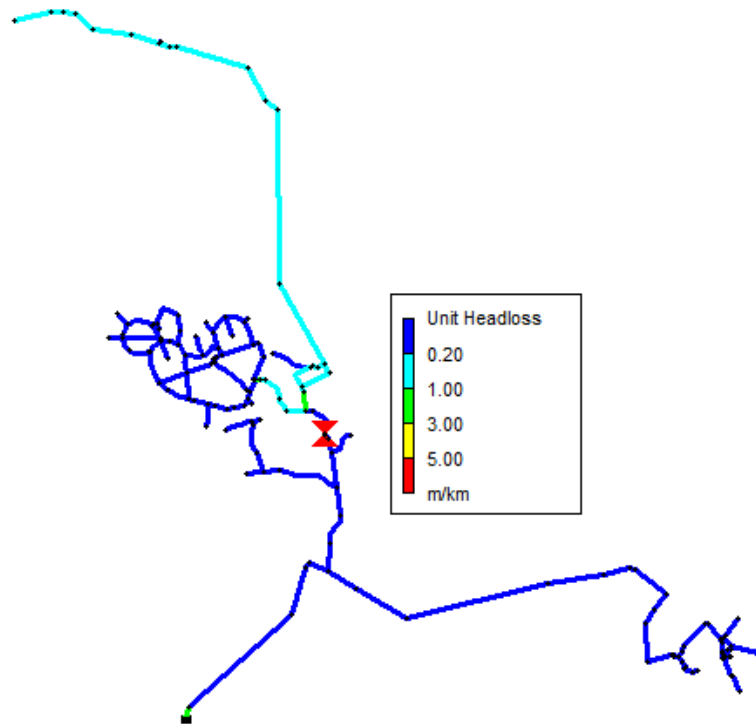


Obr. 50: Tlakové ztráty v síti při zvýšených místních ztrátách

#### 6.1.4.1 Snížení místních ztrát

Pro další simulaci jsem provedla nahrazení všech zvýšených místních ztrát uvedených na Obr. 38 ztrátami výrazně nižšími s koeficientem ztrát v řádu jednotek až desítek, které by se v daných bodech a úsecích mohly předpokládat při plné kapacitě vodovodní sítě.

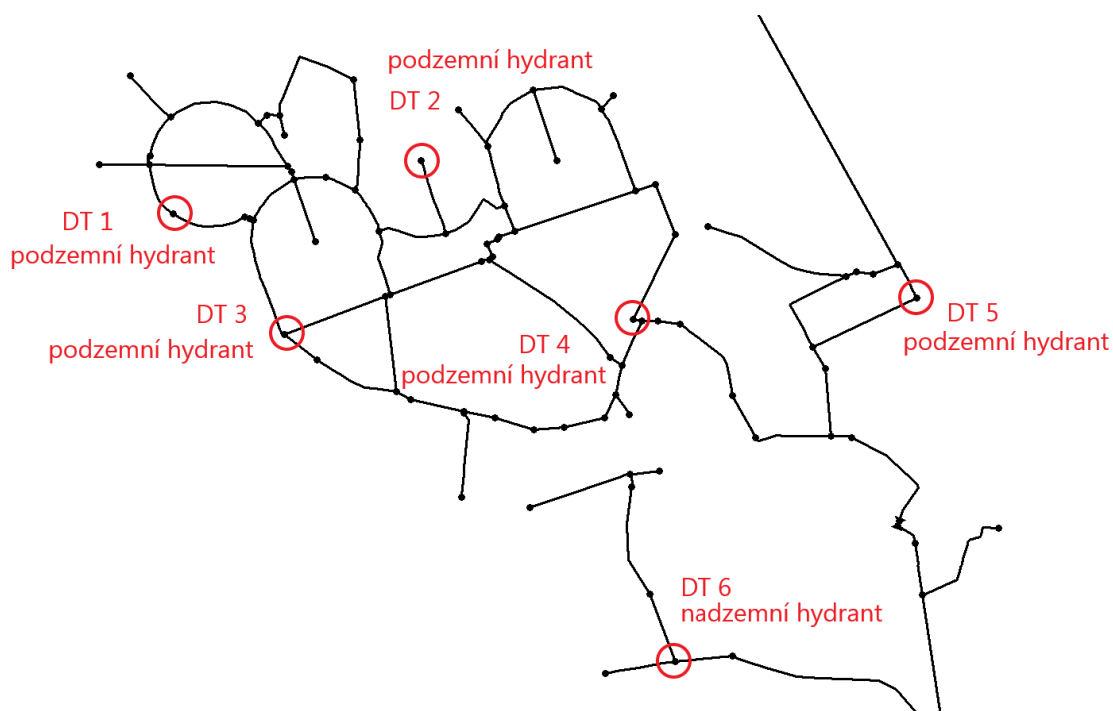
V případě, že by provozovatel na mé doporučení provedl kontrolu vybraných oblastí se zvýšenými místními ztrátami a odstranil je, jsem následně provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími tak, jak je popsáno výše. Pro tento případ již tlakové ztráty vycházely v celé síti výrazně nižší, hodnotu 5 m/km přesáhly pouze v úseku reprezentujícím redukční ventil, jmenovitě zde dosáhly výšky téměř 18 m/km. Ve zbytku sítě se tlakové ztráty drží pod hodnotou 3 m/km, viz Obr. 51.



Obr. 51: Tlakové ztráty v síti po odstranění zvýšených místních ztrát

## 6.2 Posouzení vodovodní sítě při požáru

Pouze pro místní část Dolní Třebonín má vodovod také požární funkci, v ostatních místních částech existuje buď vodní nádrž či rybník, ze kterých je možné vodu v případě vzniku požáru odebírat. Na síti v Dolním Třeboníně jsem tedy vybrala 6 míst v bodech existujících požárních hydrantů, do kterých jsem v době nejvyšších odběrů, tedy v čase 12:10 prvního pracovního dne pro Dolní Třebonín před redukčním ventilem a v čase 17:40 prvního pracovního dne pro Dolní Třebonín za redukčním ventilem zanesla požární odběr vody. Tento odběr vody jsem stanovila z normy ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou na 4 l/s, tedy pro rodinné domy do zastavěné plochy menší než 200 m<sup>2</sup> a nevýrobní objekty do plochy 120 m<sup>2</sup> s délkou trvání 30 minut. Do modelu jsem zadala začátek tohoto požárního odběru 10 minut před nejvyšším skutečným odběrem a konec 10 minut za nejvyšším skutečným odběrem v dané části vodovodní sítě. Body, do kterých jsem požární odběr zanesla, jsou uvedeny na Obr. 52.

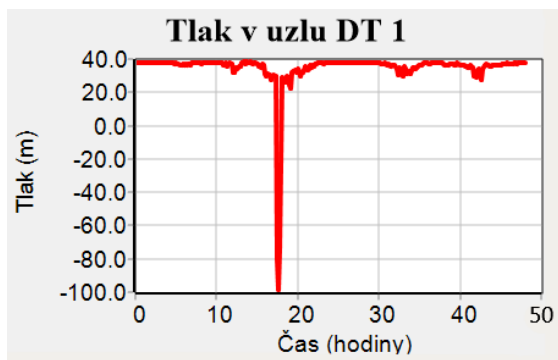


Obr. 52: Umístění požárních odběrů v Dolním Třeboníně

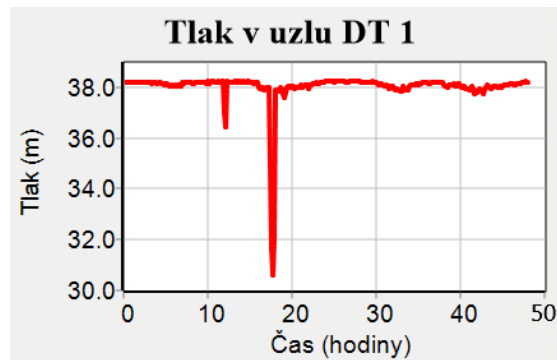
Do uzlů uvedených na obrázku výše jsem postupně zadávala požární odběry o hodnotě 4 l/s trvající 30 minut a vyhodnocovala, při kterém zatěžovacím stavu dojde k největšímu poklesu tlaků.

### 6.2.1 Uzel DT 1

Podzemní hydrant v uzlu DT 1, do kterého jsem zadala požadovaný požární odběr, se nachází na zaokruhované vodovodní síti v místní části obce Dolní Třebonín na dimenzi potrubí DN 110. Při prvotním spuštění modelu vycházely v síti záporné tlaky, a to vlivem zvýšených místních ztrát, které byly výsledkem předchozí kalibrace a které jsem při ní vložila do míst označených na Obr. 38 výše. Lze předpokládat, že provozovatel na mé doporučení provede kontrolu těchto vybraných míst a v případě, že se v nich skutečně nachází přivřené uzavírací armatury, plně je otevře a tím tuto zvýšenou místní ztrátu odstraní. Proto jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila takovými ztrátami, které jsou popsány v kapitole 6.1.4.1 Snížení místních ztrát. Pro tento případ již žádné záporné tlaky v síti nevznikly, jak je zřejmé z Obr. 54, a v době požárního odběru došlo pouze k poklesu tlaku o cca. 7,5 m v. sl.



Obr. 53: Průběh tlaku v uzlu DT 1 před odstraněním zvýšených místních ztrát

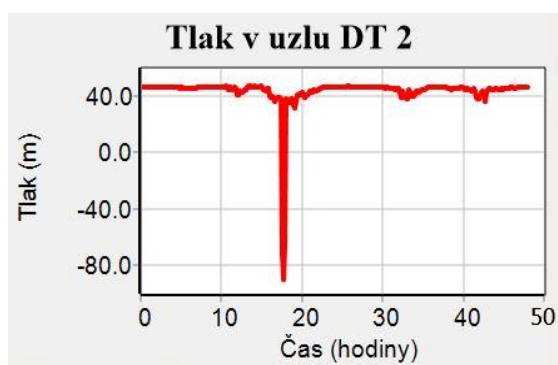


Obr. 54: Průběh tlaku v uzlu DT 1 po odstranění zvýšených místních ztrát

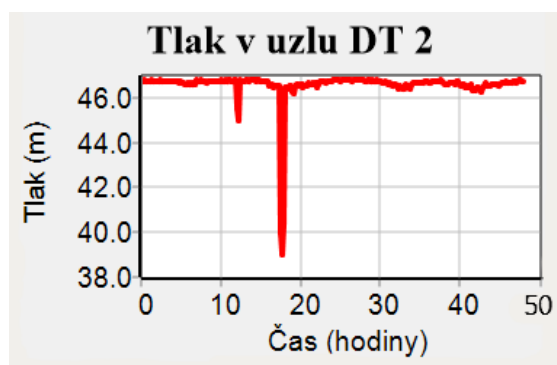
V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 1 plně vyhoví své funkci.

### 6.2.2 Uzel DT 2

Podzemní hydrant v uzlu DT 2, do kterého jsem zadala požadovaný požární odběr, se nachází v koncovém bodě větve vycházející ze zaokrouhované vodovodní sítě v místní části obce Dolní Třebonín na dimenzi potrubí DN 110. Při prvotním spuštění modelu vycházely v síti opět záporné tlaky. Proto jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími dle kapitoly 6.1.4.1 Snížení místních ztrát, jako v případě uzlu DT 1. Pro tento případ již žádné záporné tlaky v síti nevznikly, jak je zřejmé z Obr. 56, a v době požárního odběru došlo pouze k poklesu tlaku o cca. 7,5 m v. sl.



Obr. 55: Průběh tlaku v uzlu DT 2 před odstraněním zvýšených místních ztrát

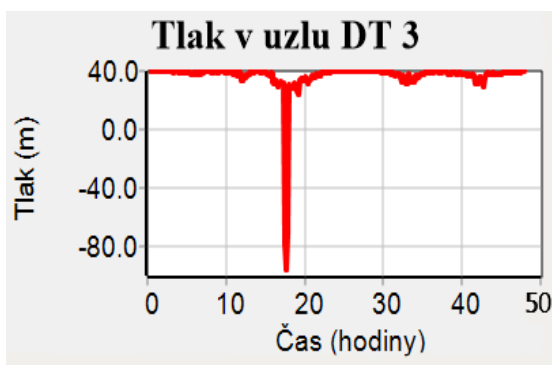


Obr. 56: Průběh tlaku v uzlu DT 2 po odstranění zvýšených místních ztrát

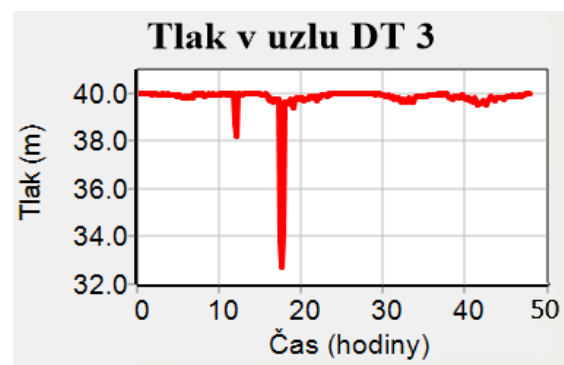
V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 2 plně vyhoví své funkci.

### 6.2.3 Uzel DT 3

Podzemní hydrant v uzlu DT 3, do kterého jsem zadala požadovaný požární odběr, se nachází na zaokruhované vodovodní síti v místní části obce Dolní Třebonín na dimenzi potrubí DN 110. Při prvotním spuštění modelu vycházely v síti opět záporné tlaky. Proto jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími dle kapitoly 6.1.4.1 Snížení místních ztrát, jako v případě předchozích uzlů. Pro tento případ již žádné záporné tlaky v síti nevznikly, jak je zřejmé z Obr. 58, a v době požárního odběru došlo pouze k poklesu tlaku o cca. 7 m v. sl.



Obr. 57: Průběh tlaku v uzlu DT 3 před odstraněním zvýšených místních ztrát

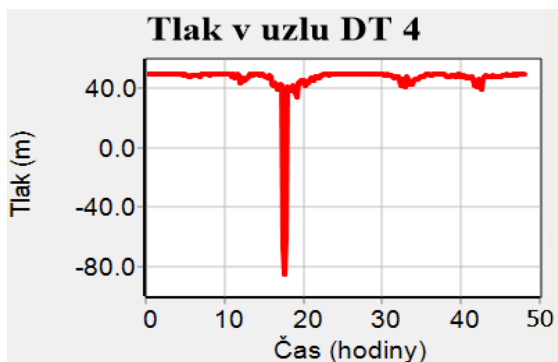


Obr. 58: Průběh tlaku v uzlu DT 3 po odstranění zvýšených místních ztrát

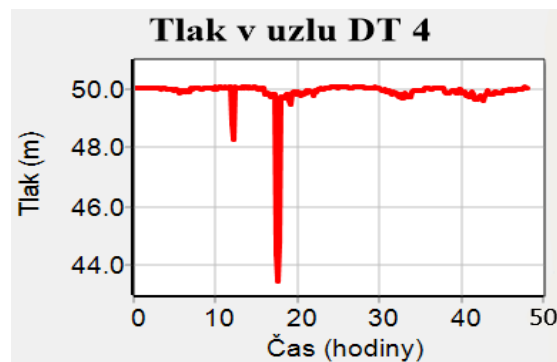
V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 3 plně vyhoví své funkci.

### 6.2.4 Uzel DT 4

Podzemní hydrant v uzlu DT 4, do kterého jsem zadala požadovaný požární odběr, se nachází na zaokruhované vodovodní síti v místní části obce Dolní Třebonín na dimenzi potrubí DN 100. Při prvotním spuštění modelu vycházely v síti opět záporné tlaky. Proto jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími dle kapitoly 6.1.4.1 Snížení místních ztrát, jako v případě předchozích uzlů. Pro tento případ již žádné záporné tlaky v síti nevznikly, jak je zřejmé z Obr. 60, a v době požárního odběru došlo pouze k poklesu tlaku o cca. 6,5 m v. sl.



Obr. 59: Průběh tlaku v uzlu DT 4 před odstraněním zvýšených místních ztrát

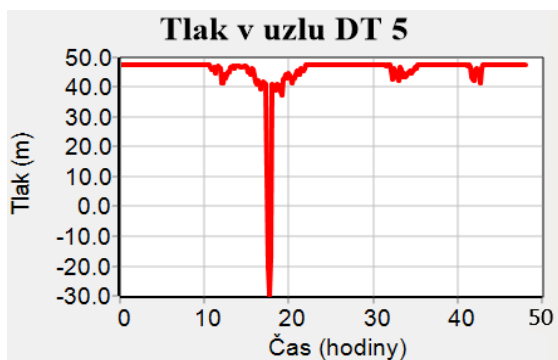


Obr. 60: Průběh tlaku v uzlu DT 4 po odstranění zvýšených místních ztrát

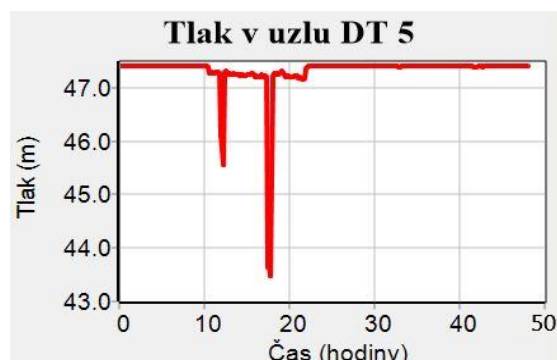
V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 4 plně vyhoví své funkci.

### 6.2.5 Uzel DT 5

Podzemní hydrant v uzlu DT 5, do kterého jsem zadala požadovaný požární odběr, se nachází na zaokruhované vodovodní síti v místní části obce Dolní Třebonín na dimenzi potrubí DN 80. Při prvotním spuštění modelu vycházely v síti opět záporné tlaky. Proto jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími dle kapitoly 6.1.4.1 Snížení místních ztrát, jako v případě předchozích uzlů. Pro tento případ již žádné záporné tlaky v síti nevznikly, jak je zřejmé z Obr. 62, a v době požárního odběru došlo pouze k poklesu tlaku o cca. 4 m v. sl.



Obr. 61: Průběh tlaku v uzlu DT 5 před odstraněním zvýšených místních ztrát

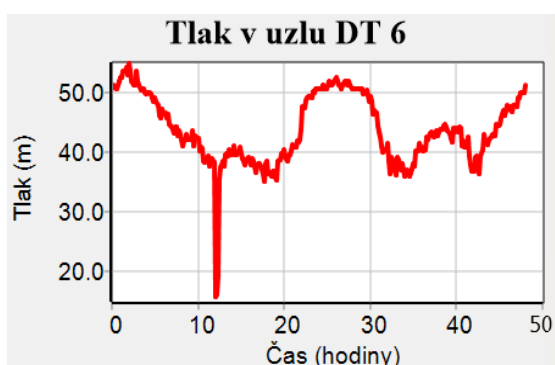


Obr. 62: Průběh tlaku v uzlu DT 5 po odstranění zvýšených místních ztrát

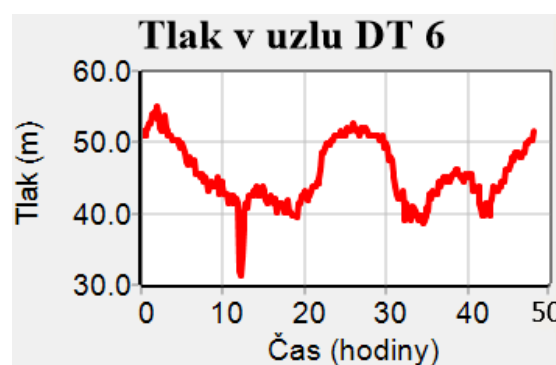
V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 5 plně vyhoví své funkci.

## 6.2.6 Uzel DT 6

Nadzemní hydrant v uzlu DT 6, do kterého jsem zadala požadovaný požární odběr, se nachází na větvě vodovodní sítě v místní části obce Dolní Třebonín na dimenzi potrubí DN 100. Při prvotním spuštění modelu vycházely v síti opět záporné tlaky, ne však v uzlu DT 6, jak je patrné na Obr. 63. Následně jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími dle kapitoly 6.1.4.1 Snížení místních ztrát, jako v případě předchozích uzlů. Pro tento případ již žádné záporné tlaky v síti nevznikly a v době požárního odběru došlo v uzlu DT 6 pouze k poklesu tlaku o cca. 10 m v. sl.



Obr. 63: Průběh tlaku v uzlu DT 6 před odstraněním zvýšených místních ztrát



Obr. 64: Průběh tlaku v uzlu DT 6 po odstranění zvýšených místních ztrát

Nadzemní hydrant umístěný v uzlu DT 6 vyhoví své funkci i v případě současného stavu se zvýšenými místními ztrátami, dojde však ke vzniku záporných tlaků ve vodovodní síti za redukčním ventilem. Při uvažování varianty s odstraněním všech zvýšených místních ztrát na síti pak již žádné záporné tlaky v celé vodovodní síti nevzniknou.

## 6.3 Závěrečná doporučení a zhodnocení

Jak již bylo uvedeno výše, provozovatel na mé doporučení provedl kontrolu redukčního ventilu, konstatoval, že ventil ve správném provozu skutečně není, a ještě před zpracováním dalších kapitol této diplomové práce provedl jeho přenastavení. S ohledem na nízké rychlosti proudění vody v celém systému vzniká na síti uzel, ve kterém stáří vody převyšuje hodnotu 60 hodin. V tomto bodě bych provozovateli doporučila s ohledem na vysoké hodnoty, kterých zde stáří vody dosahuje, provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

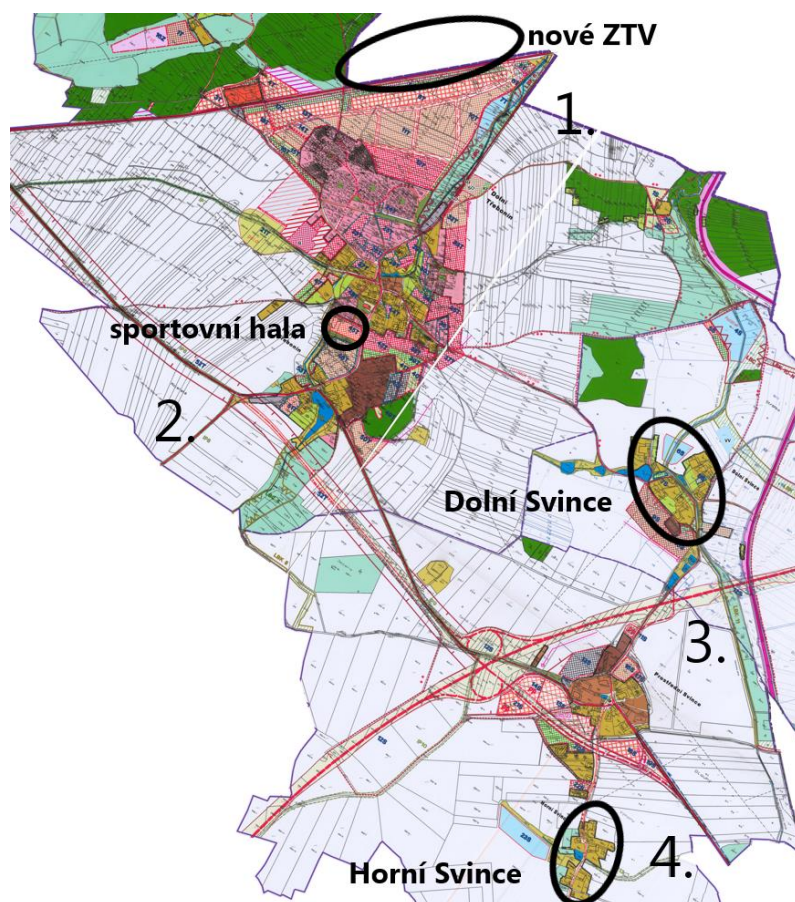


Vlivem zvýšených místních ztrát v dříve definovaných uzlech a úsecích v nich vznikaly velmi vysoké ztráty tlaku. Stejná situace nastala i při prvotním spuštění modelu při posuzování chování současné sítě při požáru, kdy vycházely v síti záporné tlaky. Proto bych provozovateli doporučila uskutečnit kontrolu příslušných míst a v případě, že se v nich skutečně nachází přivřené uzavírací armatury, provést jejich plné otevření a tím tedy odstranit tyto zvýšené místní ztráty. Pro tento stav se sníženými místními ztrátami se pak již tlakové ztráty v celé síti pohybovaly v nízkých hodnotách s výjimkou redukčního ventilu. S ohledem na nízké rychlosti, a i nízké ztráty tlaku je tedy možné konstatovat, že síť má v případě snížených místních ztrát dostatečnou kapacitu.

V dalších kapitolách této diplomové práce jsou řešeny výhledové stavy ve dvou variantách – pro rok 2025, tedy pro blízkou budoucnost a pro rok 2040, tedy pro vzdálenější budoucnost.

# 7 Vyhodnocení pro výhledový stav 2025

## 7.1 Výhledová potřeba vody



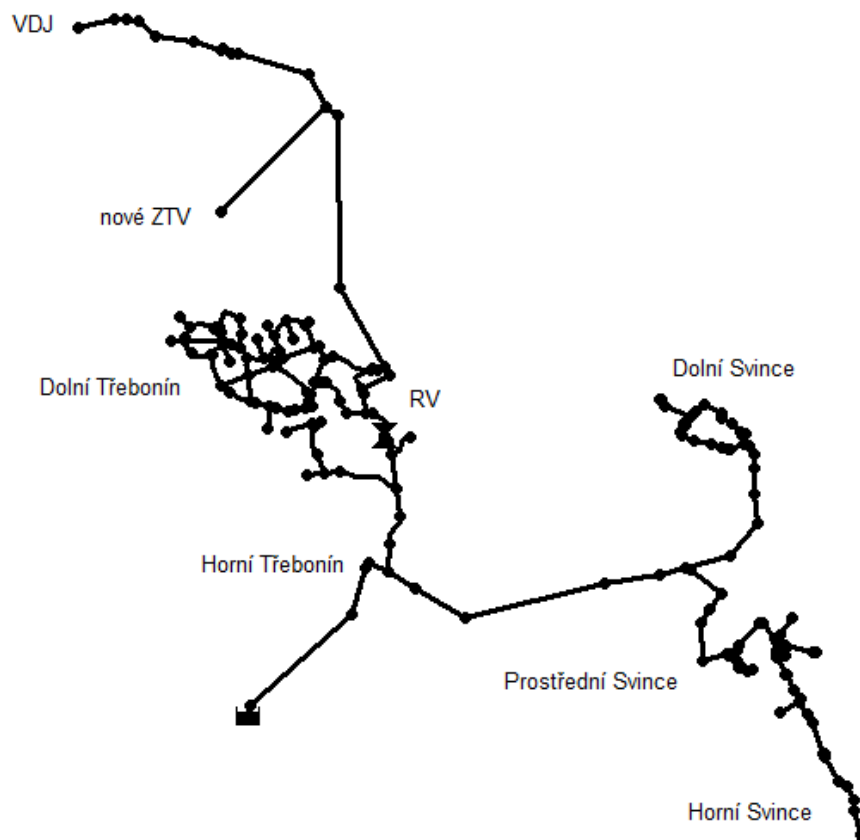
Obr. 65: Výhledový stav 2025 [63]

Pro výhledový stav v blízké budoucnosti, tedy v roce 2025 jsem do modelu přidala již existující vodovodní síť v Dolních a Horních Svincích, která je v současné době stále mimo provoz. Dle projektové dokumentace je v Dolních Svincích navrženo 16 vodovodních přípojek a v Horních Svincích 13 vodovodních přípojek. Následně jsem provedla výpočet potřeby vody dle Směrnice č. 9/1973 pro tento počet přípojek, kdy jsem uvažovala roční potřebu pitné vody  $36 \text{ m}^3/\text{os.rok}$  a v průměru 4 obyvatele na jeden rodinný dům. Nakonec jsem do jednotlivých uzlů na síti přidala příslušné odběry včetně 20 % ztrát vody. Pro jejich denní průběh jsem využila průběh odběrů vody obyvatelstvem v Prostředních Svincích s ohledem na podobnou povahu obytné zástavby v těchto místních částech.

V roce 2025 již také bude v provozu nová sportovní hala v Dolním Třeboníně, jejíž součástí je i restaurační zařízení. Pro tento objekt jsem tedy též provedla výpočet

potřeby vody dle přílohy č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb. a dle informací o počtu zaměstnanců a denním režimu provozu haly poskytnutých provozovatelem vodovodní sítě.

V roce 2025 bude také na vodovodní řad připojena nově budovaná základní technická vybavenost, která vzniká na sever od obce Dolní Třebonín. Tento odběr jsem dle informací od provozovatele vodovodu vložila do modelu jako 0,028 l/s s denním rozložením odběrů vody dle Přílohy C Směrnice č. 9/1973. Pro zanesení odběru do modelu jsem vytvořila reprezentativní uzel pro oblast nové ZTV s průměrnou nadmořskou výškou a tento uzel jsem připojila na již existující vodovodní síť, viz Obr. 66.



Obr. 66: Síť pro výhledový stav 2025

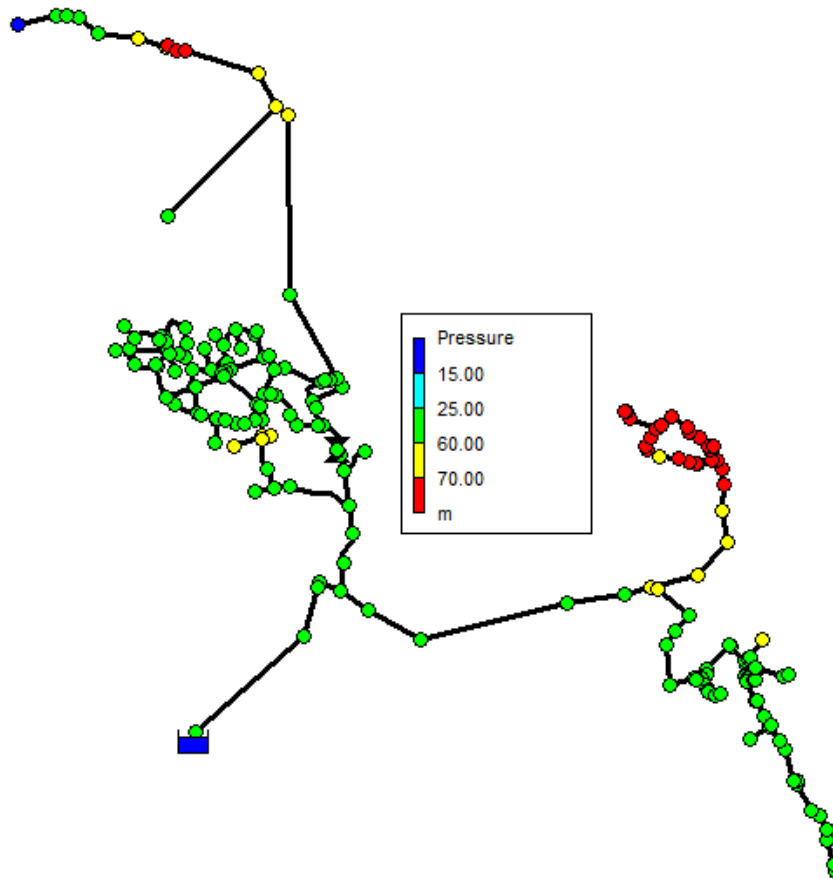
Velikosti odběrů zadaných do jednotlivých oblastí na Obr. 65 a výsledné odběry dle kapacity sítě jsou následně vypsány v Tab. 35 níže.

Tab. 35: Odběry z jednotlivých přidaných ploch v roce 2025

Oblast	Velikost odběrů (l/s)	Výsledné odběry dle kapacity sítě (l/s)
1.	0,028	0,028
2.	0,025	0,025
3.	0,088	0,088
4.	0,071	0,071

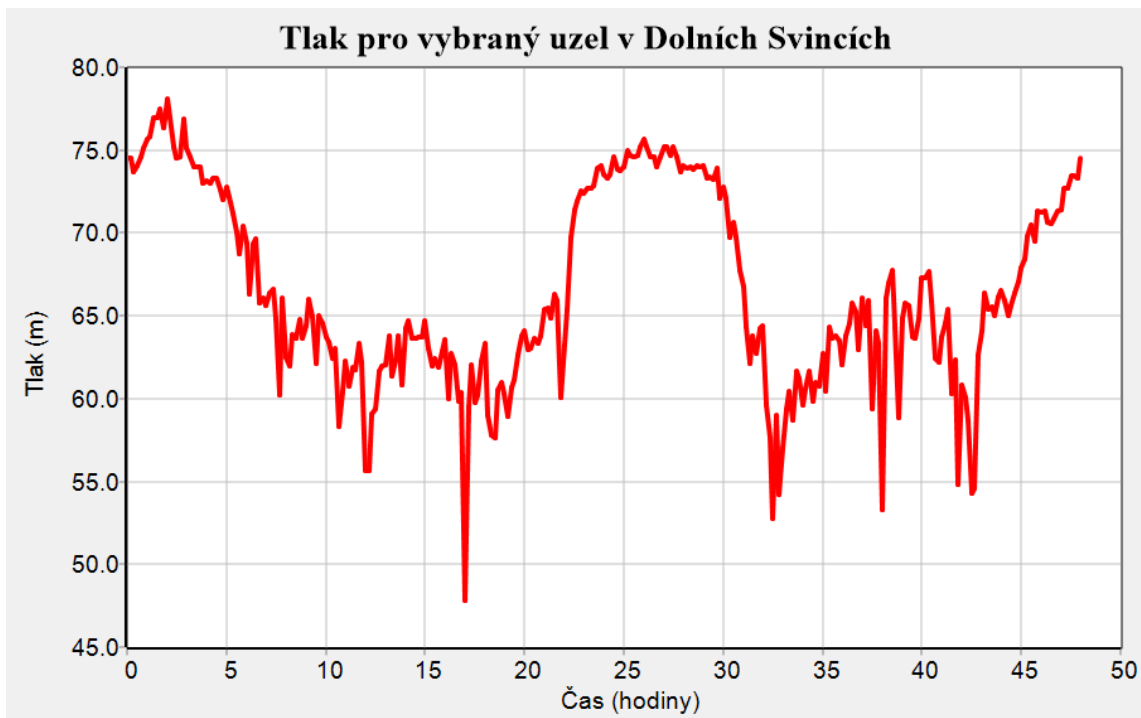
### 7.1.1 Posouzení tlaků

V roce 2025 se tlaky ve většině uzlů vodovodního systému před redukčním ventilem pohybují v rozmezí 25–60 m v.sl., výjimkou je pak uzel reprezentující odběr zemědělským družstvem v Horním Třeboníně a několik uzlů na přivaděči mezi Horním Třebonínem a Prostředními Svinci, kde tlaky klesají na hodnotu 15 m v. sl. Další výjimkou jsou opět čtyři koncové uzly na větvné síti před redukčním ventilem, kde naopak ve špičkách tlak přesahuje až hodnotu 65 m v.sl. Z Obr. 67 je pak patrné, že v době nejnižších odběrů vystoupá tlak v Dolních Svincích nad 70 m v.sl., v některých uzlech dokonce až nad hodnotu 78 m v.sl., jak je vidět na Obr. 68.



Obr. 67: Tlaky v síti v době nejnižších odběrů

Jako řešení doporučuji umístit před Dolní Svince redukční ventil, který bude udržovat maximální požadovaný tlak na výstupu. Z Obr. 68 by se mohlo zdát, že možným řešením by bylo také snížit vstupní tlaky na nátok do systému, to však kvůli vysoké rozkolísanosti tlaků v místní části obce Horní Třebonín, kde hodnoty klesají až k 15 m v.sl., provést nelze.



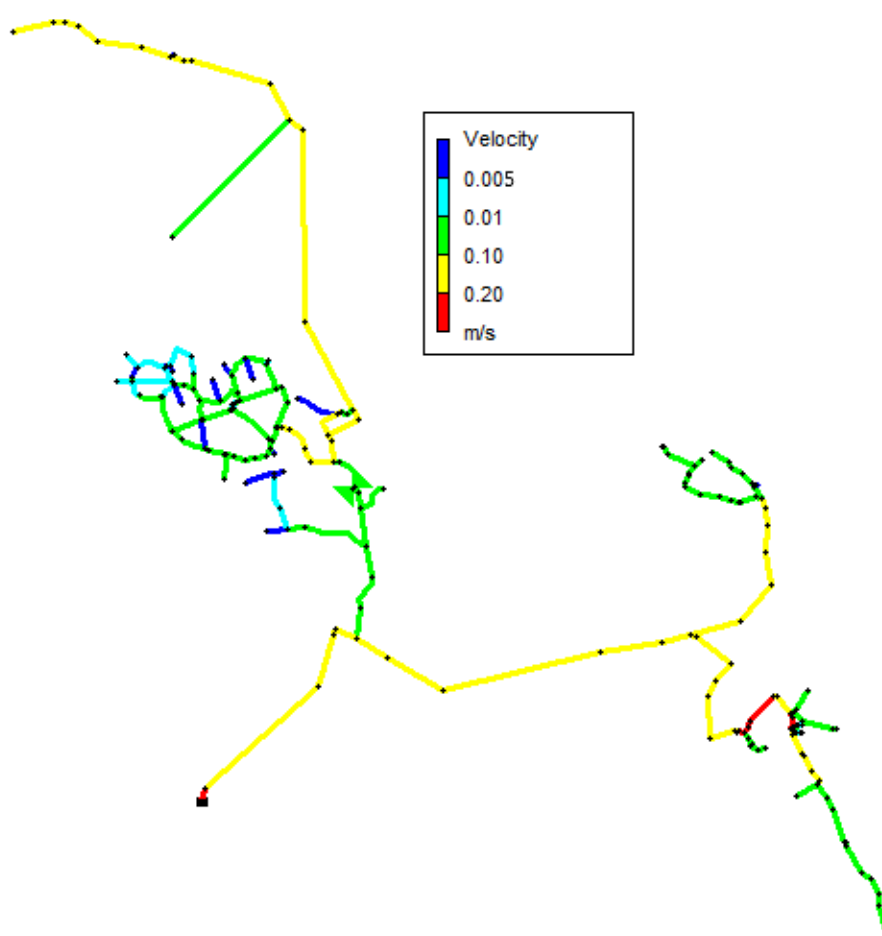
Obr. 68: Průběh tlaku pro vybraný uzel v Dolních Svincích

Tlak v uzlech na vodovodní síti za redukčním ventilem se pohybuje v rozmezí 17 až 53 m v. sl. V ulicích v místní části Dolní Třebonín, kde se nachází bytové domy s více než dvěma nadzemními podlažími nedochází k poklesu tlaku pod hodnotu 33 m v.sl. Výhledový stav 2025 tedy plně vyhovuje požadavkům na zajištění minimálních hydrodynamických přetlaků jak pro zástavbu nižší, než jsou dvě nadzemní podlaží, tak i pro zástavbu nad dvě nadzemní podlaží. Stejně tak i maximální přetlaky ve všech uzlech vyhovují stanoveným požadavkům.

Pro simulaci jsem primárně využívala současný stav vodovodní sítě, tedy včetně zvýšených místních ztrát ve vybraných místech. Protože tento stav pro výhledovou potřebu vody v roce 2025 vyhověl a na síti nevznikly žádné záporné tlaky ani tlaky nižší než 15 m v.sl., je zřejmé, že i stav při snížení těchto místních ztrát bude vyhovující.

### 7.1.2 Posouzení rychlostí

Rychlosti proudění vody se ve vodovodním systému po celou dobu simulace pohybují v rozmezí téměř od 0 až do 0,25 m/s, ve většině potrubí pak v rozmezí 0,01 – 0,1 m/s. Maximální rychlosti se v systému vyskytují opět v čase 17:00 první pracovní den, kdy znovu jen ve 13 úsecích potrubí klesá rychlost proudění pod 0,005 m/s, a v 8 úsecích potrubí, převážně v Prostředních Svincích, roste rychlost proudění nad 0,2 m/s, jak je patrné z Obr. 69.

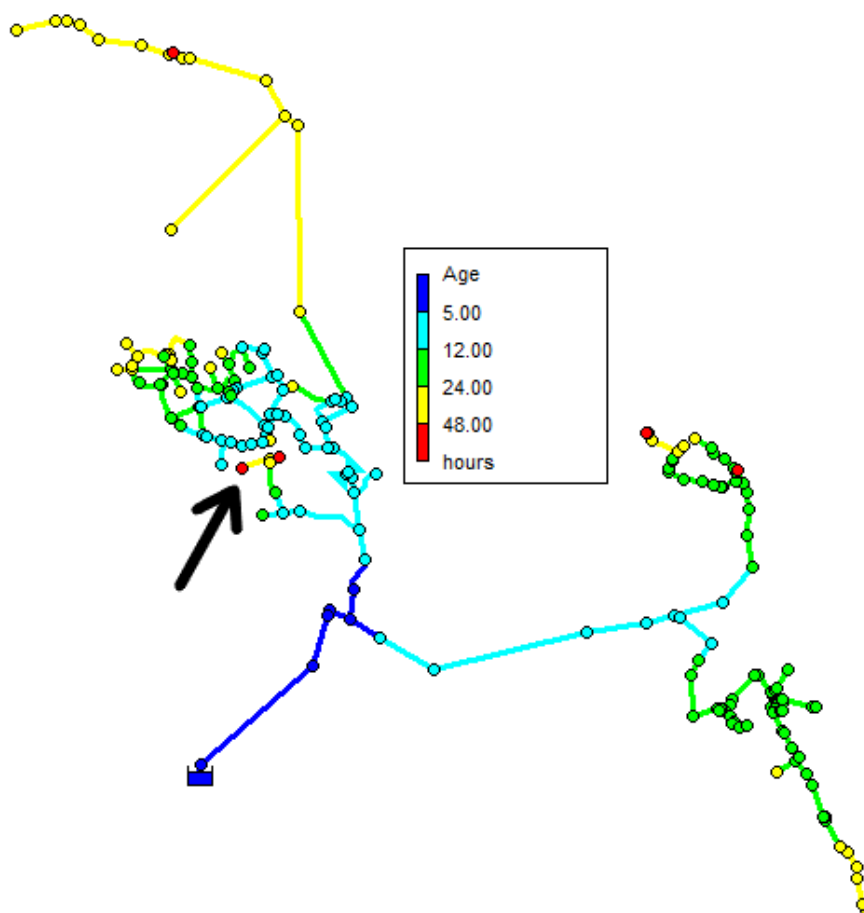


Obr. 69: Výskyt nejvyšších rychlostí v čase 17:00

S ohledem na velmi nízké rychlosti v celém vodovodním systému je možné konstatovat, že z hlediska maximálních doporučených rychlostí síť vyhovuje. Naopak zde velmi pomalé proudění zvyšuje stáří dopravované vody, které může mít negativní vliv na jakost vody u odběratele.

### 7.1.3 Posouzení stáří vody

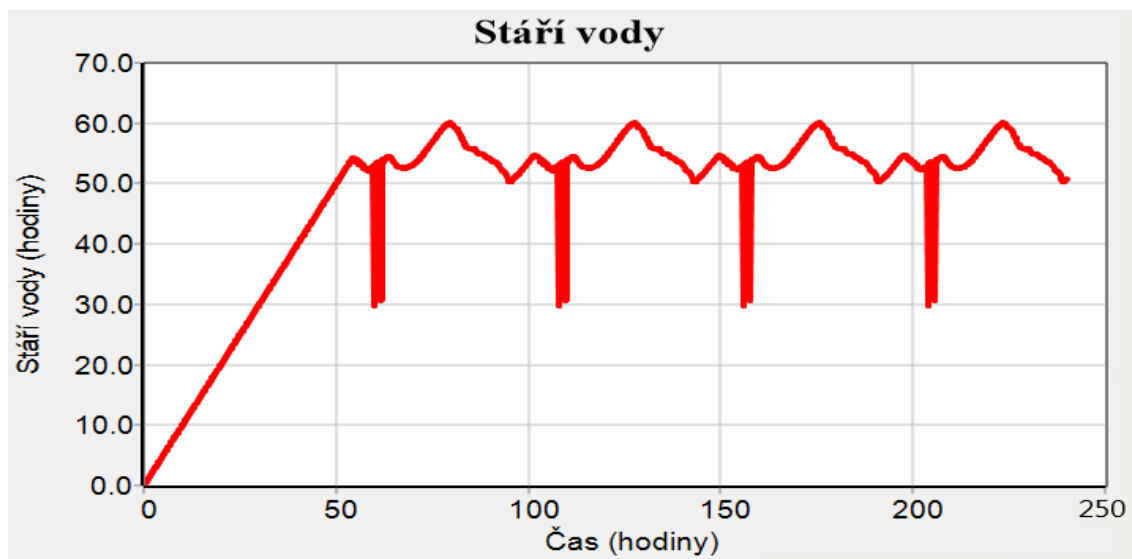
S ohledem na příliš nízké rychlosti jsem následně pro výhledový stav 2025 provedla i analýzu stáří vody v síti. Výsledné stáří vody v jednotlivých úsecích a uzlech je patrné z Obr. 70.



Obr. 70: Analýza stáří vody v síti

Pro jednotlivé body, ve kterých stáří vody vystoupalo nad 48 hodin, jsem opět provedla individuální posouzení. Kromě koncových uzlů větvěné sítě, ze kterých v současné době není voda odebírána, dochází k nejdelšímu zdržení vody znovu v uzlu na síti v Dolním Třeboníně před redukčním ventilem, který je na Obr. 70 označen šipkou. Zde stáří vody periodicky dosahuje až hodnoty 60 hodin, jak je patrné z Obr. 71.



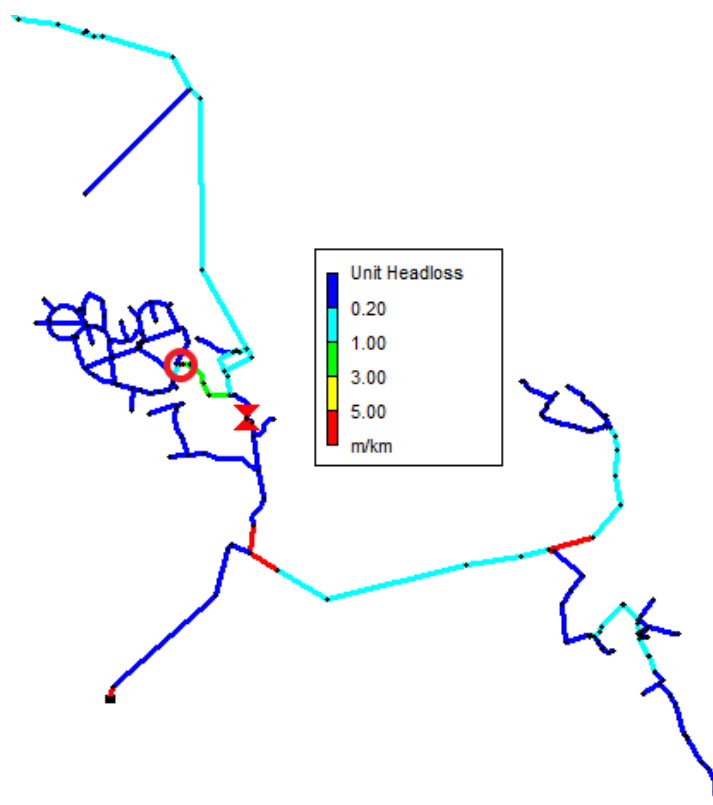


Obr. 71: Kolísání stáří vody v šetřeném bodě

V tomto bodě bych provozovateli doporučila s ohledem na vysoké hodnoty, kterých zde stáří vody dosahuje, provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

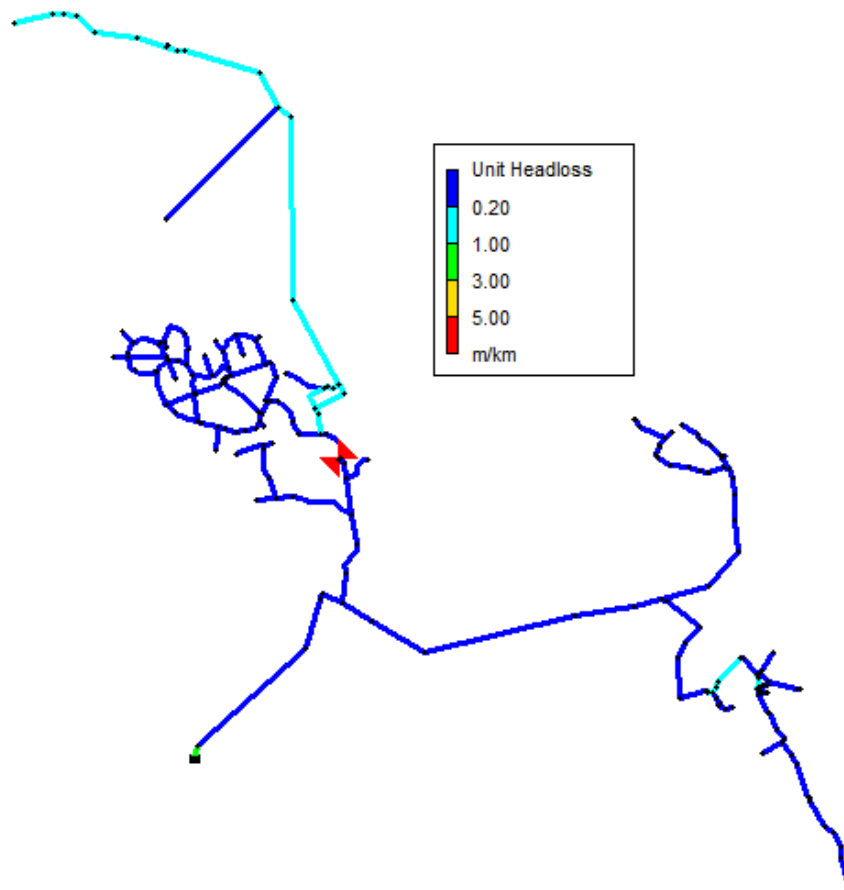
#### 7.1.4 Posouzení tlakových ztrát

Následně jsem provedla posouzení tlakových ztrát ve vodovodním systému. Největší tlaková ztráta v m/km se vyskytuje v úsecích a uzlech, kam jsem vložila zvýšené místní ztráty, viz Obr. 72. Kvůli vloženým vysokým koeficientům místní ztráty tlaková ztráta v úseku označeném kolečkem přesahuje až hodnotu 300 m/km.



Obr. 72: Tlakové ztráty v síti při zvýšených místních ztrátách

V případě, že by provozovatel na mé doporučení provedl kontrolu vybraných oblastí se zvýšenými místními ztrátami a odstranil je, jsem provedla další simulaci, ve které jsem všechny zvýšené ztráty v daných místech nahradila ztrátami nižšími tak, jak je popsáno v kapitole 6.1.4.1 Snížení místních ztrát. Pro tento případ již tlakové ztráty vycházely v celé síti výrazně nižší, hodnotu 5 m/km přesáhly pouze v úseku reprezentujícím redukční ventil, jmenovitě zde dosáhly výšky téměř 18 m/km. Ve zbytku sítě se tlakové ztráty drží pod hodnotou 3 m/km, viz Obr. 73.



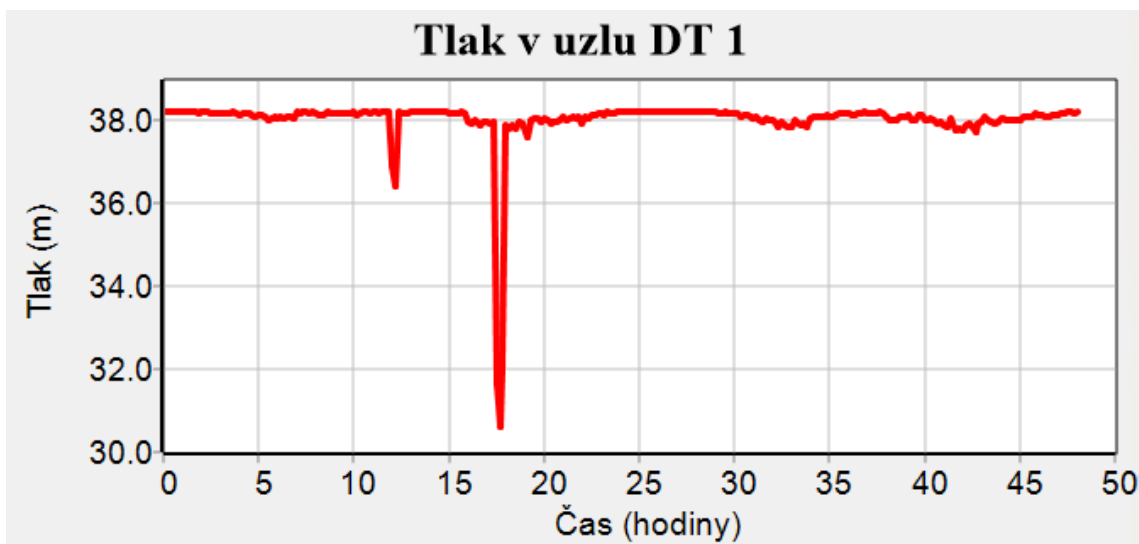
Obr. 73: Tlakové ztráty v síti po odstranění zvýšených místních ztrát

## 7.2 Posouzení vodovodní sítě při požáru

Následně jsem provedla posouzení vodovodní sítě ve výhledu v roce 2025 při požáru. V tuto dobu jsem již předpokládala snížené místní ztráty oproti současnosti ve vybraných místech vlivem provedené kontroly a případné opravy provozovatelem v čase mezi přítomností a rokem 2025. V případě využití současného stavu vodovodní sítě by nastala stejná situace jako při posouzení vodovodní sítě při požáru pro současnost provedené v kapitole 6. Vyhodnocení stávajícího stavu – tedy že by došlo ke vzniku záporných tlaků ve vodovodní síti při každém šetřeném zatěžovacím stavu.

### 7.2.1 Uzel DT 1

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 1 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 7,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 74.

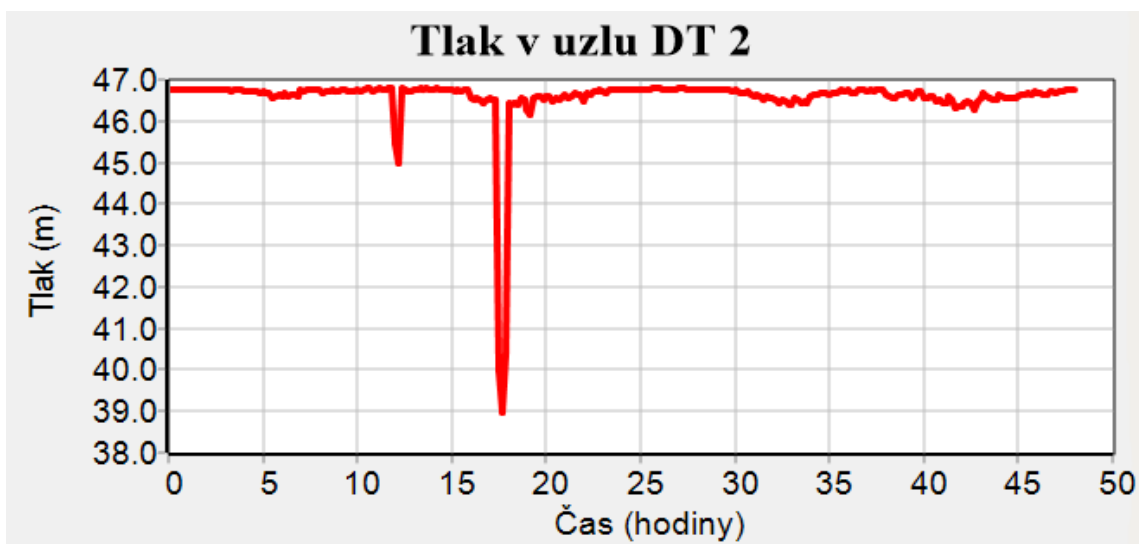


Obr. 74: Průběh tlaku v uzlu DT 1 po odstranění zvýšených místních ztrát

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 1 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.

### 7.2.2 Uzel DT 2

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 2 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 6,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 75.

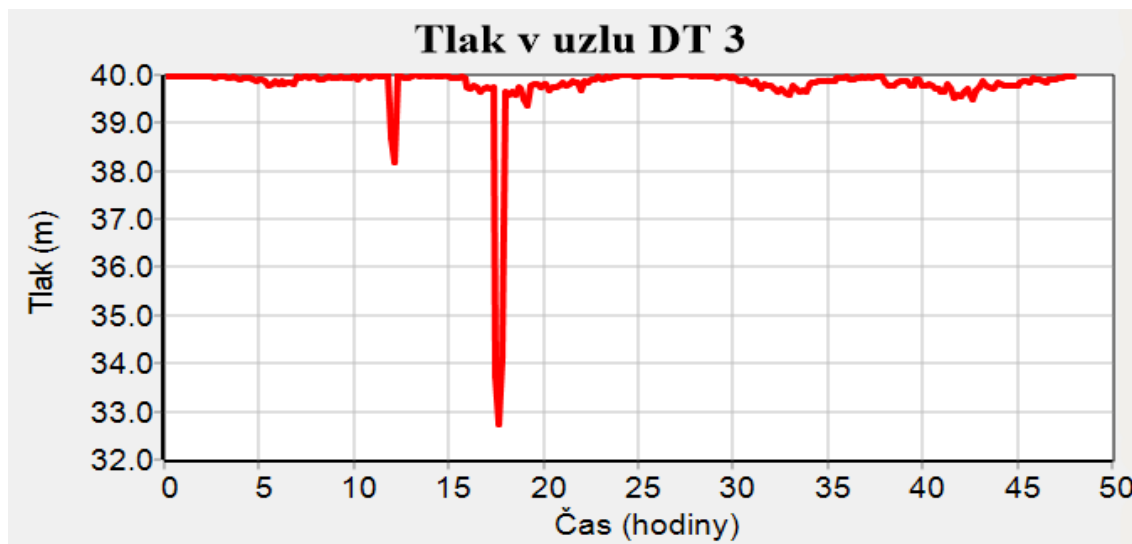


Obr. 75: Průběh tlaku v uzlu DT 2 po odstranění zvýšených místních ztrát

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 2 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.

### 7.2.3 Uzel DT 3

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 3 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 7 m v.sl., jak je patrné z Obr. 76.

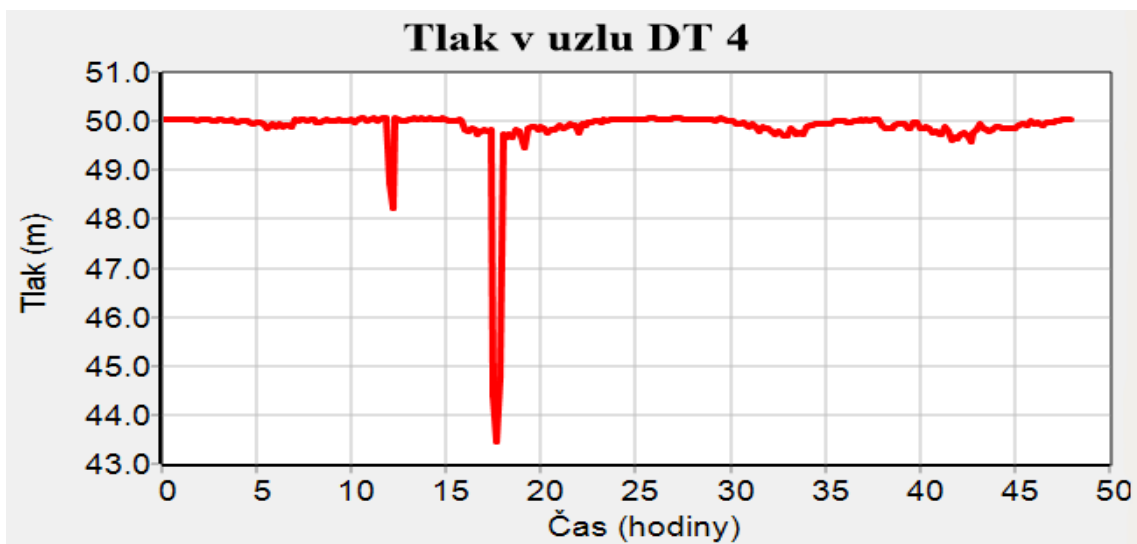


Obr. 76: Průběh tlaku v uzlu DT 3 po odstranění zvýšených místních ztrát

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 3 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.

### 7.2.4 Uzel DT 4

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 4 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 6,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 77.

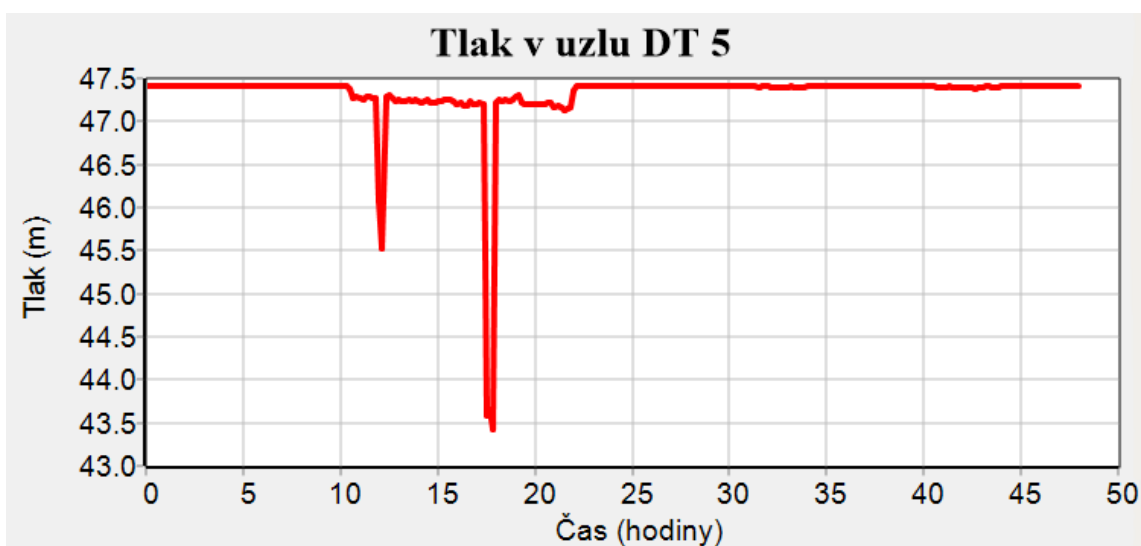


Obr. 77: Průběh tlaku v uzlu DT 4 po odstranění zvýšených místních ztrát

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 4 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.

### 7.2.5 Uzel DT 5

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 5 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 3,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 78.

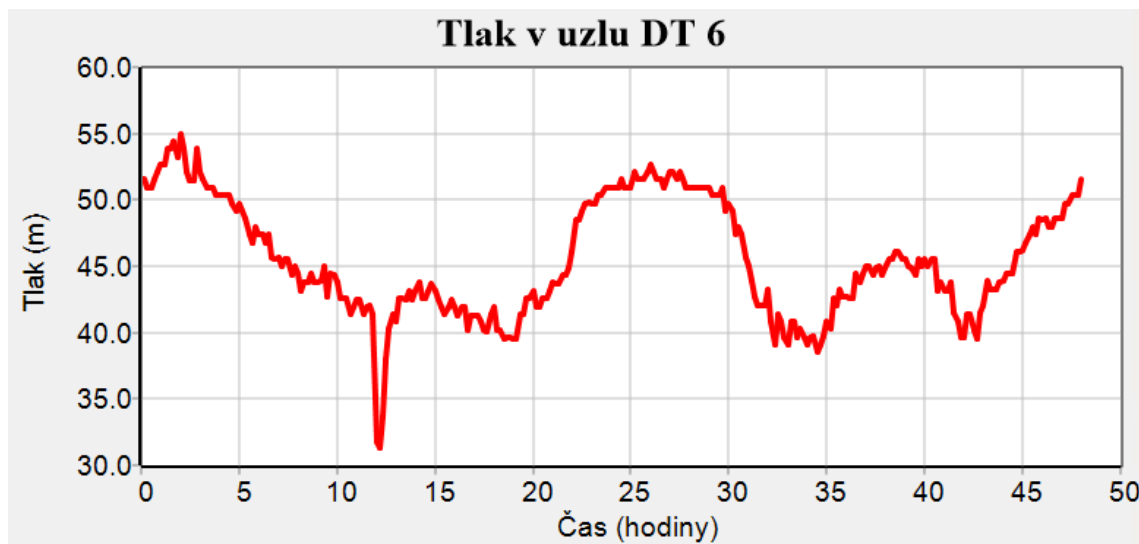


Obr. 78: Průběh tlaku v uzlu DT 5 po odstranění zvýšených místních ztrát

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 5 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.

### 7.2.6 Uzel DT 6

Při vložení požárního odběru z nadzemního hydrantu v uzlu DT 6 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 10 m v.sl., jak je patrné z Obr. 79.

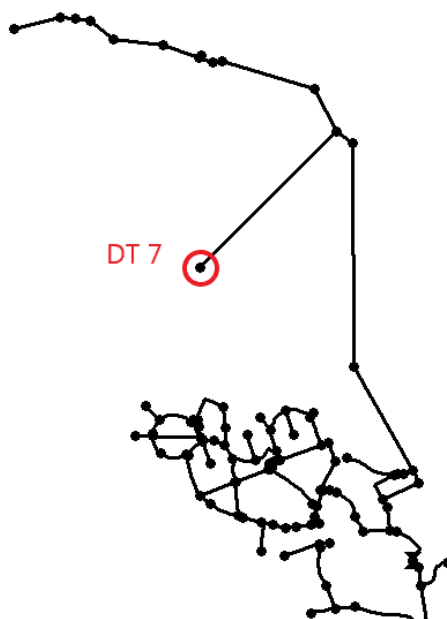


Obr. 79: Průběh tlaku v uzlu DT 6 po odstranění zvýšených místních ztrát

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 6 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.

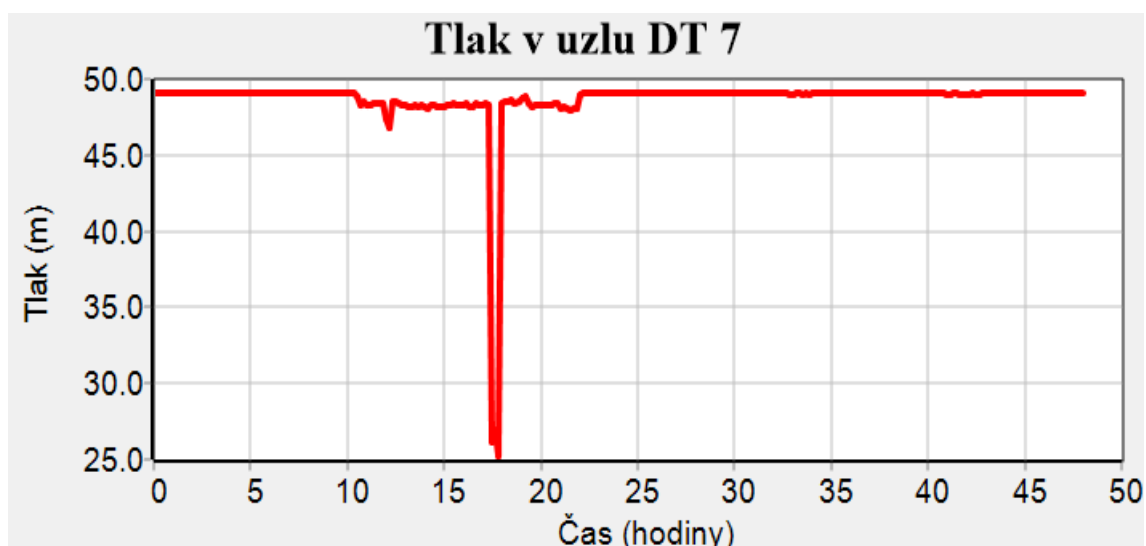
### 7.2.7 Uzel DT 7

Pro výhledový stav v roce 2025 jsem na vodovodní síť přidala požární hydrant do uzlu reprezentujícího odběr novou ZTV, viz Obr. 80. V tomto bodě se nejnižší hodnota tlaků vyskytuje v 17:40 první pracovní den, proto jsem do tohoto uzlu zadala požární odběr ve výši 4 l/s trvající 30 minut od 17:30 do 17:50.



Obr. 80: Umístění nového požárního hydrantu pro výhledový stav 2025

Při vložení požárního odběru z navrženého hydrantu v uzlu DT 7 do modelu vznikly záporné hodnoty tlaků v uzlu reprezentujícím vodojem v době požárních odběrů. Protože je však vodojem plněn shora, záporná hodnota tlaku vyjadřuje pouze to, že v době trvání požáru dojde k omezení nátoky vody do vodojemu, který může klesat až na nulu. V ostatních bodech sítě však již tento problém se zápornými tlaky nenastává a síť tedy plně vyhovuje. V šetřeném bodě zároveň došlo k poklesu tlaku o cca. 23 m v.sl., jak je patrné z Obr. 81.

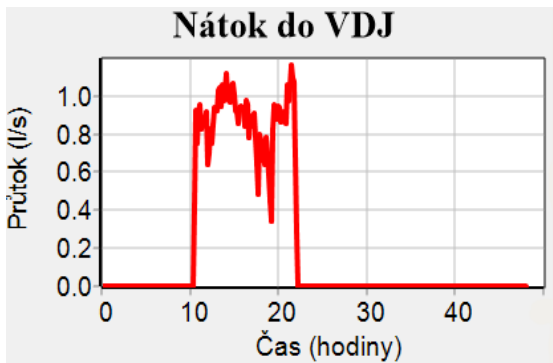


Obr. 81: Průběh tlaku v uzlu DT 7 po odstranění zvýšených místních ztrát

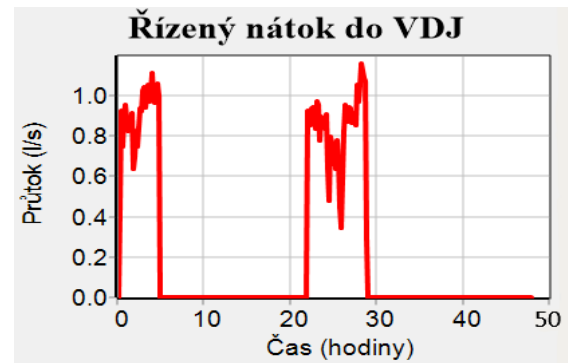
V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, hydrant umístěný v uzlu DT 7 plně vyhoví své funkci i v roce 2025.



Pokud by z nějakého důvodu bylo nutné i v případě požárních odběrů zabezpečit nátok konstantního denního objemu vody do vodojemu, nejméně nákladnou variantou řešení v tomto případě je možnost řízení nátoků do vodojemu. Proto jsem provedla úpravu průběhu natékání vody do vodojemu, kdy jsem celkový denní objem vody dodané do vodojemu rozdělila v čase tak, aby v době požárních odběrů, tedy v rozmezí 17:30 – 17:50 první pracovní den žádná voda do vodojemu nenatékala a plnění vodojemu bylo realizováno pouze v nočních hodinách.

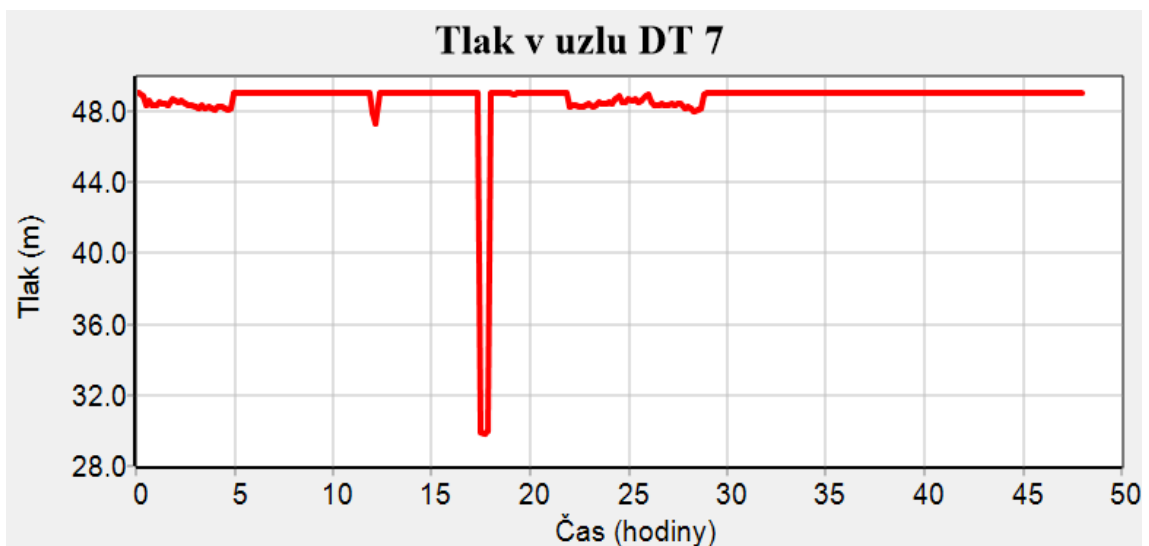


Obr. 82: Nátok do vodojemu



Obr. 83: Upravený nátok do vodojemu

Pro tuto variantu již nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě dojde k poklesu tlaku o cca. 19,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 84.

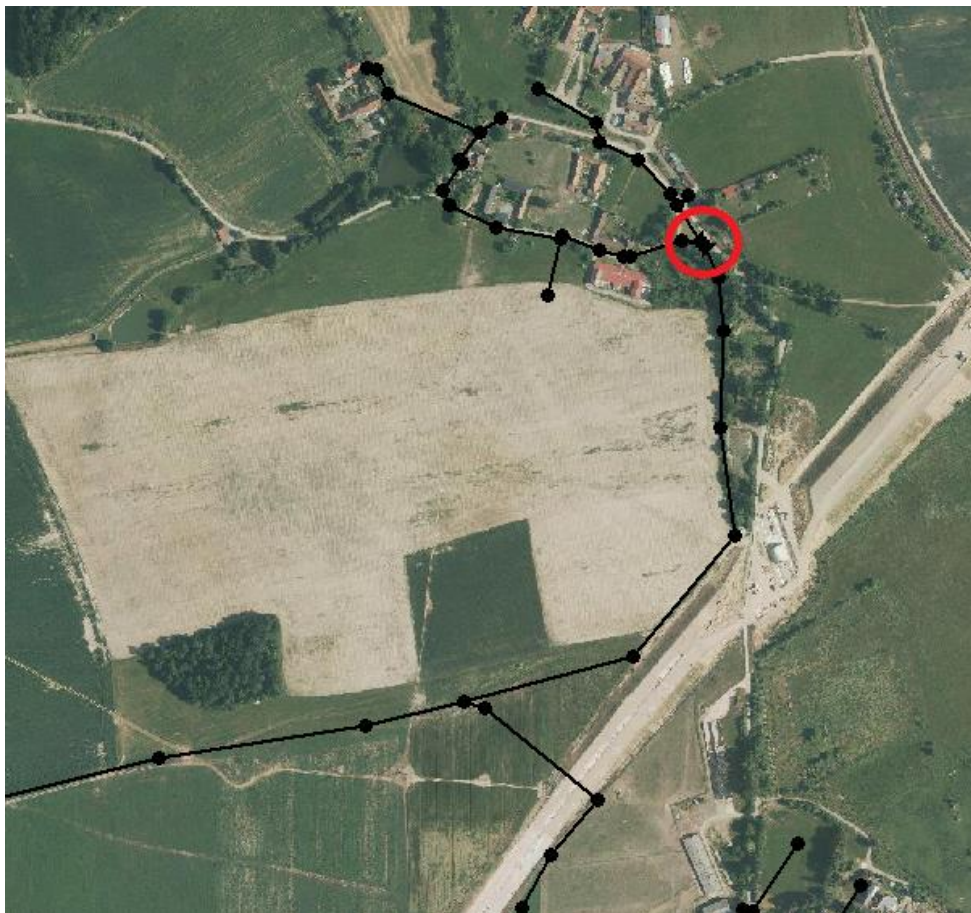


Obr. 84: Průběh tlaku v uzlu DT 7 po úpravě nátoků do vodojemu

### 7.3 Závěrečná doporučení a zhodnocení

S ohledem na příliš vysoké tlaky v celé místní části obce Dolní Svince bych doporučila provozovateli osadit na nátok do této místní části obce redukční ventil. Na základě

výsledků bych ho doporučila nastavit na udržování stejného stálého výstupního tlaku, jako v Dolním Třeboníně – tedy na hodnotu 4 bary.



Obr. 85: Umístění navrženého redukčního ventilu před Dolními Svinci

Na základě nízké rychlosti proudění vody v celém systému vzniká na síti uzlu, ve kterém stáří vody převyšuje hodnotu 60 hodin. V tomto bodě bych provozovateli doporučila s ohledem na vysoké hodnoty, kterých zde stáří vody dosahuje, provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

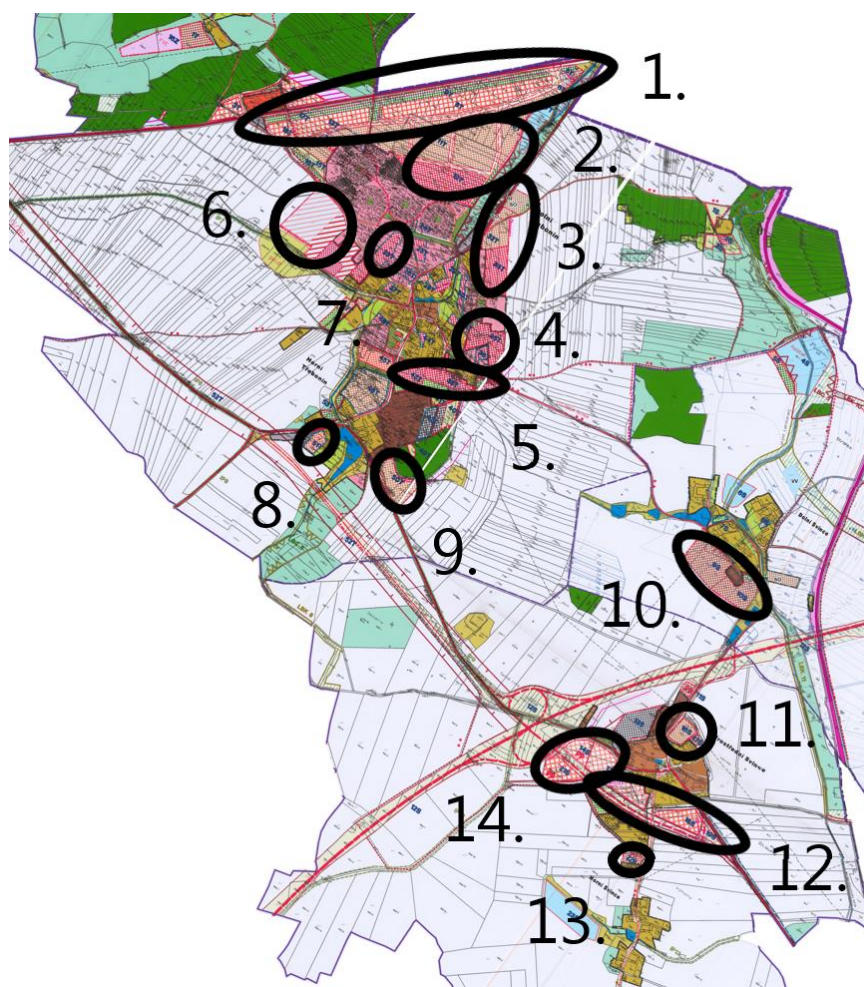
Vlivem zvýšených místních ztrát v dříve definovaných uzlech a úsecích v nich vznikaly velmi vysoké ztráty tlaku. Stejná situace by nastala i při prvotním spuštění modelu při posuzování chování současné sítě při požáru, kdy by vycházely v síti záporné tlaky. Jak již bylo uvedeno výše, pro vyhodnocení chování sítě v roce 2025 při požáru jsem však předpokládala již snížené místní ztráty oproti současnosti ve vybraných místech vlivem provedené kontroly a případné opravy provozovatelem v čase mezi přítomností a rokem 2025. Pro tento stav se sníženými místními ztrátami se pak již tlakové ztráty v celé síti pohybovaly v nízkých hodnotách s výjimkou redukčního ventilu. S ohledem

na nízké rychlosti, a i nízké ztráty tlaku je tedy možné konstatovat, že síť má v případě snížených místních ztrát dostatečnou kapacitu.

Pro všechny šetřené body při požáru při snížených místních ztrátách vyšly v celé síti nezáporné tlaky kromě stavu při vložení požárního odběru z hydrantu umístěného v uzlu DT 7. Protože je však vodojem plněn shora, záporná hodnota tlaku vyjadřuje pouze to, že v době trvání požáru dojde k omezení nátoky vody do vodojemu, který může klesat až na nulu. Pokud by z nějakého důvodu bylo nutné i v případě požárních odběrů zabezpečit nátok konstantního denního objemu vody do vodojemu, doporučila bych provozovateli řídit nátoky vody do vodojemu a změnit tak současný průběh nátoků tak, aby veškerá voda do vodojemu natékala v nočních hodinách, tedy v době nejmenších odběrů a nejvyšších tlaků.

## 8 Vyhodnocení pro výhledový stav 2040

### 8.1 Výhledová potřeba vody



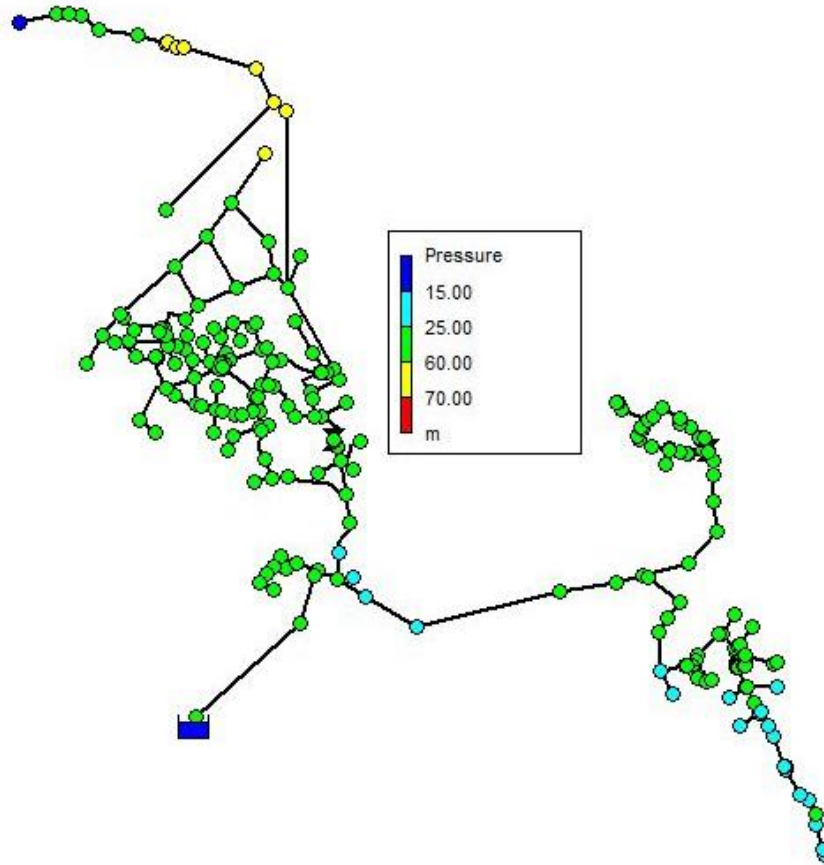
Obr. 86: Plochy pro bydlení a občanskou vybavenost přidané do modelu pro rok 2040 [63]

Z územního plánu obce Dolní Třebonín jsem určila jednotlivé rozvojové plochy. Největší rozvojová plocha se nachází na sever a východ od obytné zástavby Dolního Třebonína. V této oblasti je už i zároveň navržena dopravní infrastruktura, proto jsem zde provedla celkový nový návrh vodovodní sítě, stejně tak i v Horním Třeboníně. Nově navržená vodovodní síť je provedená z PE o drsnosti 0,02 mm a s DN 110. Ostatní rozvojové plochy, převážně plochy bydlení – vesnické, rodinných a bytových domů, plochy obytné a smíšené a plochy občanského vybavení jsou rovnoměrně rozloženy po obvodu místních částí a do modelu jsem je zadala jen reprezentativním uzlem s příslušným odběrem a průměrnou nadmořskou výškou připojeným na současnou stávající síť potrubím z polyethylénu DN 90 a drsností 0,02 mm.

Počet obyvatel v rodinném domě jsem předpokládala jako 4, bytový dům jsem dle již stojících domů a územního plánu obce uvažovala jako třípatrový se 3 byty na podlaží a se 3 obyvateli v každém bytě. U ploch bydlení – RD a BD jsem stanovila dvě třetiny oblasti pro zástavbu rodinných domů a jednu třetinu pro zástavbu domů bytových. Pro všechny rozvojové oblasti jsem graficky určila jejich plochu a podle ní jsem dané oblasti přiřadila příslušnou velikost odběrů. Pro obytné plochy není v územním plánu výslovně specifikovaná průměrná velikost parcely rodinného či bytového domu, proto jsem dle již existujících parcel v Dolním Třeboníně určila průměrnou plochu parcely rodinného domu na 550 m<sup>2</sup> a bytového domu na 350 m<sup>2</sup>. Roční potřebu pitné vody pro obyvatele v rodinném domě jsem uvažovala jako 36 m<sup>3</sup>/os.rok a v bytovém domě jako 35 m<sup>3</sup>/os.rok. Pro denní průběh odběrů jsem opět využila průběh odběrů vody obyvatelstvem v Dolním a Horním Třeboníně a v Prostředních Svincích. Výpočet potřeby vody jsem pak provedla dle Směrnice 9/1973.

Pro výhledový stav roku 2040 jsem následně ještě zvýšila kapacitu mateřské a základní školy v Dolním Třeboníně. Dle předpokládaného navýšení počtu obyvatel v celé obci jsem o stejné procento navýšila i předpokládaný počet žáků a učitelů mateřské a základní školy, stejně tak i počet denně vydaných jídel v jídelně. Denní průběh odběrů vody u těchto velkoodběratelů jsem ponechala stejný, jako pro současný a výhledový stav 2025. Nakonec jsem před rozdvojení vodovodní sítě v Dolních Svincích umístila redukční ventil udržující výstupní tlak na hodnotě 4 bary, tedy 40,79 m v.sl. pro eliminaci příliš vysokých tlaků v této místní části obce.

Nejprve jsem do modelu zadala pouze odběry vody obyvatelstvem pro posouzení, zda současná kapacita vodovodní sítě vyhoví. S ohledem na zvýšené místní ztráty ve vybraných místech je kapacita vodovodní sítě natolik omezená, že tyto výhledové odběry vody není schopna zajistit a v síti tak vznikají záporné hodnoty tlaků. Proto jsem pro výhledový stav v roce 2040 všechny zvýšené místní ztráty nahradila ztrátami nižšími tak, jak je popsáno v kapitole 6.1.4.1 Snížení místních ztrát. Pro upravený model již výpočet proběhl bez problémů a na síti nevnikaly žádné záporné hodnoty tlaků. K jejich největšímu poklesu došlo v Horním Třeboníně okolo 12:00 první pracovní den a 17:00 v Horním Třeboníně, koncových bodech v Prostředních a Horních Svincích v tom samém dni. I při těchto minimech však nedošlo k poklesu tlaku pod hodnotu 15 m v.sl.. Jediným bodem, ve kterém se dle Obr. 87 drží tlak pod hodnotou 15 m v. sl. je uzel reprezentující vodojem Záluží.



Obr. 87: Vodovodní síť pro rok 2040 jen pro obyvatelstvo v době výskytu minimálních tlaků

Pro další zatěžovací stav jsem do modelu přidala i odběry vody blíže nespecifikovanou občanskou vybaveností pro příslušné plochy. Pro odběr vody občanskou vybaveností jsem dle Směrnice 9/1973 uvažovala denní odběr 30 l/os.den pro předpokládaný nárůst obyvatel. Celkovou potřebu vody jsem následně poměrově dle jednotlivých velikostí parcel rozdělila mezi body reprezentující tyto plochy. Pro denní průběh odběrů vody občanskou vybaveností jsem využila Přílohu C Směrnice 9/1973.

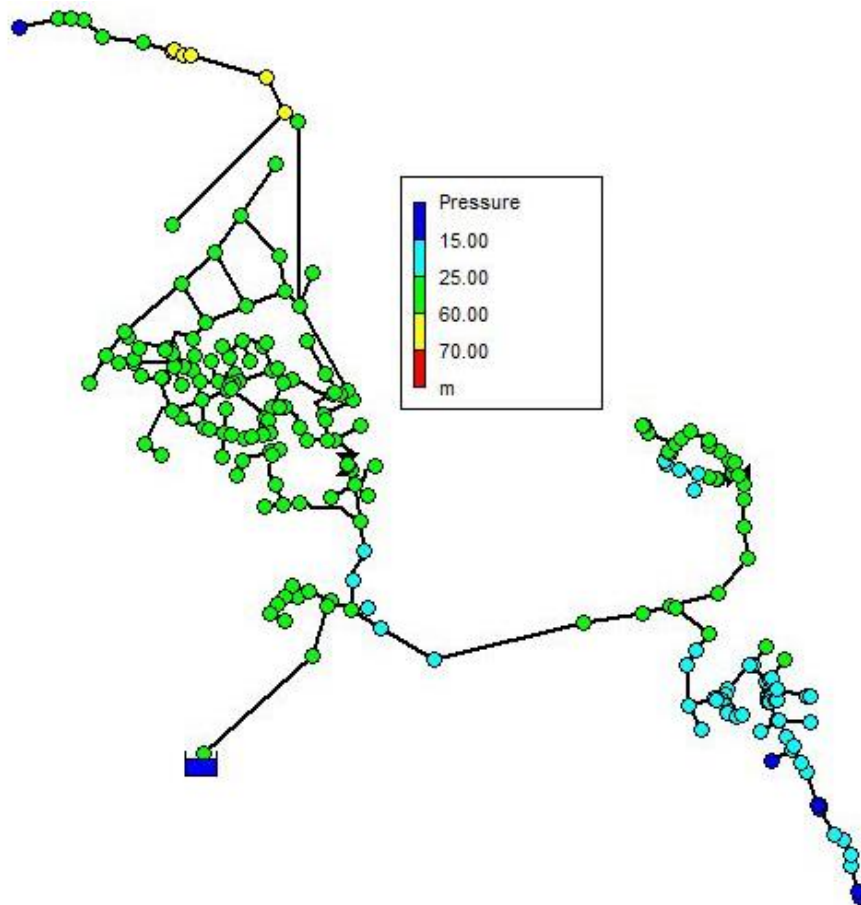
Velikosti odběrů zadaných do jednotlivých oblastí na Obr. 86 a výsledné odběry dle kapacity sítě jsou vypsány v Tab. 36 níže. Snížení odběru dle kapacity sítě u 12. a 14. oblasti je vysvětleno v následující kapitole 8.1.1 – Posouzení tlaků.

Tab. 36: Odběry z jednotlivých přidaných ploch v roce 2040

Oblast	Velikost odběrů (l/s)	Výsledné odběry dle kapacity sítě (l/s)
1.	1,383	1,383
2.	0,865	0,865
3.	0,203	0,203
4.	0,199	0,199
5.	0,203	0,203
6.	0,340	0,340
7.	0,090	0,090
8.	0,078	0,078
9.	0,136	0,136
10.	0,403	0,403
11.	0,093	0,093
12.	0,163	<b>0,114</b>
13.	0,019	0,019
14.	0,264	<b>0,055</b>

### 8.1.1 Posouzení tlaků

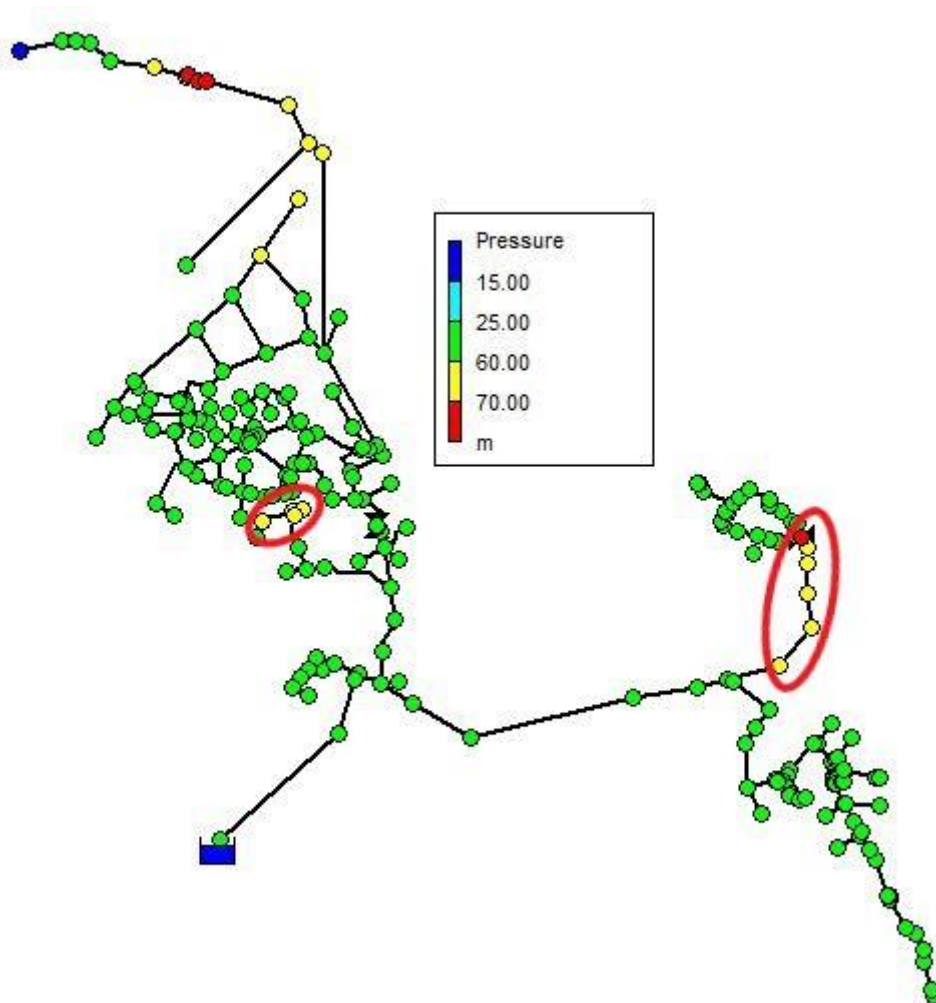
I pro tento zatěžovací stav, tedy pro bytový fond i občanskou vybavenost ve výhledu v roce 2040 v síti nevznikly žádné záporné hodnoty tlaků. Ve výhledovém stavu se tlaky ve většině uzlů vodovodního systému před redukčním ventilem pohybují v rozmezí 25–60 m v.sl., k jejich největšímu poklesu ale došlo v Horním Třeboníně a koncových bodech v Prostředních a Horních Svincích ve 12:00 a především v 17:00 první pracovní den, viz Obr. 88. V 17:00 dojde dokonce k poklesu tlaku v koncovém bodě v Horních Svincích až na hodnotu 11,51 m v.sl.



Obr. 88: Výskyt nejnižších tlaků v čase 17:00

Další výjimkou jsou čtyři koncové uzly na větvné síti před redukčním ventilem, kde naopak ve špičkách tlak přesahuje až hodnotu 65 m v.sl. a uzly před zástavbou v Dolních Svincích, kde tlak dosahuje hodnot až téměř 71 m v.sl., viz Obr. 89.

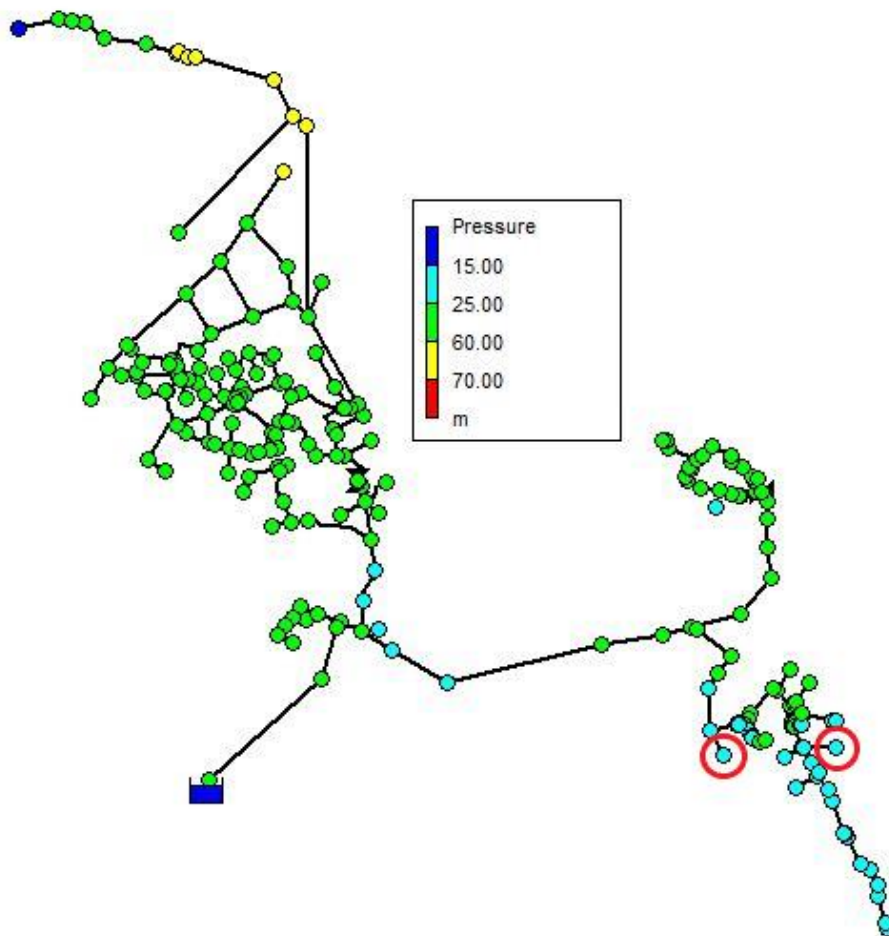




Obr. 89: Výskyt nejvyšších tlaků

Za redukčním ventilem se tlak v uzlech na vodovodní síti pohybuje v rozmezí 23 až 61 m v. sl. V ulicích v místní části Dolní Třebonín, kde se nachází bytové domy s více než dvěma nadzemními podlažními nedochází k poklesu tlaku pod hodnotu 33 m v.sl. Výhledový stav sítě pro rok 2040 tedy plně vyhovuje požadavkům na zajištění maximálních přetlaků ve všech uzlech, ne však již pro zajištění minimálních přetlaků v Horních Svincích. Pro vyřešení tohoto problému jsem změnila odběry vody zadanou občanskou vybaveností v místní části obce Prostřední Svince tak, aby byly v celé síti zajištěny minimální požadované tlaky. Dle Obr. 90 lze konstatovat, že při snížení všech odběrů z vyznačených bodů na hodnotu 0,055 l/s již v celé síti vzniknou tlaky vyšší než 15 m v.sl.. Hodnota odběru 0,055 l/s je tedy tou hraniční, která by pro vyznačené body v případě vzniku nové občanské vybavenosti v této lokalitě s uvažováním ostatní neměnné bytové zástavby i občanské vybavenosti ve zbývajících řešených částech obce mohla být maximálně povolena. Hodnotu těchto snížených

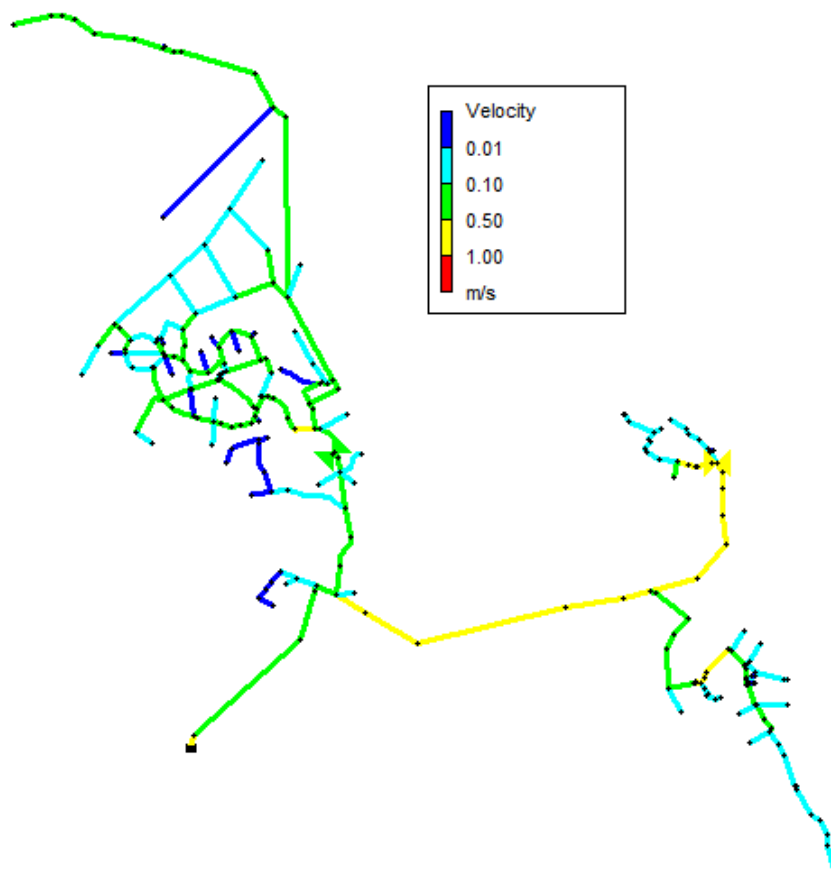
odběrů jsem tedy následně započítala mezi výsledné odběry dle kapacity sítě pro jednotlivé oblasti dle Obr. 86 uvedené v Tab. 36 výše.



Obr. 90: Vyznačení uzlů se sníženým odběrem vody

### 8.1.2 Posouzení rychlostí

Pro tento upravený stav se rychlosti proudění vody ve vodovodním systému po celou dobu simulace pohybují v rozmezí téměř od 0 až do 1 m/s, ve většině potrubí pak v rozmezí 0,01 – 0,2 m/s. Maximální rychlosti se v systému vyskytují v čase 17:00 první pracovní den, kdy v několika úsecích potrubí roste rychlost proudění nad 0,5 m/s, jak je patrné z Obr. 91.

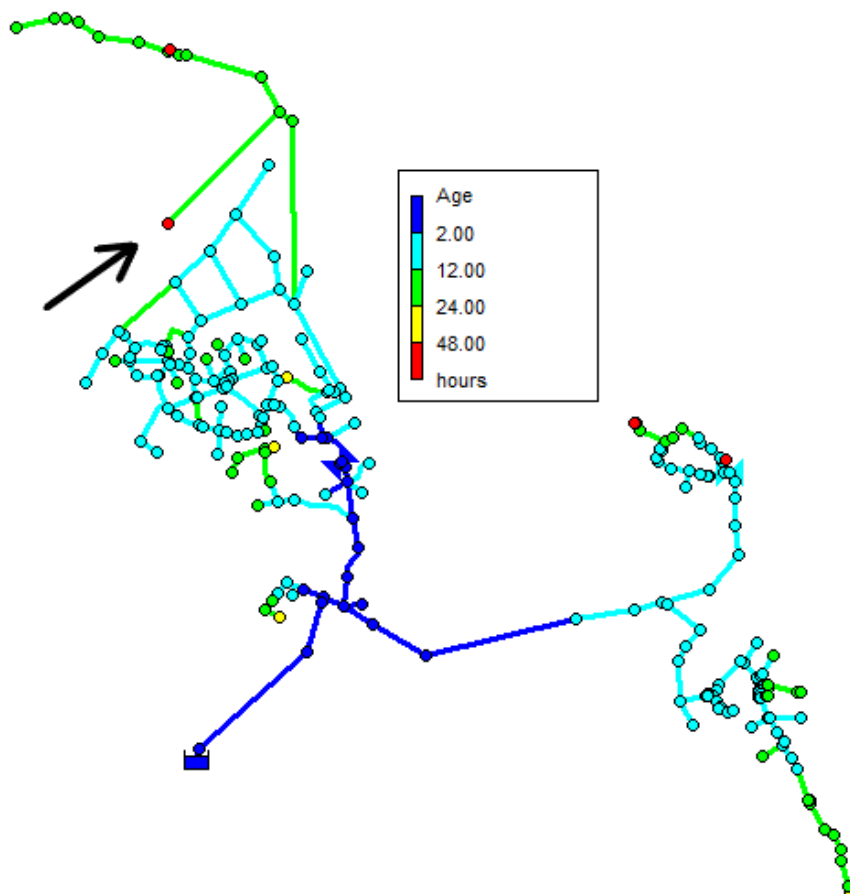


Obr. 91: Výskyt nejvyšších rychlostí v čase 17:00

S ohledem na nízké rychlosti, které nikdy nepřesáhnou hodnotu 1 m/s v celém vodovodním systému, je možné konstatovat, že z hlediska maximálních doporučených rychlostí síť vyhovuje. Naopak zde pomalé proudění zvyšuje stáří dopravované vody, které může mít negativní vliv na jakost vody u odběratele.

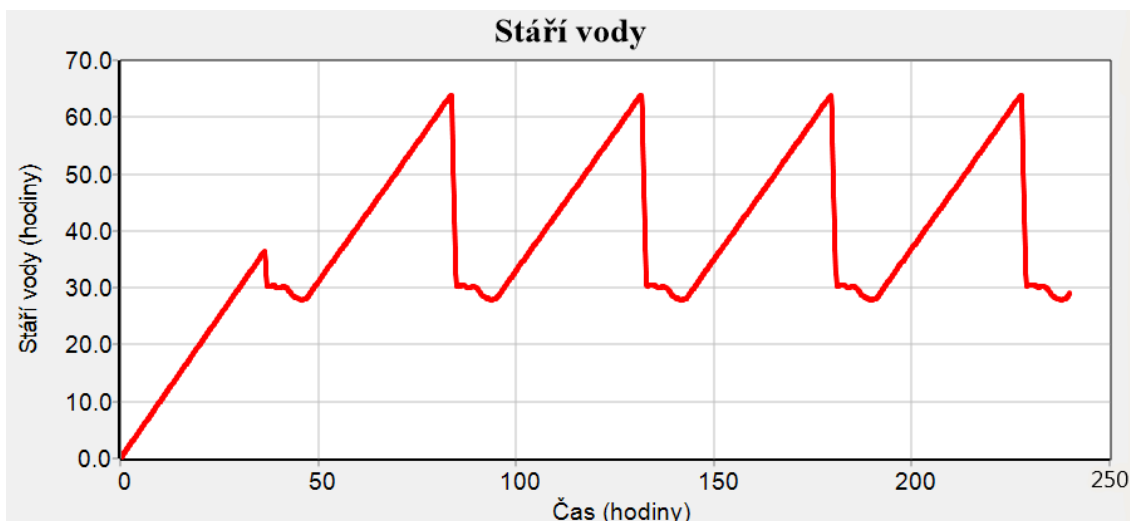
### 8.1.3 Posouzení stáří vody

V souvislosti s výskytem nízkých rychlostí proudění vody v systému jsem následně pro výhledový stav v roce 2040 provedla i analýzu stáří vody v síti. Protože byl časový úsek 48 hodin pro projev periodického chování stáří vody příliš krátký, změnila jsem dobu simulace na 240 hodin. Výsledné stáří vody v jednotlivých úsecích a uzlech je patrné z Obr. 92.



Obr. 92: Analýza stáří vody v síti

Pro jednotlivé body, ve kterých stáří vody vystoupalo nad 48 hodin, jsem provedla individuální posouzení. Kromě koncových uzlů větvné sítě, ze kterých není voda odebírána, dochází k nejdelšímu zdržení vody v uzlu na síti v místě nové ZTV nad Dolním Třebonínem, který je na Obr. 92 označen šipkou. Zde stáří vody periodicky dosahuje až téměř hodnoty 64 hodin, jak je patrné z Obr. 93.

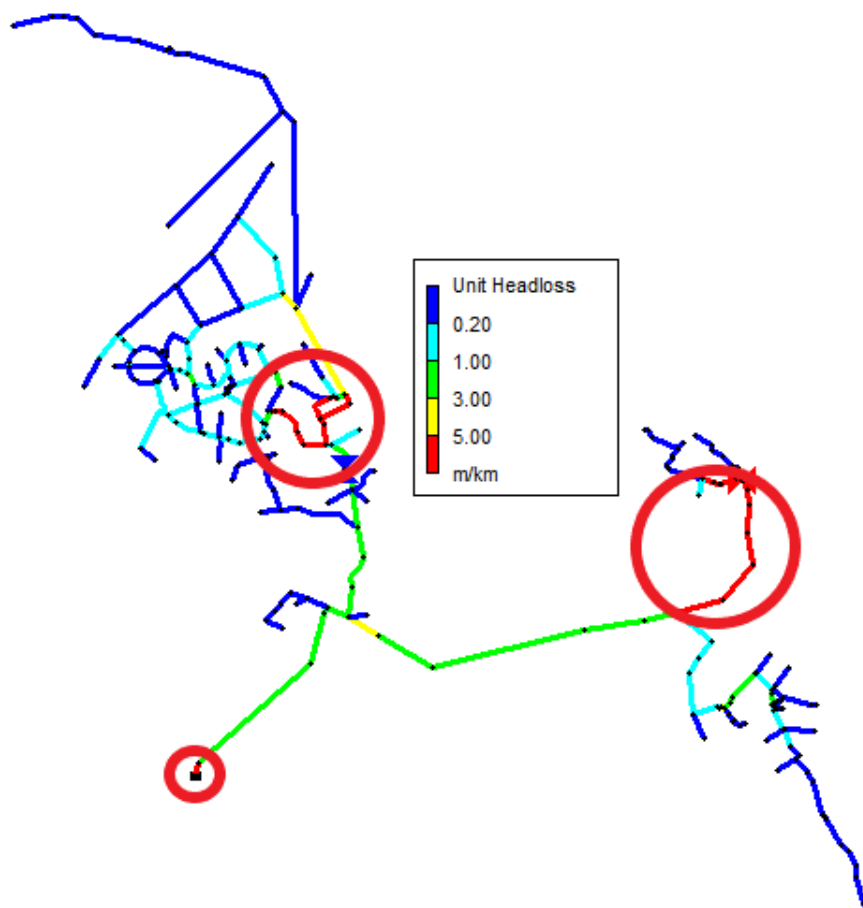


Obr. 93: Kolísání stáří vody v šetřeném bodě

V tomto bodě bych provozovateli doporučila s ohledem na vysoké hodnoty, kterých zde stáří vody dosahuje, provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

### 8.1.1 Posouzení tlakových ztrát

Následně jsem provedla posouzení tlakových ztrát ve vodovodním systému. Největší tlaková ztráta v m/km se vyskytuje v úsecích označených kolečkem, viz Obr. 94 a v úsecích reprezentujících redukční ventily. Maximální tlaková ztráta v síti přesahuje hodnotu 35 m/km.



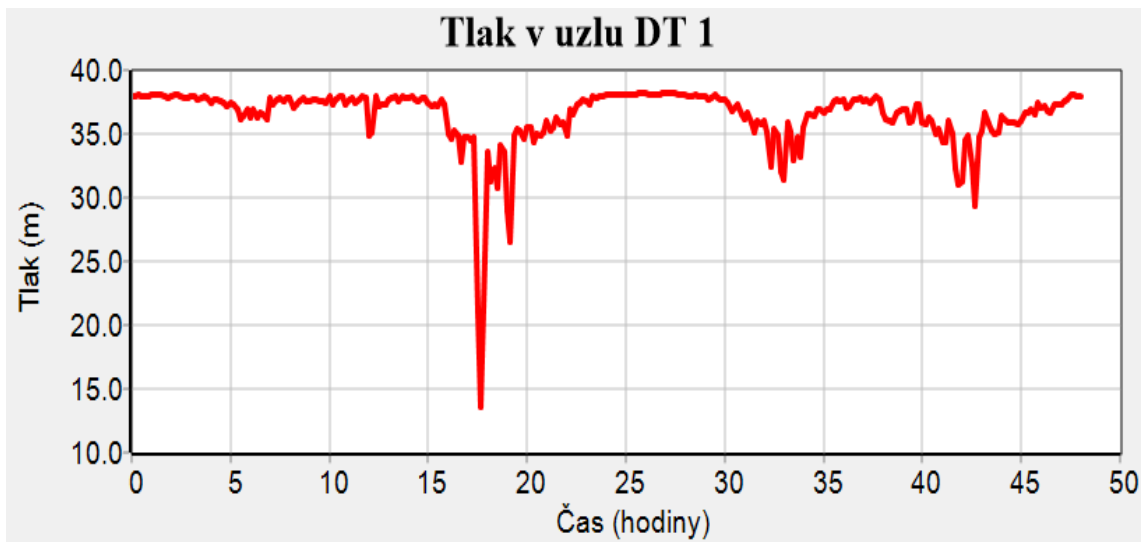
Obr. 94: Tlakové ztráty v síti po odstranění zvýšených místních ztrát

## 8.2 Posouzení vodovodní sítě při požáru

Následně jsem provedla posouzení vodovodní sítě ve výhledu v roce 2040 při požáru. V případě vložení požárního odběru do všech šetřených bodů za redukčním ventilem vznikly v síti záporné hodnoty tlaků v uzlu reprezentujícím vodojem Záluží. Protože je však vodojem plněn shora, záporná hodnota tlaku vyjadřuje pouze to, že v době trvání požáru dojde k omezení nátoky vody do vodojemu, který může klesat až na nulu. V ostatních bodech sítě však již tento problém se zápornými tlaky nenastává a síť tedy plně vyhovuje.

### 8.2.1 Uzel DT 1

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 1 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 21 m v.sl., jak je patrné z Obr. 95.

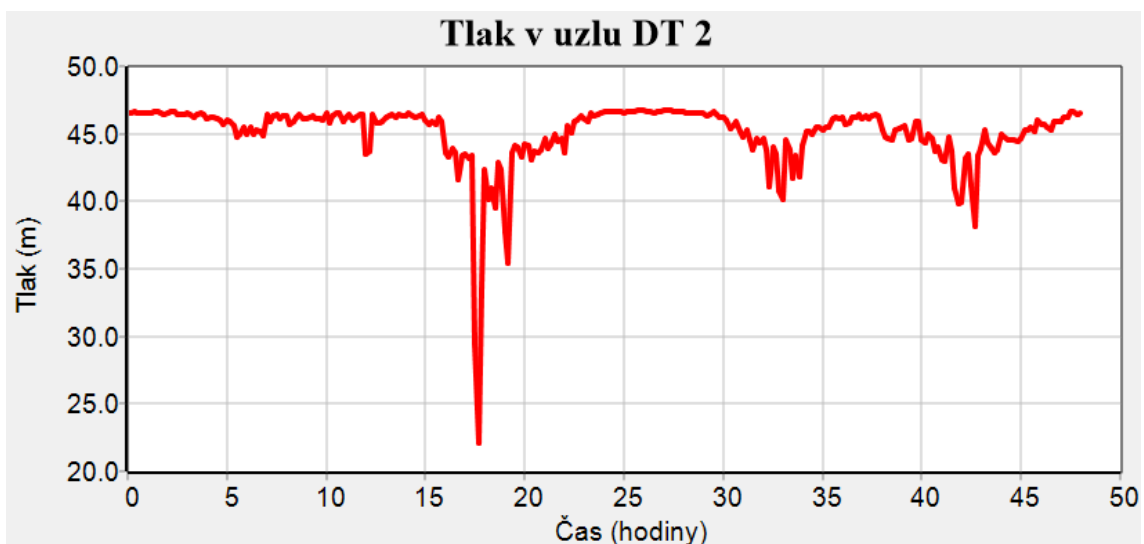


Obr. 95: Průběh tlaku v uzlu DT 1

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 1 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.2 Uzel DT 2

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 2 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 21,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 96.

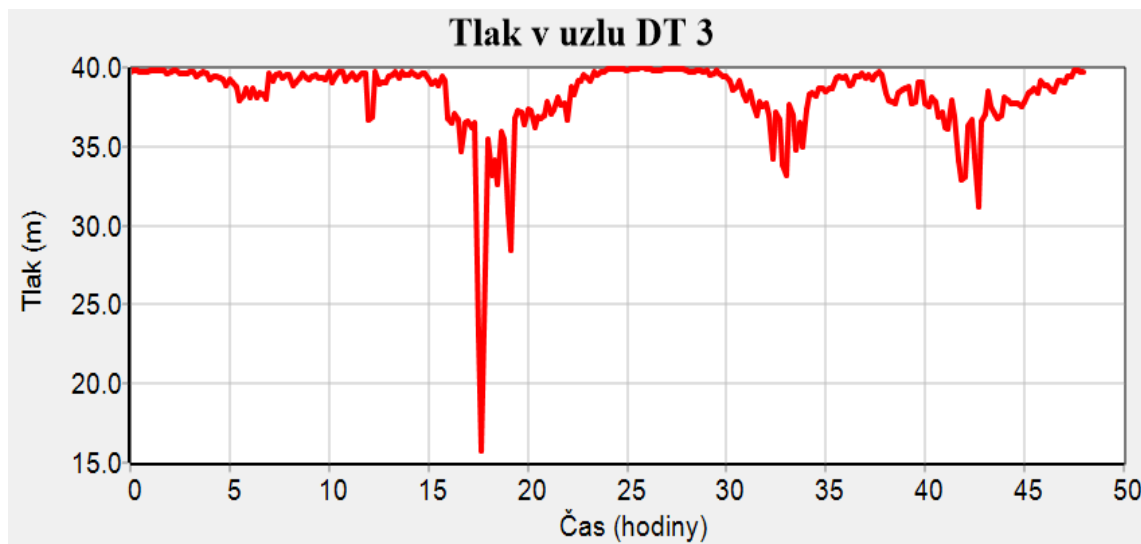


Obr. 96: Průběh tlaku v uzlu DT 2

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 2 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.3 Uzel DT 3

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 3 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 21 m v.sl., jak je patrné z Obr. 97.



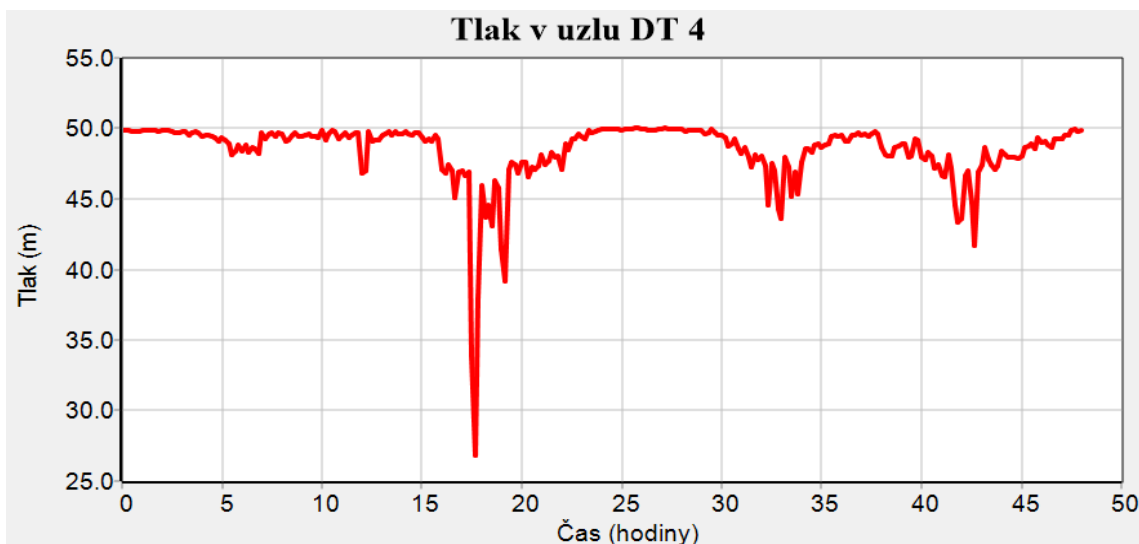
Obr. 97: Průběh tlaku v uzlu DT 3

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 3 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.4 Uzel DT 4

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 4 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 20 m v.sl., jak je patrné z Obr. 98.



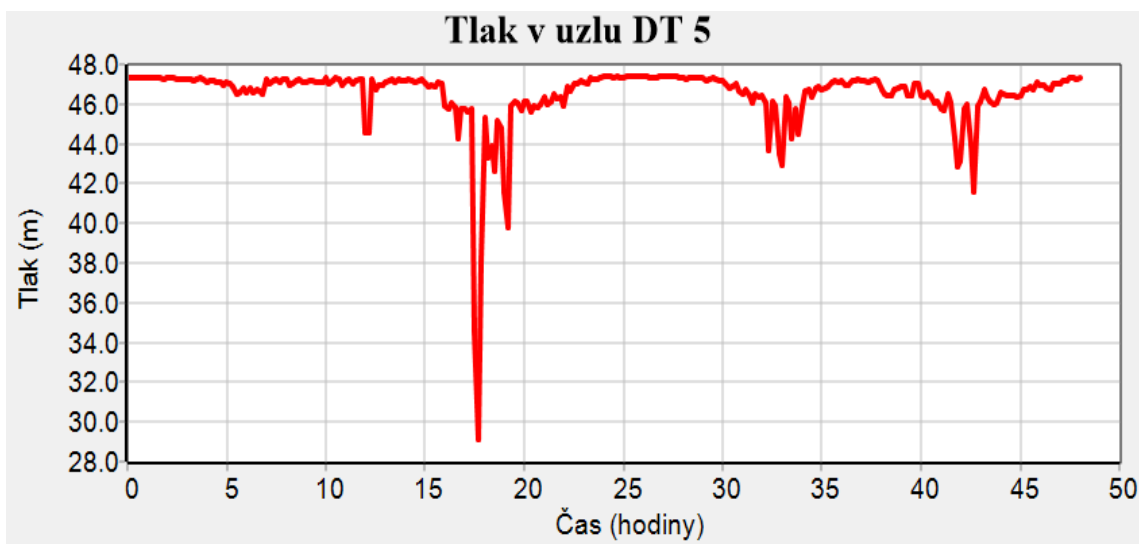


Obr. 98: Průběh tlaku v uzlu DT 4

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 4 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.5 Uzel DT 5

Při vložení požárního odběru z podzemního hydrantu v uzlu DT 5 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 16,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 99.

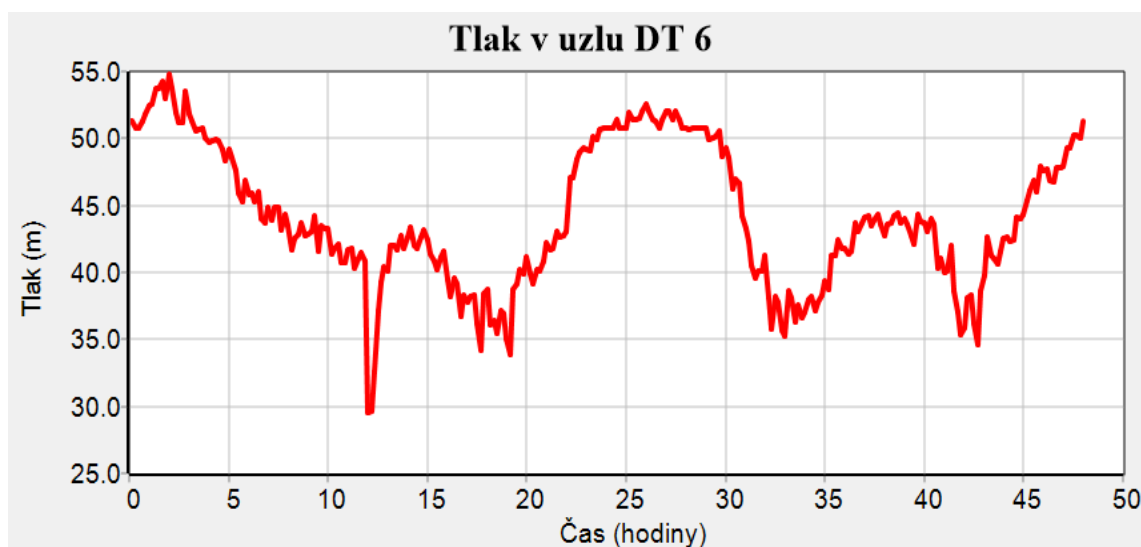


Obr. 99: Průběh tlaku v uzlu DT 5

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 5 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.6 Uzel DT 6

Při vložení požárního odběru z nadzemního hydrantu v uzlu DT 6 do modelu nevznikly v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 11 m v.sl., jak je patrné z Obr. 100.

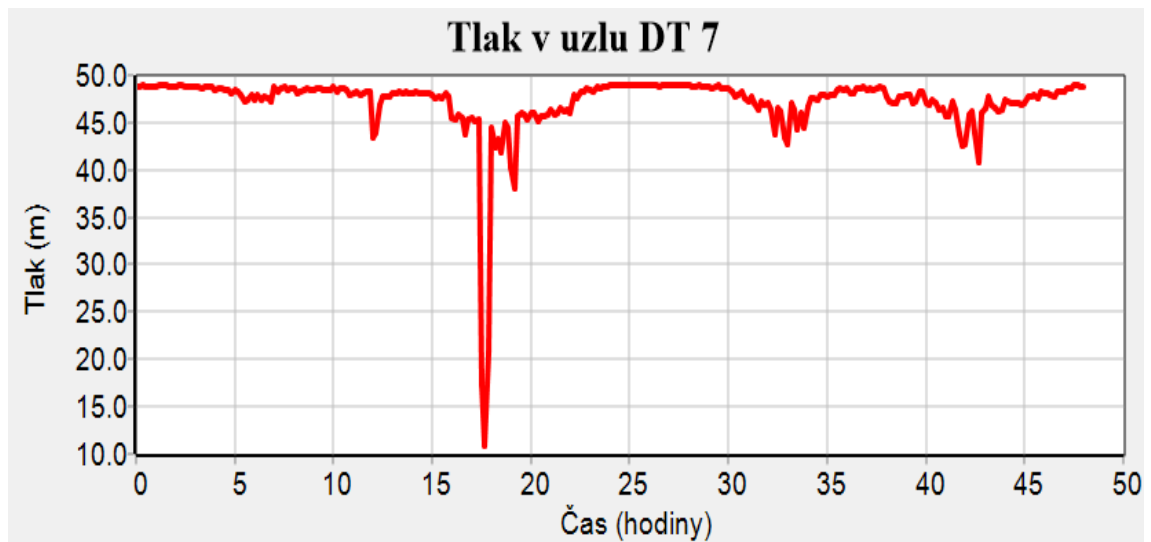


Obr. 100: Průběh tlaku v uzlu DT 6

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, podzemní hydrant umístěný v uzlu DT 6 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.7 Uzel DT 7

Při vložení požárního odběru z navrženého hydrantu v uzlu DT 7 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 34,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 101.

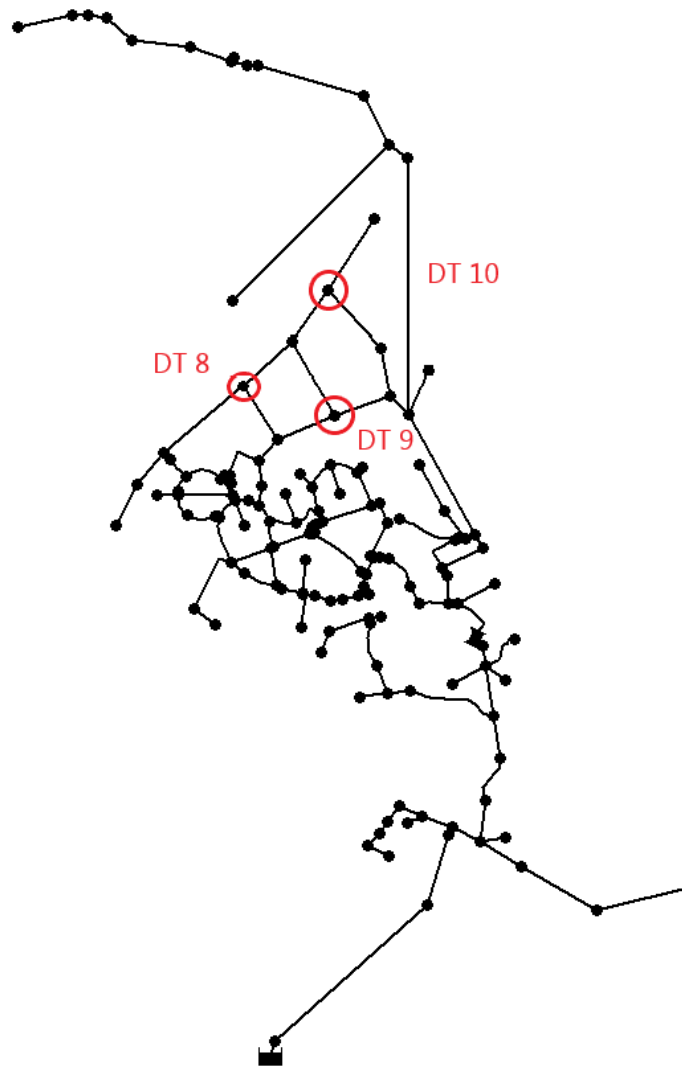


Obr. 101: Průběh tlaku v uzlu DT 7

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, navržený hydrant umístěný v uzlu DT 7 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

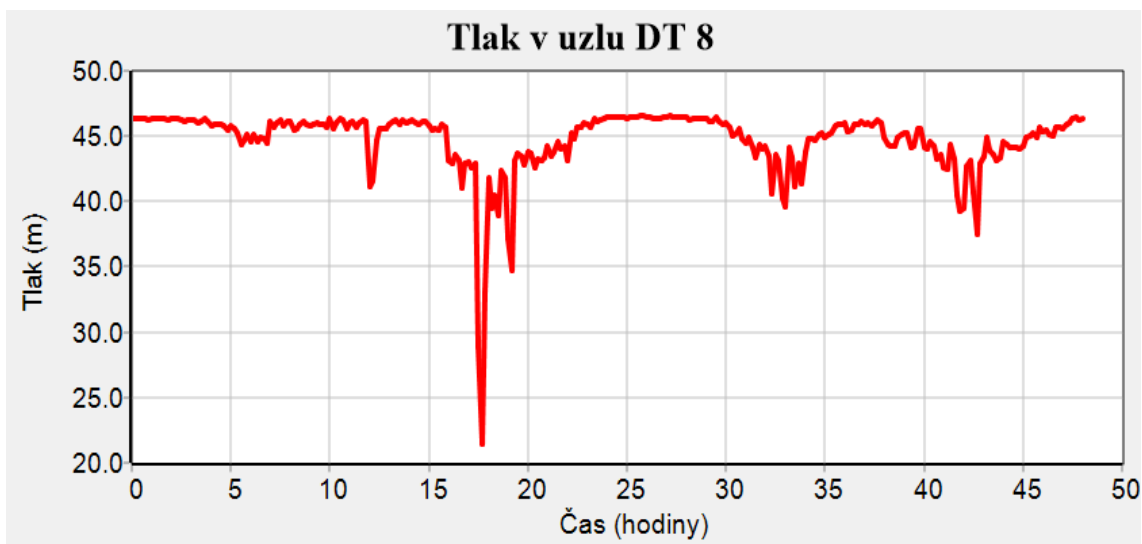
### 8.2.8 Uzel DT 8

Pro výhledový stav 2040 jsem na nově vzniklou vodovodní síť na sever od zástavby Dolního Třebonína umístila tři požární hydranty, viz Obr. 102.



Obr. 102: Navržené požární hydranty

Při vložení požárního odběru z tohoto hydrantu v uzlu DT 8 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 21,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 103.

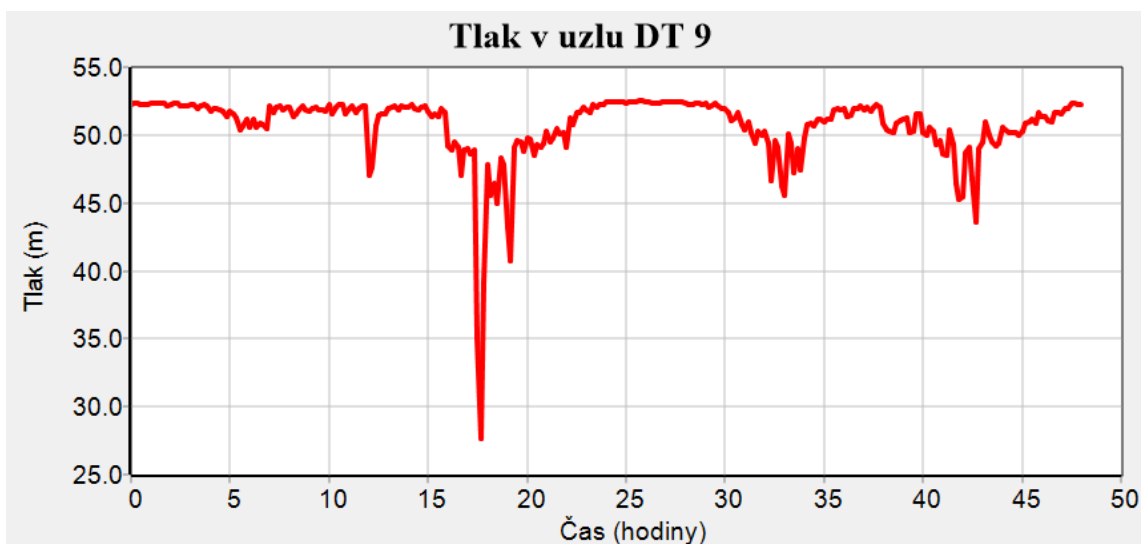


Obr. 103: Průběh tlaku v uzlu DT 8

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, navržený hydrant umístěný v uzlu DT 8 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.9 Uzel DT 9

Při vložení požárního odběru z tohoto hydrantu v uzlu DT 9 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 21,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 104.

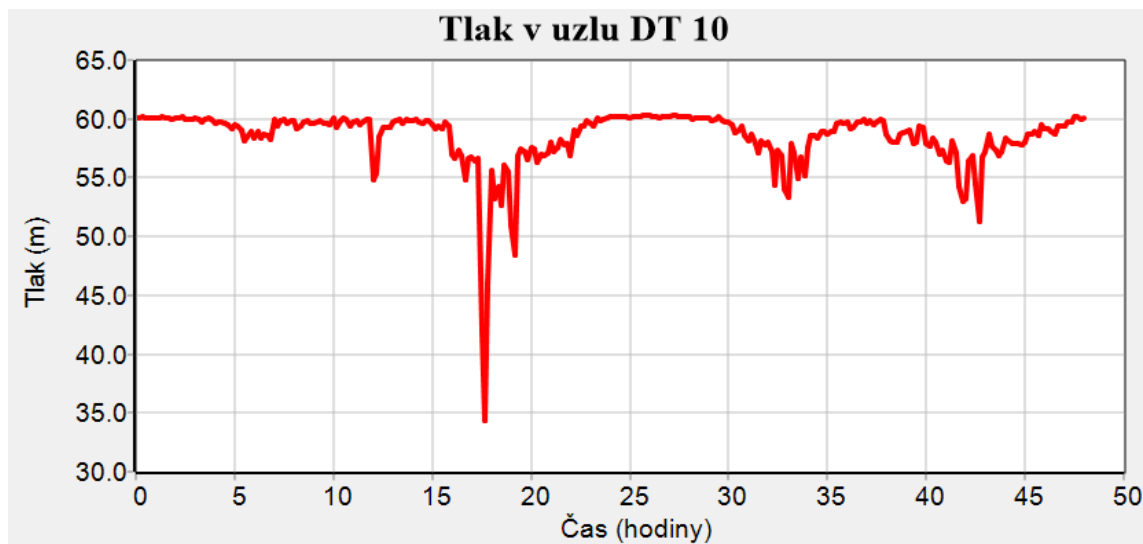


Obr. 104: Průběh tlaku v uzlu DT 9

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, navržený hydrant umístěný v uzlu DT 9 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

### 8.2.10 Uzel DT 10

Při vložení požárního odběru z tohoto hydrantu v uzlu DT 10 do modelu nevznikly kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé vodovodní síti žádné záporné tlaky a v šetřeném bodě došlo k poklesu tlaku o cca. 22,5 m v.sl., jak je patrné z Obr. 105.



Obr. 105: Průběh tlaku v uzlu DT 10

V případě, že by tedy byly odstraněny všechny zvýšené místní ztráty na síti, navržený hydrant umístěný v uzlu DT 10 plně vyhoví své funkci i v roce 2040.

## 8.3 Závěrečná doporučení a zhodnocení

S ohledem na pokles tlaků v čase nejvyšších odběrů v Horních Svincích pod hodnotu 15 m v.sl. bych doporučila provozovateli vodovodní sítě omezit odběr ze dvou ploch budoucí občanské vybavenosti uvedených na Obr. 90 výše na maximální denní hodnotu 0,055 l/s. Na základě nízké rychlosti proudění vody v celém systému vzniká na síti uzel, ve kterém stáří vody převyšuje hodnotu 60 hodin. V tomto bodě bych provozovateli doporučila s ohledem na vysoké hodnoty, kterých zde stáří vody dosahuje, provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

S ohledem na zvýšené hodnoty tlakových ztrát v několika oblastech sítě je možné konstatovat, že síť má již v tomto výhledovém roce 2040 omezenou kapacitu.

Při vyhodnocení chování sítě v roce 2040 při požáru vyšly pro všechny šetřené body kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé síti nezáporné tlaky. Protože je však

vodojem plněn shora, záporná hodnota tlaku vyjadřuje pouze to, že v době trvání požáru dojde k omezení nátoky vody do vodojemu, který může klesat až na nulu, a síť jinak co se týče tlaků plně vyhovuje.

## 9 Závěr

Tato diplomová práce je svým obsahem zaměřena na problematiku zásobování konkrétních místních částí obce Dolní Třebonín pitnou vodou. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá obecným popisem vodárenských soustav, prvků vodárenského systému, výpočtem potřeby vody a matematickým modelováním ve vodním hospodářství.

V praktické části práce je pak uveden popis řešené obce Dolní Třebonín a jeho současný systém zásobování pitnou vodou. Dále jsem zde provedla výpočet stávající potřeby vody pro jednotlivé místní části obce a tento výpočet porovnála se skutečnou spotřebou odečtenou z vodoměrů či naměřenou v rámci měrné kampaně. Dle výsledků je možné konstatovat, že vypočtené potřeby vody pro bytový fond a pro občanskou vybavenost přesahují hodnoty skutečných odběrů a jsou tedy na straně bezpečnosti. U potřeby vody pro zemědělství v místní části Horní Třebonín je však zřejmé, že reálná hodnota denního odběru je vyšší než hodnota vypočtená. Důvodem může být to, že pracovníci zemědělského družstva využívají odebranou pitnou vodu z vodovodu i pro oplachy pracovních ploch a zemědělských strojů nebo skutečnost, že zemědělské družstvo používá automatické napáječky pro dobytek, kde není možné přesně kontrolovat množství natékané vody.

Následně v praktické části práce popisují tvorbu matematického modelu v programu EPANET, prvotní zadané parametry jednotlivých uzlů a úseků a průběh uskutečněné dvoudenní měrné kampaně. Na základě výsledných tlaků naměřených v průběhu měrné kampaně jsem konstatovala, že redukční ventil na síti v Dolním Třeboníně neplní svou funkci, tak, jak by měl. S ohledem na tuto skutečnost jsem tedy doporučila provozovateli vodovodní sítě v zájmové oblasti překontrolovat, zda je redukční ventil v provozu, či zda vůbec nefunguje, jak indikuje provedené měření.

Na základě výsledků měření při měrné kampani jsem následně provedla kalibraci modelu. Z porovnání měřených a vypočtených dat jsem konstatovala, že mezi měřením na zdroji a jednotlivými body měření na síti dochází k omezení kapacity řadu. Dle mého předpokladu jsem tedy následně do modelu vložila místní ztráty v místě osazeného průtokoměru na vtoku do systému, redukčního ventilu v Dolním Třeboníně a v některých uzlech rozdělení průtoků do více větví. Tyto místní ztráty jsem umístila do daných uzlů především z toho důvodu, aby jejich vliv v modelu působil



na co největší oblast řešené sítě. Tato místa však doporučuji provozovateli identifikovat a ověřit podrobnějším měřením s orientací na místní ztráty a stav potrubí včetně míst, ve kterých bylo provedeno měření v rámci měrné kampaně. Dále navrhuji prověřit veškeré uzavírací armatury na trati, zda jsou skutečně plně otevřeny.

Po mém prvotním doporučení provedl provozovatel kontrolu redukčního ventilu, konstatoval, že ventil ve správném provozu skutečně není a provedl jeho přenastavení. Pro budoucí použití modelu jsem tedy již redukční ventil uvažovala jako funkční.

Zkalibrovaný model jsem nejprve použila pro posouzení současného stavu sítě a následně pro vyhodnocení systému z hlediska požárních odběrů. V současnosti je stav vodovodní sítě z hlediska výsledných tlaků uspokojivý, v síti však voda proudí příliš nízkými rychlostmi, které v určitých uzlech sítě způsobují vysoké stáří vody. V těchto bodech bych provozovateli doporučila provádět častější proplachy vodovodního řádu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

Vlivem zvýšených místních ztrát v dříve definovaných uzlech a úsecích v nich vznikaly velmi vysoké ztráty tlaku. Pokud by však došlo k jejich snížení na běžnou hodnotu, tlakové ztráty v celé síti se již budou pohybovat v nízkých hodnotách s výjimkou redukčního ventilu. S ohledem na nízké rychlosti, a i nízké ztráty tlaku je tedy možné konstatovat, že síť má v současné době v případě snížených místních ztrát dostatečnou kapacitu.

Při prvotním spuštění modelu při posuzování chování současné sítě při požáru pak vycházely v síti záporné tlaky, a to vlivem zvýšených místních ztrát. Proto bych provozovateli doporučila uskutečnit kontrolu příslušných míst a v případě, že se v nich skutečně nachází přivřené uzavírací armatury, provést jejich plné otevření a tím tedy odstranění této zvýšené místní ztráty. Tím dojde i k výraznému snížení tlakových ztrát v těchto úsecích, jak je uvedeno výše.

Následně jsem použila model pro posouzení vodovodní sítě pro výhledový stav v roce 2025, a to jak pro každodenní funkci, tak pro funkci při požáru. Pro výhled v roce 2025 je stav většiny vodovodní sítě z hlediska výsledných tlaků uspokojivý, výjimkou je pak místní část obce Dolní Svince. S ohledem na příliš vysoké tlaky v celé této místní části bych doporučila provozovateli osadit na nátoku redukční ventil. V celé síti dále voda proudí nízkými rychlostmi, které v určitých uzlech sítě způsobují vysoké stáří vody.

V těchto bodech bych provozovateli doporučila provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

Vlivem zvýšených místních ztrát v dříve definovaných uzlech a úsecích v nich vznikaly velmi vysoké ztráty tlaku. Pokud by však došlo k jejich snížení na běžnou hodnotu, tlakové ztráty v celé síti se již budou pohybovat v nízkých hodnotách s výjimkou redukčního ventilu. S ohledem na nízké rychlosti, a i nízké ztráty tlaku je tedy možné konstatovat, že síť má i v roce 2025 v případě snížených místních ztrát dostatečnou kapacitu.

Při zjišťování chování vodovodního systému při požáru vyšly pro všechny šetřené body v celé síti nezáporné tlaky kromě stavu při vložení požárního odběru z hydrantu umístěného v uzlu DT 7. Protože je však vodojem plněn shora, záporná hodnota tlaku vyjadřuje pouze to, že v době trvání požáru dojde k omezení nátoků vody do vodojemu, který může klesat až na nulu. Pokud by z nějakého důvodu bylo nutné i v případě požárních odběrů zabezpečit nátok konstantního denního objemu vody do vodojemu, doporučila bych provozovateli řídit nátoky vody do vodojemu a změnit tak současný průběh nátoků tak, aby veškerá voda do vodojemu natékala v nočních hodinách, tedy v době nejmenších odběrů a nejvyšších tlaků.

Nakonec jsem model použila pro posouzení vodovodní sítě pro výhledový stav v roce 2040, a to jak pro každodenní funkci, tak pro funkci při požáru. Pro výhled v roce 2040 je stav většiny vodovodní sítě z hlediska výsledných tlaků uspokojivý, výjimkou je pak pár koncových uzlů v místní části Horní Svince. S ohledem na pokles tlaků v čase nejvyšších odběrů v této místní části obce pod hodnotu 15 m v.sl. bych doporučila provozovateli vodovodní sítě omezit odběr ze dvou ploch budoucí občanské vybavenosti v Prostředních Svincích na maximální hodnotu 0,055 l/s. V celé síti dále voda proudí nízkými rychlostmi, které v určitých uzlech sítě způsobují vysoké stáří vody. V těchto bodech bych provozovateli doporučila provádět častější proplachy vodovodního řadu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody.

S ohledem na zvýšené hodnoty tlakových ztrát v několika oblastech sítě je možné konstatovat, že síť má již v tomto výhledovém roce 2040 omezenou kapacitu.

Při vyhodnocení chování sítě při požáru vyšly pro všechny šetřené body kromě uzlu reprezentujícího vodojem v celé síti nezáporné tlaky. Protože je však vodojem plněn shora, záporná hodnota tlaku vyjadřuje pouze to, že v době trvání požáru dojde

k omezení nátoky vody do vodojemu, který může klesat až na nulu, a síť jinak co se týče tlaků plně vyhovuje.

Obecně lze tedy říci, že současný stav vodárenského systému v řešených místních částech obce Dolní Třebonín je z hlediska tlaků uspokojivý. Výsledné rychlosti proudění jsou však velmi nízké a v určitých uzlech sítě tak způsobují vysoké stáří vody. V těchto bodech je tedy nutné provádět častější proplachy vodovodního řádu pro zajištění zdravotní nezávadnosti odebírané pitné vody. Pro správnou funkci vodovodní sítě z hlediska tlakových ztrát i při požáru je třeba nejprve provést místní šetření a správně identifikovat a ověřit podrobnějším měřením oblasti se zvýšenými místními ztrátami a odstranit je. V případě, že budou tato opatření provedena, vyhoví vodovodní síť i pro výhledový stav 2025 a s drobným omezením maximálních odběrů pro dvě plochy občanské vybavenosti v Prostředních Svincích i pro výhledový stav 2040, a to včetně chování sítě při požáru. S ohledem na tlakové ztráty dojde již v roce 2040 k určitému omezení kapacity sítě, ta však bude pro rok 2025 a současnost stále plně zajištěna.

## Použité zdroje:

Veškeré fotografie použité v praktické části této diplomové práce jsou pořízeny zpracovatelem, není-li uvedeno jinak.

- [1] ČSN 75 0150. *Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 48 s. Třídící znak 75 0150
- [2] TESÁŘÍK, I. a kol. *Vodárenství*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [3] NOVÁK, Josef. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. Líbeznice u Prahy: Medim, c2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [4] GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902460-7-9.
- [5] ŠTÍCHA, V., A. G. CUREV a kol. *Vodárenství Zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1969
- [6] 428/2001 Sb. Vyhláška, kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>>
- [7] ROTH, J. a P. KROUPA. *Vodárenství I*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1970
- [8] 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích. *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>>
- [9] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03534-4.
- [10] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravny pitné vody*. Líbeznice: Medim, c2005. ISBN 80-239-4565-3.

- [11] 254/2001 Sb. Vodní zákon. *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-08-03]. Dostupné z:  
<<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>>
- [12] ČSN EN 805. *Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha: Český normalizační institut, 2001, 56 s. Třídící znak 75 5011
- [13] ČSN 75 5301. *Vodárenské čerpací stanice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 12 s. Třídící znak 75 5301
- [14] CHALUPA, Myslibor. *Provozování úpraven vody*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984
- [15] ČSN 75 5201. *Navrhování úpraven vody*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2023, 28 s. Třídící znak 75 5201
- [16] 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví. *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-08-03]. Dostupné z:  
<<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>>
- [17] ČSN 75 5355. *Vodojemy*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021, 24 s. Třídící znak 75 5355
- [18] ČSN EN 1508. *Vodárenství – Požadavky na systémy a součásti pro akumulaci vody*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 28 s. Třídící znak 75 5356
- [19] ČSN 73 0873. *Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 32 s. Třídící znak 73 0873
- [20] KURKA, Josef a František ŠTOLBA. *Provoz a údržba vodovodních zařízení*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1973
- [21] ČSN 75 5401. *Navrhování vodovodního potrubí*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, 16 s. Třídící znak 75 5401
- [22] DLOUHÝ, B. a kol., J. PLASGURA a kol. V. RYŠLINK a kol., F. ROTH *Vodárenství III. Provoz a údržba vodovodních sítí*. Praha: MZLVH, 1962

- [23] 409/2005 Sb. Vyhláška o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody. *Zákony pro lidi – Sbíрка zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-08-07]. Dostupné z:  
<<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-409>>
- [24] ČSN 13 0010. *Potrubí a armatury. Jmenovité tlaky a pracovní přetlaky*. Praha: Vydavatelství norem, 1990, 24 s. Třídící znak 13 0010
- [25] ČSN EN 1333. *Příruby a přírubové spoje – Potrubní součásti – Definice a volba PN*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 8 s. Třídící znak 13 0009
- [26] ČSN 73 6005. *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, 36 s. Třídící znak 73 6005
- [27] *Tlakové potrubí PE 100 RC Aqualine* [online]. Pipelife Czech, 2023 [cit. 2023-08-07]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<[https://www.pipelife.cz/Ke\\_stazeni/Katalogy.html](https://www.pipelife.cz/Ke_stazeni/Katalogy.html)>
- [28] EPANET | US EPA. *U.S. Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. Copyright © 2023 [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.epa.gov/water-research/epanet>>
- [29] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983
- [30] TABULKY\_HY2V. *Výběr potřebných tabulek a grafů* [online]. Praha. Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.; Ing. Tomáš Pícek, Ph.D. [cit. 2023-12-12]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/cviceni.htm>>
- [31] Drsnost potrubí – Vodovod.info – portál vodárenství. *Vodovod.info – portál vodárenství* [online]. Copyright © Vodovod.info - vodárenský informační portál 2023 [cit. 2023-12-08]. Dostupné z:  
<<https://vodovod.info/index.php/extra/tabulky/196-drsnost-potrubu>>

- [32] Směrnice ze dne 20.7.1973 pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů. *epravo.cz* [online]. Praha: Copyright © EPRAVO.CZ, a.s. 1999 [cit. 2023-08-08]. Dostupné z:  
<<https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>>
- [33] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 44 s. Třídící znak 75 6101
- [34] 428/2001 Sb. Vyhláška, kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-08-08]. Dostupné z:  
<<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>>
- [35] MUSIL, Vladimír, Karel ONDROUŠEK a Tibor NEVAN. *Technická zařízení budov I – Vodovody*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987
- [36] ŘEHOŘ, Eugen a Myslibor CHALUPA. *Ztráty vody a jejich omezování*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986
- [37] *Ztráty vody ve vodárenských distribučních systémech: Brno, 30. října 2003: sborník z odborného semináře*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-7204-301-3.
- [38] Ztráty vody v České republice. *SOVAK ČR* [online]. Copyright © 2018 [cit. 2023-08-08]. Dostupné z:  
<<https://www.sovak.cz/cs/clanek/ztraty-vody-v-ceske-republice>>
- [39] CARSTENSEN, Jacob a kol. *Terminology and methodology in modelling for water quality management – a discussion starter, Water Science & Technology, 36(5), pp. 157-168*. Great Britain, Elsevier Science Ltd, 1997
- [40] VRV a.s. - Matematické modelování. *VRV a.s. - Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., Nábřeží 90/4, 150 56 Praha 5 - Smíchov* [online]. Copyright © 2023 [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.vrv.cz/sluzby-matematicke-modelovani-uniky>>

- [41] KOZELJ, Daniel a kol. *Using Genetic Algorithms for Calibration of Water Distribution Models*, France, 7th International Conference on Hydroinformatics – HIC 2006; 2006
- [42] ROSSMAN, Lewis A. *EPANET 2, Users Manual* [online]. EPA United States Environmental Protection Agency, 2000 [cit. 2023-08-09]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<<https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1007WWU.pdf>>
- [43] Storm Water Management Model (SWMM) | US EPA. *U.S. Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. Copyright © 2023 [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>>
- [44] ROSSMAN, Lewis A. *Storm Water Management Model, User's Manual Version 5.1* [online]. EPA United States Environmental Protection Agency, 2015 [cit. 2023-08-09]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<[https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5\\_1\\_manual\\_master\\_8-2-15.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf)>
- [45] MIKE URBAN. *MIKE Powered by DHI* [online]. Copyright © 2023 DHI [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban>>
- [46] DHI SOFTWARE. *DHI Worldwide* [online]. Copyright © 2023 DHI [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://worldwide.dhigroup.com/cz/dhi-software>>
- [47] HEC-RAS Documentation. *Hydrologic Engineering Center* [online]. Copyright © 2023 DHI [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>>
- [48] Introduction to HEC-RAS. *HEC-RAS User's Manual* [online]. Copyright © 2023 USACE Hydrologic Engineering Center [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest/introduction-to-hec-ras>>



- [49] Pipe2020: KYPipe Hydraulic Modeling Software (Steady-State) | KYPipe. *KYPipe – Pipe Network Analysis Software* [online]. Copyright © 2023 KYPipe LLC [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://kypipe.com/kypipe/>>
- [50] EpaCAD. Free software to transform AutoCAD files to EPANET. ITA. Introduction. *UPV Universitat Politècnica de València* [online]. Copyright © 2023 Universitat Politècnica de València [cit. 2023-08-09]. Dostupné z:  
<<https://www.epacad.com/epacad-en.php>>
- [51] *EpaCAD v1.0* [online]. ITA Universidad Politècnica de Valencia, 2009 [cit. 2023-08-09]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<<https://www.epacad.com/descargas-en.php>>
- [52] *Mapy.cz. Mapy.cz* [online]. Copyright © Seznam.cz, a.s. 2023 [cit. 2023-08-10]. Dostupné z:  
<<https://mapy.cz/zakladni>>
- [53] *Počet obyvatel v obcích Česká republika k 1.1.2023* [online]. Český statistický úřad, 2023 [cit. 2023-08-10]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<<https://www.czso.cz/documents/10180/191186757/1300722303.pdf/58801e7b-4f05-4470-908c-7295691d4dd2?version=1.3>>
- [54] Dolní Třebonín, Obecná charakteristika – statistika. *Kurzy.cz* [online]. Copyright © Kurzy.cz, spol. s r.o., AliaWeb, spol. s r.o. 2023 [cit. 2023-08-10]. Dostupné z:  
<<https://www.kurzy.cz/obec/dolni-trebonin/stats-PU-MOSZV-OBCHAR-stranka/>>
- [55] Informace poskytnuté jednatelem firmy PRVOK s.r.o., provozovatelem veřejného vodovodu v zájmových částech obce Dolní Třebonín
- [56] Databáze demografických údajů za obce ČR. *Český statistický úřad* [online]. Copyright © 2023, 23.05.2023, [cit. 2023-08-10]. Dostupné z:  
<<https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demograficky-udaju-za-obce-cr>>
- [57] Výsledky sčítání 2021 - otevřená data. *Český statistický úřad* [online]. Copyright © 2023, [cit. 2023-08-10]. Dostupné z:

- <<https://www.czso.cz/csu/czso/vysledky-scitani-2021-otevrena-data>>
- [58] *ÚPLNÉ ZNĚNÍ ÚZEMNÍHO PLÁNU DOLNÍ TŘEBONÍN po vydání změn č. 1, 2, 3, 4, 5* [online]. Dolní Třebonín: Zastupitelstvo obce Dolní Třebonín, 2021 [cit. 2023-08-11]. Podklad ve formátu PDF. Dostupné z:  
<<https://www.dolnitrebonin.cz/files/2497-uzemni-plan-dolni-trebonin-uplne-zneni-po-vydani-zmen-c-1-az-5-textova-cast.pdf>>
- [59] Základní škola. *Základní škola a Mateřská škola Dolní Třebonín* [online]. Copyright © ZŠ a MŠ Dolní Třebonín, 2023 [cit. 2023-11-23]. Dostupné z:  
<<https://www.zstrebonin.cz/zakladni-skola/38/>>
- [60] Mateřská škola. *Základní škola a Mateřská škola Dolní Třebonín* [online]. Copyright © ZŠ a MŠ Dolní Třebonín, 2023 [cit. 2023-11-23]. Dostupné z:  
<<https://www.zstrebonin.cz/materska-skola/45/>>
- [61] PENZION U MOUČKŮ. *Jihočeská pohoda u Moučků* [online]. Copyright © 2023 [cit. 2023-11-23]. Dostupné z:  
<<http://levne-ubytovani.ubytovani-moucka.cz/>>
- [62] Penzion Kolo – Ubytování Český Krumlov – Penzion KOLO Krumlovsko. *Ubytování Český Krumlov – Penzion KOLO Krumlovsko* [online]. Copyright © 2023 [cit. 2023-11-23]. Dostupné z:  
<<https://www.penzionkolo.cz/html/home.php?language=cs&category=1>>
- [63] HLAVNÍ VÝKRES. *Úplné znění územního plánu Dolní Třebonín po změnách č. 1, 2, 3, 4, 5* [online]. Dolní Třebonín: Zastupitelstvo obce Dolní Třebonín, 2021 [cit. 2023-12-07]. Podklad ve formátu JPG. Dostupné z:  
<<https://www.dolnitrebonin.cz/files/2498-uzemni-plan-dolni-trebonin-uplne-zneni-po-vydani-zmen-c-1-az-5-hlavni-vykres.jpg>>