

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2023

POSOUZENÍ SYSTÉMU ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU VE VYBRANÉ OBCI

ASSESSMENT OF THE DRINKING WATER SUPPLY SYSTEM IN THE
SELECTED MUNICIPALITY


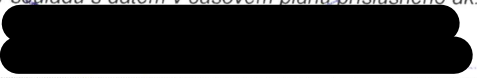
Studijní program:	Stavební inženýrství
Studijní obor:	Vodní hospodářství a vodní stavby
Autor:	Jaroslav Oršuliak
Vedoucí práce:	Ing. Filip Horký, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

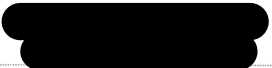
I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Oršuliak	Jméno: Jaroslav	Osobní číslo: 468332
Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Posouzení systému zásobování pitnou vodou ve vybrané obci	
Název diplomové práce anglicky: Assessment of the drinking water supply system in the selected municipality	
Pokyny pro vypracování: Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Vytvoření matematického modelu vodovodu. Vyhodnocení a posouzení výsledků. Závěry a doporučení.	
Seznam doporučené literatury: KOLÁŘ V., a kol.: Hydraulika. Praha: SNTL, 1983, 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	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 20.09.2022	Termín odevzdání DP v IS KOS: 09.01.2023 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 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>20.9.2022</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou prací s názvem: „Posouzení systému zásobování pitnou vodou ve vybrané obci“ vypracoval samostatně a veškeré použité informační zdroje jsem uvedl v seznamu použité literatury podle zásad metodického pokynu č. 1/2009 ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“

V Praze 1. 1. 2023

Jaroslav Oršuliak



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Filipu Horkému, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, cenné připomínky a za obdivuhodnou ochotou při konzultacích poskytnutých ke zpracování této práce.

Poděkování patří také Jiřímu Ševčíkovi, správci vodní sítě, za vstřícný přístup, věnovaný čas a poskytnuté podklady.

V poslední řadě bych ještě obecně poděkoval všem učitelům za nabyté vědomosti a především své rodině, která mi byla oporou po celé studium.

Abstrakt:

Předmětem této práce je posouzení stávající distribuční sítě zásobování pitnou vodou obce Perštejn a vytvoření matematického modelu v programu EPANET 2.2. Diplomová práce se dělí na část teoretickou a praktickou. V teoretické části jsou popsány systémy zásobování pitnou a jejich jednotlivé prvky. Dále obsahuje obecný postup vytvoření matematického modelu. V praktické části je popsán současný systém zásobování pitnou vodou obce Perštejn a zpracován matematický model sítě. Na základě zjištěných poznatků jsou navrženy opatření.

Klíčová slova:

pitná voda, vodní zdroj, potrubí, matematický model, EPANET, hydraulické podmínky, ztráty vody

Abstract:

The subject of this thesis is the assessment of the existing distribution network of drinking water supply in the municipality of Perštejn and the creation of a mathematical model in EPANET 2.2. The thesis is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part describes the drinking water supply systems and their individual elements. The general procedure of creating a mathematical model is also described. In the practical part, the current drinking water supply system of the municipality of Perštejn is described and a mathematical model of the network is developed. Based on the findings, measures are proposed.

Keywords:

drinking water, water supply, pipes, mathematic model, EPANET, hydraulic conditions, water loss

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Systém zásobování pitnou vodou.....	11
2.1	Dělení dle rozsahu zásobovaného území.....	11
2.1.1	Vodovody místní.....	11
2.1.2	Vodovody skupinové.....	12
2.1.3	Vodovody oblastní.....	13
2.2	Dělení dle výškového uspořádání.....	13
2.2.1	Gravitační vodovod.....	13
2.2.2	Výtlačný vodovod.....	14
2.2.3	Kombinovaný.....	16
2.3	Dělení dle prostorového uspořádání.....	16
2.3.1	Větevna.....	16
2.3.2	Okružová.....	16
2.3.3	Kombinovaná.....	17
3	Prvky vodovodní sítě.....	17
3.1	Zdroj vody.....	17
3.1.1	Podzemní voda.....	17
3.1.2	Povrchová voda.....	22
3.2	Úprava vody.....	24
3.3	Akumulace vody.....	25
3.4	Doprava vody.....	26
3.4.1	Vodovodní řad.....	26
3.4.2	Vodovodní přípojka.....	27
3.4.3	Čerpací objekty.....	28
3.5	Materiál vodovodního potrubí.....	29
3.5.1	Kovové materiály.....	29

3.5.2	Nekovové materiály.....	30
4	Hydraulika trubních sítí.....	31
4.1	Rovnice kontinuity	31
4.2	Bernoulliho rovnice pro reálnou kapalinu.....	32
4.3	Tlakové ztráty.....	32
4.3.1	Ztráty třením	33
4.3.2	Ztráty místní	35
4.4	Návrh a výpočty ve vodovodní síti.....	36
5	Potřeba vody	38
5.1.1	Ztráty vody	40
6	Matematické modelování vodovodních sítí.....	41
6.1	EPANET 2.2.....	41
6.1.1	Uživatelské rozhraní.....	41
6.1.2	Práce s programem EPANET 2.2.....	42
6.1.3	EPACAD	47
7	Popis řešeného území	49
7.1	Širší vztahy.....	49
7.2	Zastavěné území	50
8	Územně plánovací dokumenty	50
8.1	Územní plán	50
8.2	Plán rozvoje vodovodů a kanalizace kraje.....	51
9	Popis použitých podkladů.....	52
10	Současný stav zásobování pitnou vodou	53
10.1	Zdroje vody.....	54
10.2	Úprava vody.....	55
10.3	Akumulace vody	56

11	Výpočet potřeby vody	60
12	Matematický model vodovodní sítě v EPANETU 2.2.	61
12.1	Uzlové odběry.....	64
12.1.1	Výpočet uzlových potřeb pro stávající stav	65
12.1.2	Výpočet uzlových odběrů pro výhledový stav	67
12.2	Editace vlastnosti prvků sítě	69
13	Výsledky matematického modelu.....	78
13.1	Kalibrace matematického modelu	78
13.2	Výsledky pro stávající stav.....	81
13.2.1	Průtoky v distribuční síti pro stávající stav	82
13.2.2	Rychlosti proudění v distribuční síti pro stávající stav.....	82
13.2.3	Tlakové poměry v distribuční síti pro stávající stav.....	84
13.2.4	Doba zdržení vody pro stávající stav	85
13.3	Výsledky pro výhledový stav.....	86
13.3.1	Průtoky v distribuční síti pro výhledový stav	86
13.3.2	Rychlosti proudění v distribuční síti pro výhledový stav.....	87
13.3.3	Tlakové poměry v distribuční síti pro výhledový stav.....	88
14	Rekapitulace výsledků výpočtu	89
15	Opatření.....	90
16	Závěry a doporučení.....	94
17	Seznam tabulek.....	96
18	Seznam obrázků	96
19	Seznam použité literatury.....	99

1 Úvod

„Bez vody není života. Je drahocenná a pro člověka ničím nenahraditelná. Zásoby sladké vody nejsou nevyčerpatelné. Je proto nezbytné tyto zásoby udržovat, chránit a podle možnosti rozhojňovat.“ [1] K tomuto prozření evropských států došlo už víc než před 50 lety a představuje hlavní pilíř předpokladu udržitelnosti života na Zemi.

Na planetě žije okolo 2,2 miliardy lidí, představující 28% celkové populace, jež nemají přístup k pitné vodě. Její spotřeba se za poslední století zvýšila šestinásobně a s každým rokem roste přibližně o 1 %. Prognóza do budoucna je taková, že kombinací změn klimatu a neustálé se zvyšující výskyt a intenzita extrémních klimatických událostí – bouří, povodní a sucha povede k zasažení oblastí, které dosud nedostatkem vody ovlivněny nebyly. Situace je všeobecně známá a je tedy snahou hledat metody, jak s vodou optimálně zacházet. Technologický vývoj sebou přinesl celou řadu nástrojů, které nám s řešením mohou pomoci.

Jedním z nich jsou programy umožňující vytváření modelů distribučních sítí pitné vody. Matematické modely nám poskytují možnost relativně snadno a efektivně zanalyzovat a najít problémy ve zvolených lokalitách. Právě tohoto nástroje, konkrétně programu EPANET bych rád využil při procesu posouzení vodovodní sítě v obci, kde dlouhodobě žiji. Její stav nebyl doposud nikdy předmětem žádného průzkumu ani šetření, a proto jsem se rozhodl v této práci její fungování zanalyzovat a popsat.

Cílem této práce je posoudit fungování stávajícího systému zásobování pitnou vodou v obci Perštejn a za tímto účelem vytvořit její matematický model. V rámci analýzy zjistit všechna dostupná data, zhodnotit vypočtené hydraulické podmínky v síti a navrhnout opatření k jejich optimalizaci.

ČÁST I
TEORETICKÁ

2 Systém zásobování pitnou vodou

Pojmem systém zásobování pitnou vodou rozumíme soubor veškerých objektů a procesů podílejících se na jímání, úpravě, akumulaci a transportu vody od zdroje až ke spotřebiteli.

Systémy zásobování lze členit podle několika kritérií:

- dle rozsahu zásobovaného území
- dle výškového uspořádání
- dle prostorového uspořádání

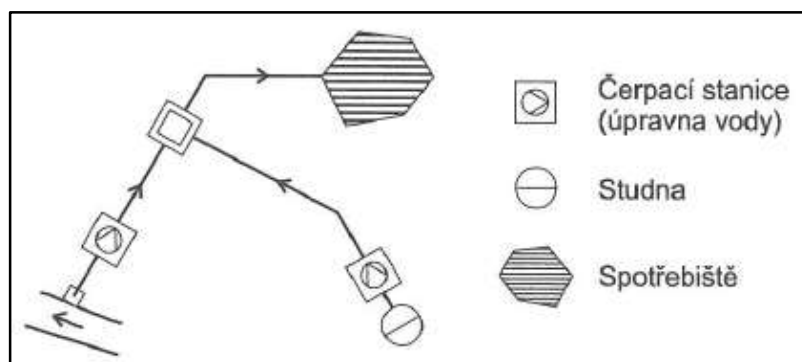
2.1 Dělení dle rozsahu zásobovaného území

2.1.1 Vodovody místní

Místní vodovody zajišťují zásobování pitnou vodou vždy v rámci jednoho spotřebiště (obce nebo města), a to z jednoho (obrázek 1) nebo více přilehlých zdrojů (obrázek 2). Vzhledem k jejich jednoduchosti představují nejstarší typ vodovodů.



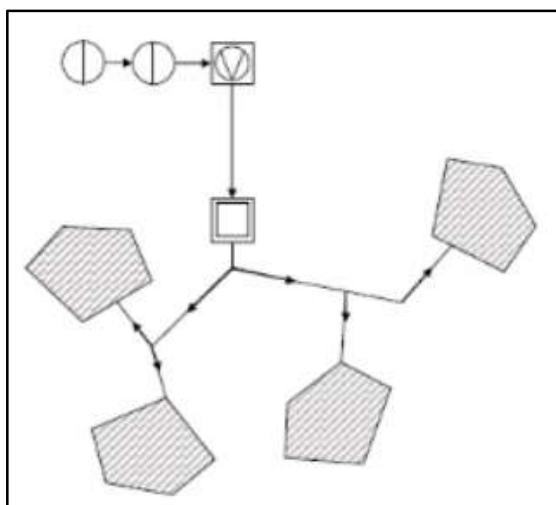
Obrázek 1 : Místní vodovod s jedním vodním zdrojem [2]



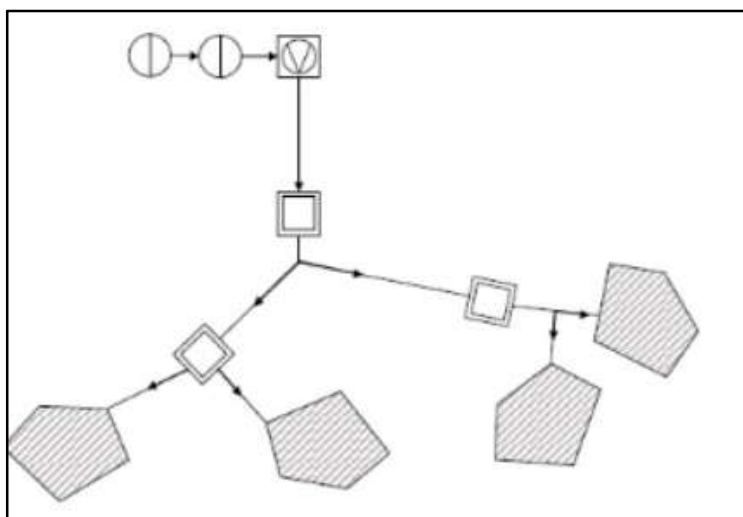
Obrázek 2: Místní vodovod s více zdroji [2]

2.1.2 Vodovody skupinové

Skupinové vodovody se začaly budovat v důsledku zvyšování potřeby vody v 20. letech minulého století. Vodovodní systém je propojený pro více spotřebičů a je zásobován z jednoho nebo více vodních zdrojů. Voda může být akumulovaná v jednom hlavním vodojemu (obrázek 3) nebo v několika místních vodojemech (obrázek 4) u jednotlivých spotřebičů. Přednost těchto systémů tkví v úspoře investičních nákladů na akumulaci. Jeho nevýhoda spočívá ve vyšších investičních nákladech na dlouhé zásobní řady velkých dimenzí.



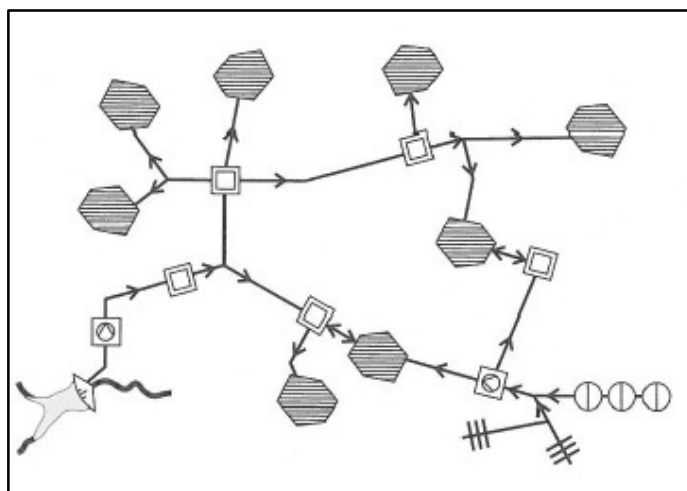
Obrázek 3: Skupinový vodovod s hlavním vodojemem [2]



Obrázek 4: Skupinový vodovod s několika místními vodojemy [2]

2.1.3 Vodovody oblastní

Oblastní vodovody zásobují velké množství spotřebišť na rozsáhlém území na úrovni několika okresů i krajů z jednoho strategického zdroje (vodárenské nádrže), případně i z dalších zdrojů. Rozsah a složitost systému si lze představit dle obrázku 5. Doprava vody zde probíhá na velké vzdálenosti přes mnoho objektů a zařízení a je předmětem složitého řízení. Takto rozsáhlé a složité systémy pak nazýváme vodárenskými soustavami.

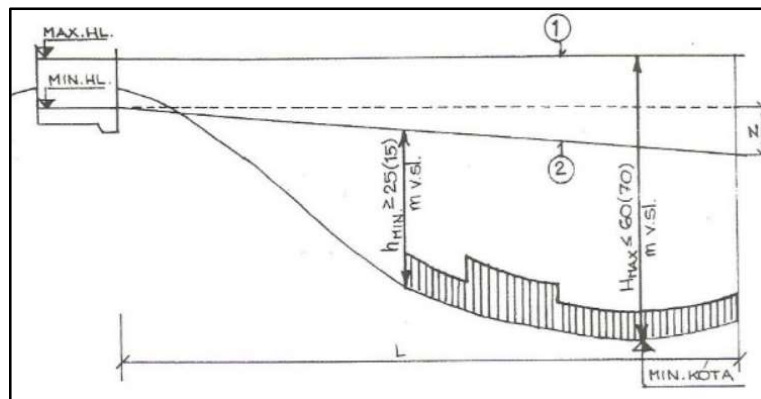


Obrázek 5: Oblastní vodovod s několika zdroji [2]

2.2 Dělení dle výškového uspořádání

2.2.1 Gravitační vodovod

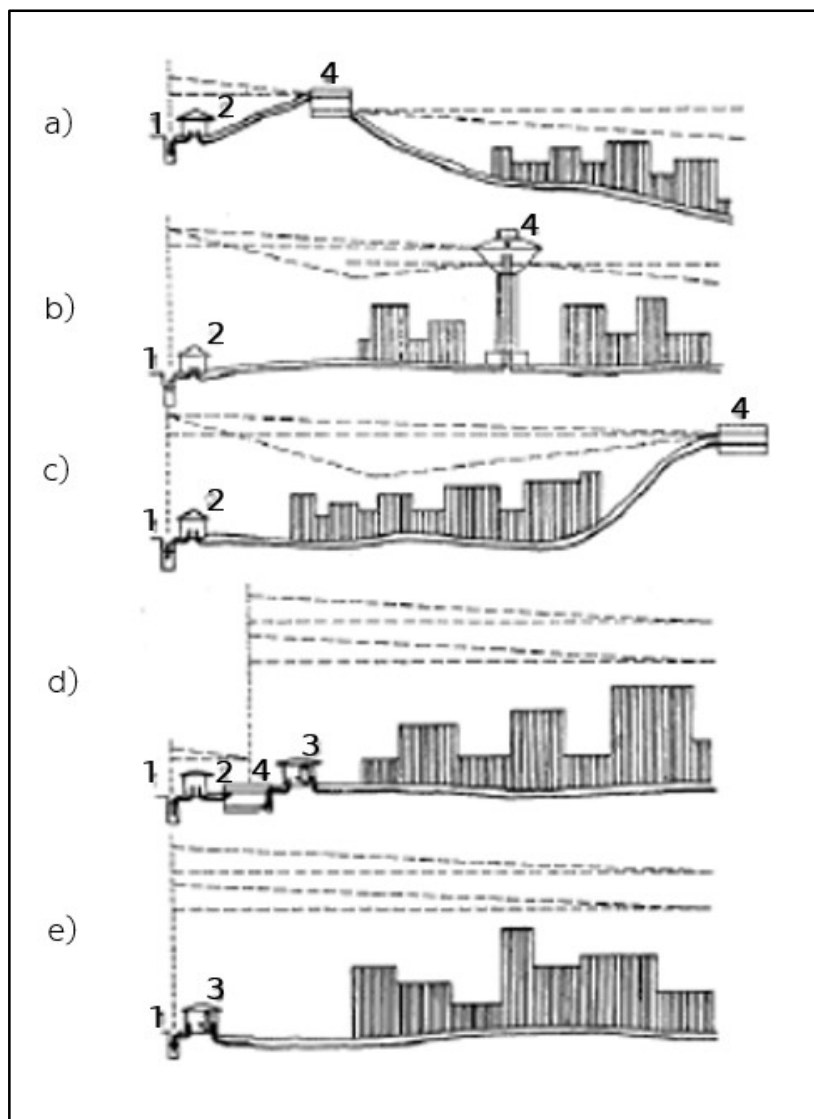
Představuje provozně nejvýhodnější variantu dopravy vody, kterou lze aplikovat v lokalitách, kde výškový rozdíl mezi zdrojem vody a spotřebišťem umožní gravitační dopravu vody od zdroje do úpravně vody a zároveň zajistí v odběrových místech, minimální hydrodynamický přetlak dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. bez nutnosti čerpaní. Příklad lze vidět na obrázku 6.



Obrázek 6: Gravitační vodovod

2.2.2 Výtlačný vodovod

Výtlačný vodovod se navrhuje v lokalitách, kde výškový rozdíl mezi vodním zdrojem a spotřebišťem nezajišťuje minimální hydrodynamický přetlak, např. v rovinatých lokalitách, kde se vodní zdroj nachází na obdobné nebo nižší výškové úrovni než spotřebišť. Vodu je nutno z vodního zdroje nebo úpravny vody do místa akumulace čerpat. Varianty uspořádání jednotlivých prvků výtlačného systému a jejich průběh tlakových poměrů lze vidět na obrázku 7 níže.



Obrázek 7: Výtlačný vodovod [3]

Poznámka k obrázku 7:

1 – zdroj vody

2 – čerpací stanice

3 –ATS¹

4 – vodojem

a) vodojem před spotřebištěm

b) věžový vodojem uvnitř spotřebiště

c) věžový vodojem uvnitř spotřebiště

d) ATS s akumulací

e) ATS bez akumulace

¹ automatická tlaková stanice viz kapitola 3.4.3

2.2.3 Kombinovaný

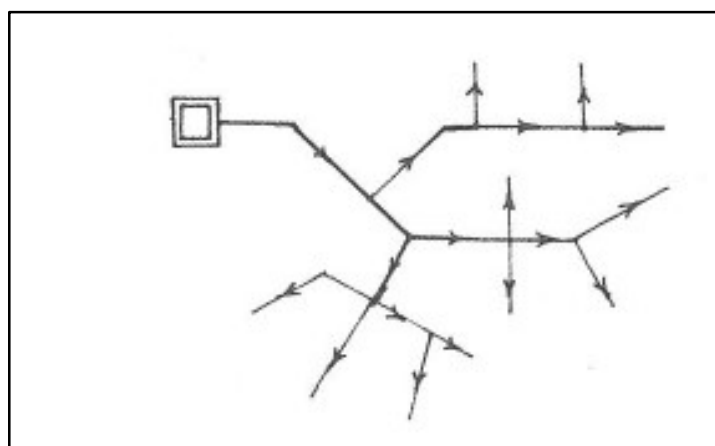
Kombinovaný vodovod se navrhuje v případě zásobování rozsáhlejších členitých území, v jejichž částech je nutno využít obou variant transportu vody.

2.3 Dělení dle prostorového uspořádání

2.3.1 Větevová

Ve větevové síti je voda dopravovaná pouze z jedné strany hlavní větví od místa akumulace k spotřebišti a následně vedlejšími větvemi k jednotlivým liniově umístěným odběratelům.

Výhodou větevového systému jsou nízké investiční náklady a jednoduchost. Nevýhodou je nižší spolehlivost v případě poruch a stárnutí vody v koncových uzlech.

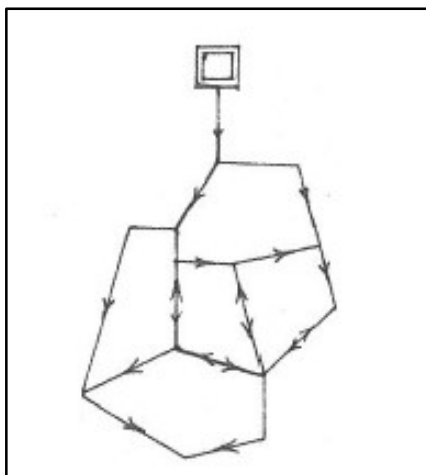


Obrázek 8: Větevová síť [2]

2.3.2 Okružová

Okružová síť se vyznačuje tím, že jednotlivé úseky jsou propojeny tak, aby bylo možné ke každému uzlu vodu dopravovat ze dvou směrů.

Výhodou je vyšší spolehlivost a vyrovnanější tlaky. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady. Vizualně je zobrazena na obrázku 9 níže.



Obrázek 9: Okruhová síť [2]

2.3.3 Kombinovaná

Kombinovaná síť kopíruje výhody i nevýhody větvové a okruhové sítě. Tvoří ji v základu okruhová síť doplněná větvenou v oblastech liniového charakteru.

3 Prvky vodovodní sítě

V této kapitole budou popsány jednotlivé prvky, které společně tvoří systém zásobování pitné vodou. V závislosti na místních podmínkách nemusí být všechny nutnou součástí systému.

3.1 Zdroj vody

Zdroje vody dělíme na povrchové, jejichž hlavní předností je jejich dostupné množství a snadný proces jímání a podzemní, které se vyznačují převážně stabilní vysokou kvalitou. [3]

Vodu po odebrání z vodního zdroje označujeme vodou surovou. Teprve po navazující úpravě surové vody na požadovanou jakost specifikovanou národními předpisy² se ze surové vody stává voda pitná. [4]

3.1.1 Podzemní voda

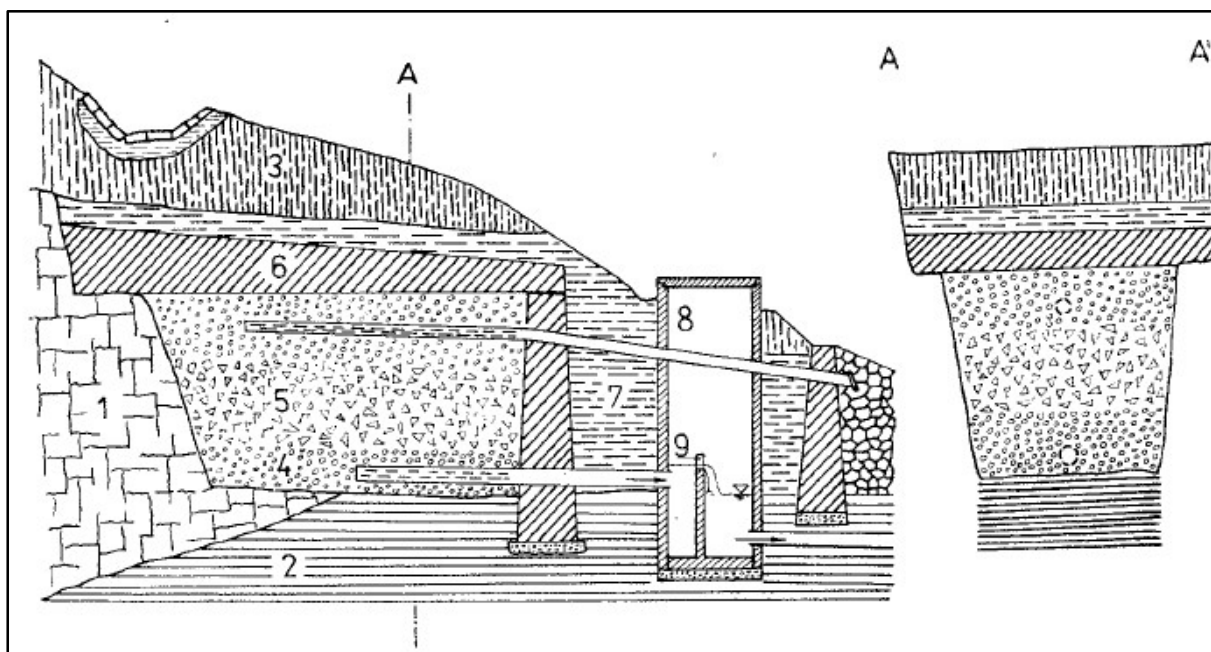
Podzemní voda představuje přibližně pouze 0,54 % celkového objemu vod na Zemi, je však neustále doplňována infiltrací atmosférických srážek. Lze ji členit na vodu v nenasycené a nasycené zóně. Pro vodárenské účely však uvažujeme

² Vyhláška MZd ČR č. 252/2004 Sb.

vodu v nasycené zóně, která se vyskytuje především ve zvodnělé vrstvě.

Vydatnost zdroje podzemní vody závisí především na množství vsáklé dešťové vody, které dosáhne hladiny podzemní vody. Ze zvodnělé vrstvy získáváme vodu podzemními jímacími objekty, které lze členit na plošné, vertikální a horizontální. [3]

Plošné jímání probíhá přes pramení jímky, což jsou objekty používané k zachycování pramenů a plošných vývěru. Vzhledem k snaze zachytit vodu ve větších hloubkách, neboť je méně náchylná na znečištění a kolísání hladin se dnes tyto objekty budují jen ojediněle. [3] Na obrázku 10 vidíme příklad plošného odběru vody a jeho jednotlivé součásti.



Obrázek 10: Schéma pramení jímky [3]

Poznámka k obrázku 11:

1 – křídové spongility

6 – betonové krytí jímání

2 – slínovce

7 – jílové těsnění

3 – hlíny

8 – šachtice

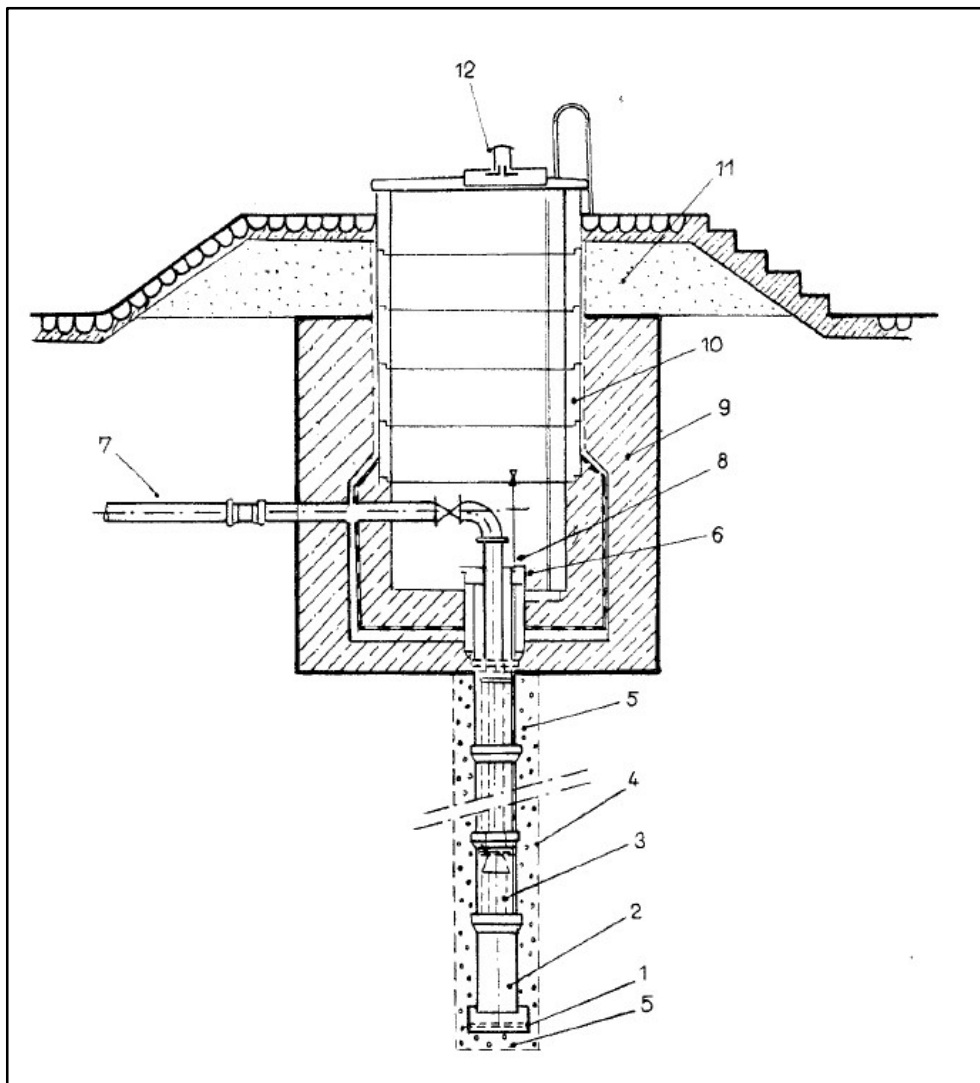
4 – štěrkový obsyp

9 – měrný přeliv

5 – kamenná zásyp

Nejrozšířenějším typem objektu pro jímání podzemní vody jsou vertikální jímací objekty. Způsob jejich hloubení se odvíjí od geologického prostředí, kde se provádí, hloubky a průměru hloubení.

Základní způsoby hloubení jsou nárazové a v současnosti nejčastěji používané vrtání otáčivé (rotační). Výsledkem hloubení vrtáním je vrtaná studna, jejíž uspořádání lze vidět na obrázku 12. [5]

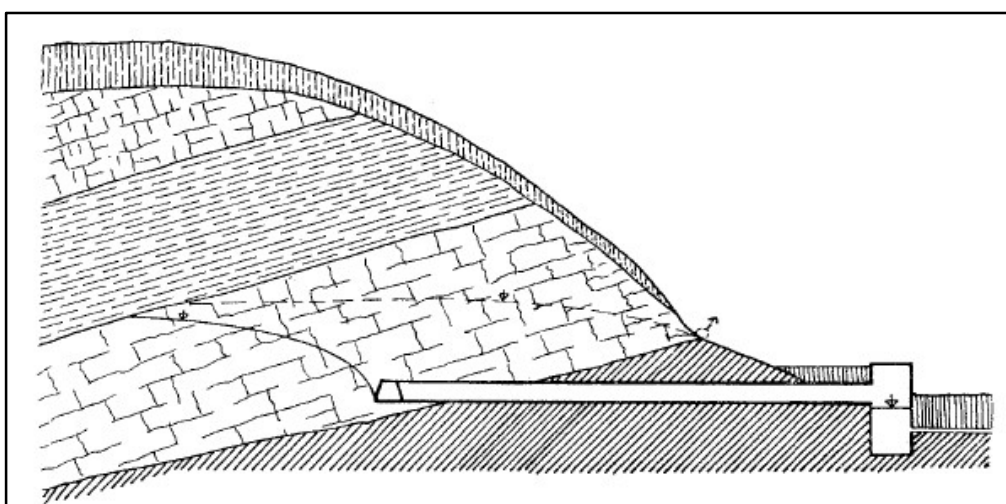


Obrázek 12: Schéma vrtané studny [3]

Poznámka k obrázku 13:

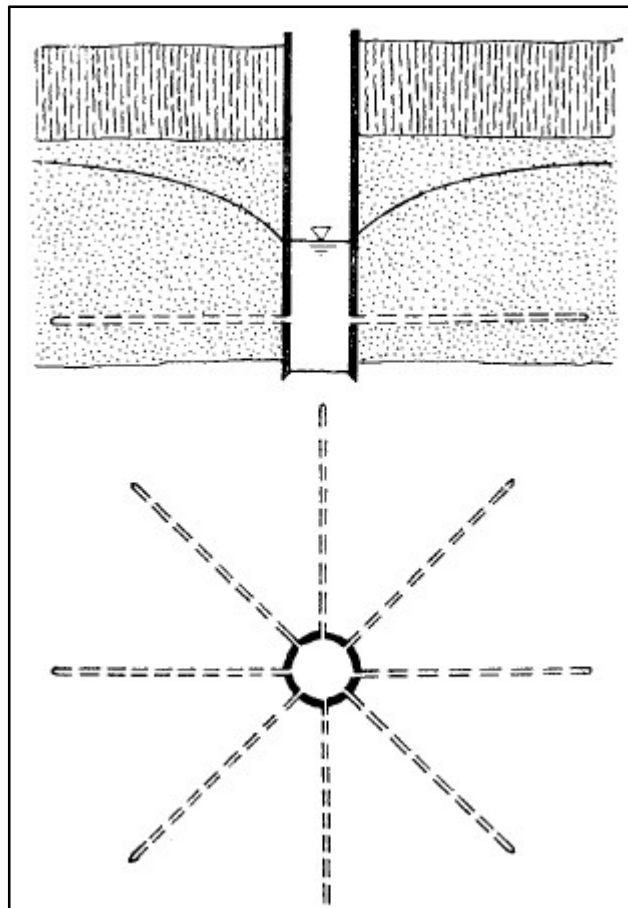
- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1 – betonová zídka | 7 – betonová deska |
| 2 – kameninová trouba | 8 – jílové těsnění |
| 3 – písek | 9 – drenážní trubka |
| 4 – rovnanina z kamene | 10 – štěrk |
| 5 – vyrovnávací beton | 11 – hlína |
| 6 – izolace | 12 – vegetační kryt |

Štoly se využívají v místech, kde se ve svahu nachází propustná vrstva s hladinou podzemní vody, ke které se lze dostat ražbou. V případech, kdy je možné štolu razit povrchně lze dokonce využít gravitačního výtoku a sběrnou jámku umístit až k ústí štoly. [5]



Obrázek 14: Štola pro jímání podzemní vody [5]

Horizontální vrty se využívají k navýšení kapacity vertikálních vrtů, kde vertikální vrt slouží jako jámka pro vyvrtané horizontální jímače, které jsou doplněny perforovaným potrubím. Jímače mohou dosahovat délky až 100 m. [3]

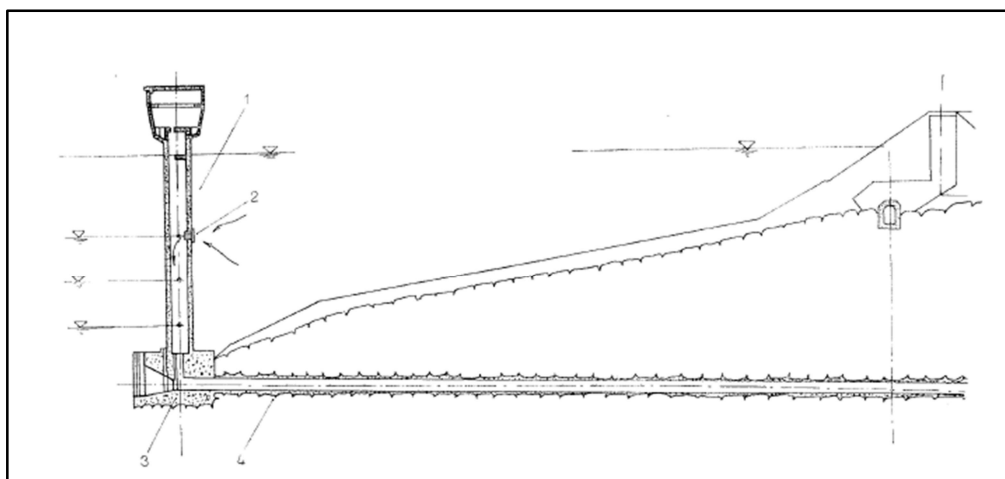


Obrázek 15: Studna s horizontálními jímači [5]

3.1.2 Povrchová voda

Povrchovou vodu využíváme pro vodárenské účely v případě, kdy není k dispozici dostatečně vydatný zdroj podzemní vody. Jímání povrchové vody lze dělit na jímací objekty ve vodárenských nádržích a v tekoucích vodách. [5]

Jímání povrchové vody z vodárenských nádrží probíhá přes odběrný věžový objekt. Jejich konstrukce může stát samostatně v prostoru nádrže nebo být stavebně spojena s tělesem hráze. Při návrhu je zásadní navrhnout odběrné otvory tak, aby odebíraná voda byla vždy optimální kvality. [5]



Obrázek 16: Odběrný věžový objekt [3]

Poznámka k obrázku 16:

1 – věž

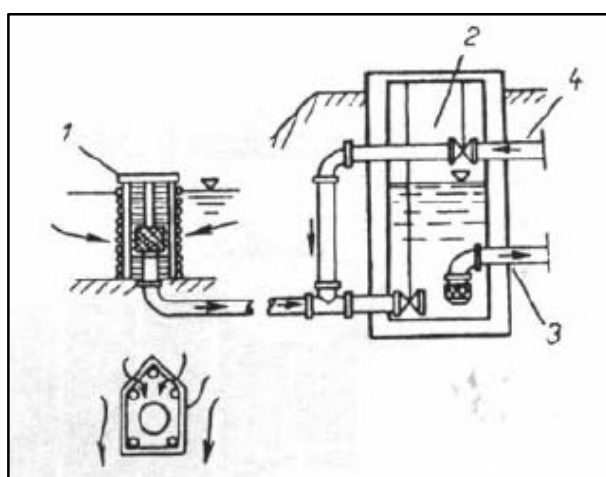
3 – spodní uzávěr

2 – odběr

4 – štola

Při jímání vody z vodního toku lze odběrný objekt umístit přímo v řečišti nebo ve břehu. Zásadní je přitom najít místo, které je trvale stabilní, alternativně je nutné vodní tok vhodně směrově a výškově upravit. [5]

V případě odběru přímo v místě řečiště je nezbytné odběrný objekt umístit minimálně 70 cm nade dnem mimo místa zvýšeného znečištění vody. Sací potrubí se klade pod dno toku a je zaústěno v jímce na břehu. [5]

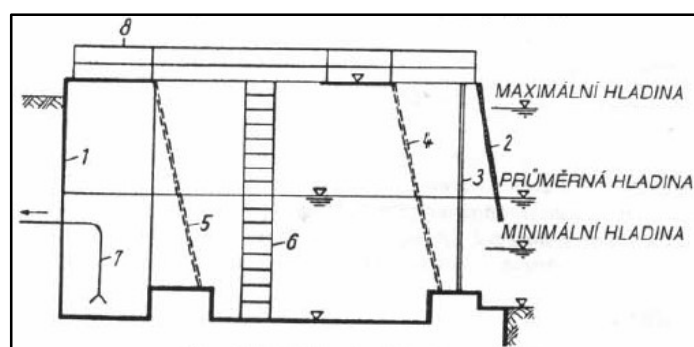


Obrázek 17: Jímací objekt v řečišti [3]

Poznámka k obrázku 17:

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1 – odběrný objekt | 3 – sací potrubí |
| 2 – jímka | 4 – proplachovací potrubí |

Břehové jímací objekty jsou užívané v tocích s dostatečnou vodností a jsou umístěny u konkávního břehu. Samotné objekty jsou zpravidla stavebně spojeny s čerpací jímkou a vybaveny zařízením na zamezení vniku splavenin.



Obrázek 18: Břehový odběrný objekt [5]

3.2 Úprava vody

Úprava vody je proces, který slouží k dosažení předepsané kvality vody s ohledem na její další využití. V rámci zásobování obyvatelstva se jedná o úpravy surové vody ze zdroje na vodu pitnou, která je zdravotně nezávadná a ani po delším požívání nezpůsobuje nemoci nebo poruchy zdraví. Metody úpravy vody jsou dnes mechanické, chemické, fyzikálně-chemické a biologické.

Volba způsobu úpravy se odvíjí od původu surové vody, tedy zda se jedná o vodu podzemní nebo povrchovou, její neupravené kvality a požadované kvality upravené vody. [5]

Legislativně je pitná voda definovaná v zákoně č. 258/2000 Sb.³ jako veškerá voda, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů a k dalším účelům lidské spotřeby. Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody deklaruje směrnice Rady 98/83/ES, kterou na území ČR

³ Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů

zpracovává vyhláška č.252/2004 Sb⁴. Ve vyhlášce jsou definovány hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody [6] [7]

Typické způsoby úpravy vody dle zdroje surové vody jsou uvedeny v tabulce 1 níže.

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

Tabulka 1: Typické úpravy vody [5]

3.3 Akumulace vody

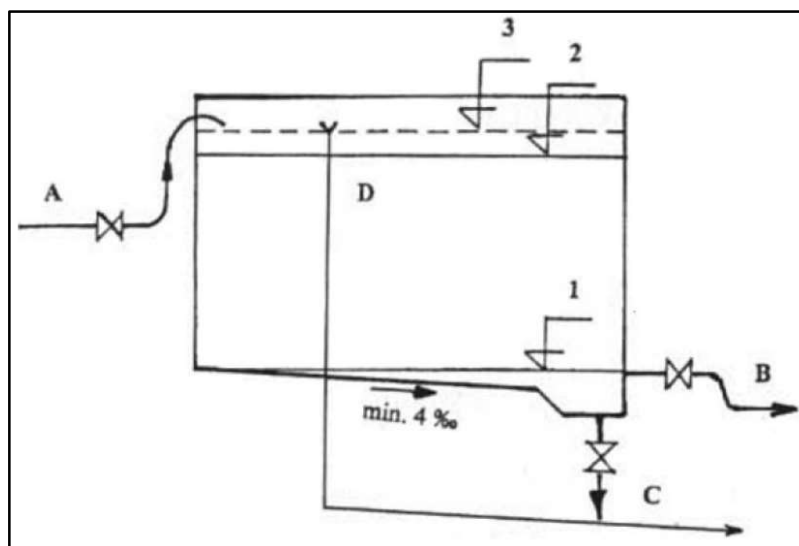
Akumulaci vody dělíme v rámci zásobování pitnou vodou na dva druhy. Prvním druhem je akumulace dlouhodobá, která slouží k trvalému zajištění spotřebiště pitnou vodou po kterýkoliv den v průběhu celého roku. Mezi objekty dlouhodobé akumulace řadíme vodárenské nádrže a podzemní vodonosné vrstvy. Ke krátkodobé akumulaci dochází především ve vodojemech, ale i studnách a jámkách čerpacích stanic. [3]

Vodojem je samostatný vodárenský objekt skládající se z jedné nebo více nádrží. Hlavním úkolem vodojemů je vyrovnávání nerovností mezi přítokem a odběrem vody ve spotřebišti, vytvářet zásobní objem pro hašení požárů, překlenutí poruch a stabilizace tlakových poměrů. [3]

Konstrukčně rozlišujeme vodojemy dle polohy vodojemu k terénu na dva typy. Prvním typem jsou vodojemy zemní, nenápadné objekty akumulace, které jsou budovány pod úrovní terénu nebo zároveň s ním a využívají přirozené nivelity terénu pro dopravu vody a zajištění požadovaných tlakových poměrů. Druhým

⁴ Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

typem jsou vizuálně méně líbivé vodojemy věžové, které jsou využívány jen v místech, kde výškové poměry terénu neumožňují užití vodojemu zemních. Ideální je při jejich návrhu brát v potaz jejich vliv na krajiny ráz okolí. [3] Schéma zemního vodojemu a jednotlivé úrovně v něm jsou zobrazeny na obrázku 19.



Obrázek 19: Schéma zemního vodojemu [5]

Poznámka k obrázku 19:

1 – minimální hladina

A – přívodní potrubí

2 – maximální hladina

B – odběrné potrubí

3 – havarijní hladina

C – výpustné potrubí

D – přelivné potrubí

3.4 Doprava vody

Hlavní součástí vodárenských systému je soubor zařízení sloužící k dopravě vody, který je tvořen vodovodními řady, domovními přípojkami a čerpacími objekty.

3.4.1 Vodovodní řad

Jednotlivé části vodovodního řadu se člení podle rozsahu působnosti a funkčního významu do tří kategorií.

Do 1. kategorie spadají příváděcí a zásobní řady, kterými se dopravuje voda

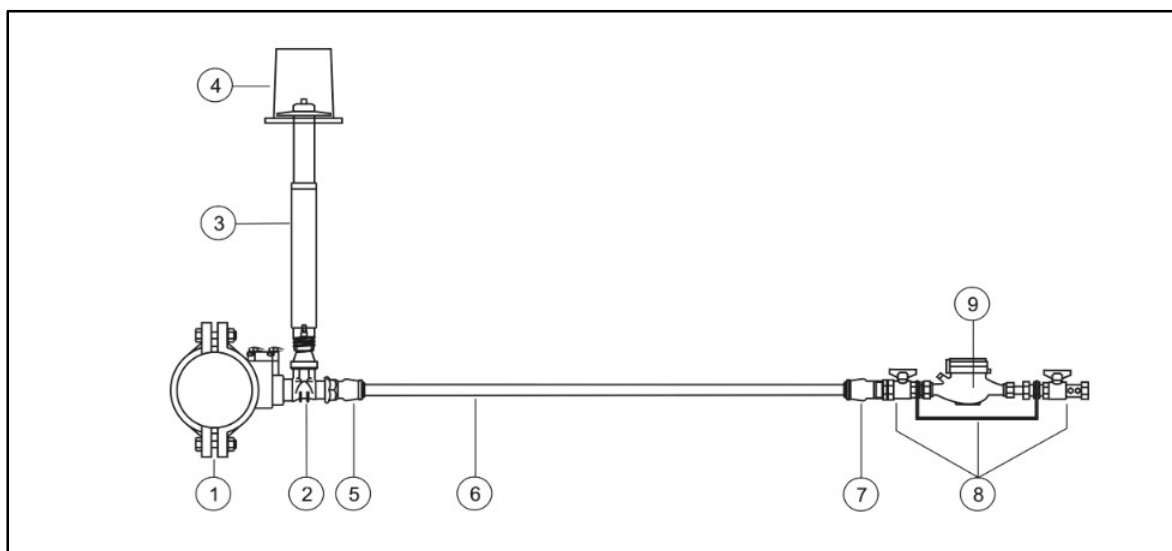
od zdroje do místa akumulace. Vyznačují se skutečností, že na nich není napojen přímo žádný odběratel. Při jejich návrhu je směrodatnou hodnotou maximální denní potřeba vody ve spotřebišti.

Do 2. kategorie řadíme hlavní rozvodné řady, které dopravují vodu do těžiště spotřebišť.

Vedlejší rozvodné řady, které mají přímou vazbu na zásobované objekty jsou součástí 3. kategorie vodovodních řadů. Rozvodné sítě jsou upořádané do větvených, okruhových a kombinovaných sítí viz kapitola 2.3. [2]

3.4.2 Vodovodní přípojka

Vodovodní přípojka je legislativně definovaná jako samostatná stavba tvořená úsekem potrubí od odbočení z vodovodního řadu k vodoměru. V případě absence vodoměru je za konec vodovodní přípojky uvažován vnitřní uzávěr připojeného pozemku nebo stavby. Odbočení s uzávěrem je považováno za součást vodovodu. Vodovodní přípojka není vodním dílem a jejím vlastníkem je vlastník pozemku, kde se přípojka nachází. [8]



Obrázek 20: Schéma vodovodní přípojky [9]

Poznámka k obrázku 19:

1 - navrtávací pas

2 - navrtávací šoupátko

3 - zemní souprava pro armatury domovní přípojky

- 4 - uliční poklop
- 5 - tvarovka ISO s vnitřním závitem
- 6 - LDPE polyetylenové potrubí
- 7 - tvarovka ISO s vnitřním závitem
- 8 - vodoměrná sestava
- 9 – vodoměr

3.4.3 Čerpací objekty

V lokalitách, které přirozeně nedisponují příznivými morfologickými podmínkami umožňující gravitační dopravu vody, je nutné uvažovat s procesem čerpání.

Čerpadla jsou technologická zařízení, která zajišťují dopravu kapalin z míst s nižší nadmořskou výškou do míst výše položených. Tvoří hlavní prvek čerpacích stanic. Specifickým typem čerpací stanice jsou automatické tlakové stanice (ATS), které se umísťují přímo do spotřebišť a pomocí nich jsou zásobována výše položená místa spotřebišť, kde přetlak z vodojemu nedosahuje požadovaných hodnot. Předpokladem jejich využití je, že alternativa budování věžového vodojemu by byla neekonomická. Pracují buď na principu stlačeného vzduchu v horní části tlakové nádoby nebo jako soustava paralelně zapojených čerpadel vybavených frekvenčním měničem. Jejich předností jsou nižší pořizovací náklady a nenáročnost na umístění. Nevýhodou tohoto řešení představuje neustálá závislost na dodávce elektrické energie a vyšší provozní náklady [2]



Obrázek 21: Příklad zapojení automatické tlakové stanice [10]

Ve vodárenství se setkáváme s dvěma typy čerpadel. Pro čerpání vody ze studní se instalují odstředivá ponorná čerpadla, pro dopravu vody se používají odstředivá čerpadla horizontální. [5]

3.5 Materiál vodovodního potrubí

Významnou částí návrhu vodovodu je volba vhodného materiálu potrubí. Materiál pro transport pitné vody musí být především trvale zdravotně nezávadný. Při jeho výběru je nutné respektovat celou řadu požadavků a kritérií.

Rozhodující faktory při návrhu trubního materiálu jsou:

- pracovní přetlak a hydraulické rázy vyskytující se v potrubí
- vnější zatížení potrubí
- vlastnosti zeminy v okolí potrubí
- výskyt bludných proudů
- kvalita dopravované vody
- finanční náklady
- požadovaná životnost potrubí

3.5.1 Kovové materiály

3.5.1.1 Litinové potrubí z šedé litiny

Litinové potrubí z šedé litiny je u nás nejdéle používaným trubním materiálem a zároveň má největší podíl v současně provozovaných vodovodních

sítích. Jeho hlavní nevýhodou je jeho křehkost a relativně malá pevnost v tahu. V současnosti se s ním při návrhu nového potrubí neuvažuje. [2]

3.5.1.2 Litinové potrubí z tvárné litiny

Litinové potrubí z tvárné litiny se vyznačuje vysokou pružností materiálu a výbornou odolností proti korozi. Pozinkování dříve pocínování vnějšího povrchu potrubí zajišťuje odolnost vnějšího povrchu. Vnitřní úprava povrchu trub se provádí cementovou vystýlkou. Nevýhodou potrubí z tvárné litiny je jeho cena. [2]

3.5.1.3 Ocelové potrubí

Po litinovém potrubí z šedé litiny představuje ocelové potrubí nejstarší trubní materiál a druhý nejrozšířenější materiál ve stávajících sítích. V současnosti se pro návrh nového potrubí neuvažuje. [2]

3.5.2 Nekovové materiály

3.5.2.1 Potrubí z PVC

Potrubí je vyráběné z polyvinylchloridu (PVC), který neobsahuje změkčovadla. Jedná se o tvrdé nezměkčené PVC. Je běžně dodávané v provedení s nástrčným hrdlem opatřeným těsnícím kroužkem. Materiál lze použít pro dopravu vody při trvalé teplotě až 20°C a v tlacích až 1,6 MPa. Výhodou oproti kovovým materiálům je nízká hmotnost a zároveň cenová dostupnost. [11]



Obrázek 22: Příklad potrubí z PVC [12]

3.5.2.2 Potrubí z PE

Potrubí jsou vyráběna z vysokohustotního polyethylenu. Doprava trubek a jejich skladování je obdobné jako u trubek z PVC. Jsou však daleko měkčí a tím pádem mnohem náchylnější na mechanická poškození v době jejich transportu a procesu zabudování na stavbě. Předností potrubí z PE je jejich nízká cena, snadná

montáž a odolnost vůči korozi a bludným proudům. Pokládka je doplněna signalizačním vodičem. [2]



Obrázek 23: Příklad potrubí z PE [11]

3.5.2.3 Sklolaminátové potrubí

Potrubí ze sklolaminátu se vyznačuje velmi nízkou drsností stěn potrubí a zároveň vysokou pevností proti vnitřním přetlakům a vnějšímu zatížení. Příkladem užití tohoto materiálové řešení na území ČR je například sklolaminátový přivaděč v Brně. [2]

3.5.2.4 Potrubí z azbestocementu

Jedná se o historické materiálové řešení, které je v současnosti ze zdravotních důvodů vyřazováno z užívání. [2]

4 Hydraulika trubních sítí

Při řešení úloh v oblasti hydrauliky vodovodních sítí pracujeme zpravidla s tlakovým prouděním a pro jeho posouzení vycházíme především z následujících vztahů.

4.1 Rovnice kontinuity

Základní požadavek, který musí být splněn ve všech problémech spojených s prouděním kapalin, je rovnice kontinuity. Vztah vyjadřuje skutečnost, že při průchodu kapaliny nevětveným potrubím nedochází k přírůstku ani úbytku kapaliny a rychlost proudění kapaliny je přímo závislá na profilu potrubí [13]

Za předpokladu nestlačitelnosti kapaliny lze tento vztah zjednodušeně vyjádřit pomocí rovnice níže.

$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

$v_{1,2}$ – rychlosti proudění vody [m/s]

$S_{1,2}$ – průřezy průtočného průřezu [m²]

(1)

4.2 Bernoulliho rovnice pro reálnou kapalinu

Základním principem nejčastěji používaným v hydraulice je zákon zachování energie vyjádřený Bernoulliho rovnicí, kterou lze pro uzavřené potrubí formulovat v následujícím tvaru. Rovnice říká, že energie v jednom bodě se rovná energii v kterémkoli dalším místě po směru proudění a ztrátám, které při něm vznikají. [13]

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot v_1}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot v_2}{2 \cdot g} + Z$$

h_1, h_2 – polohová výška [m]

p_1, p_2 – tlak [m]

α – Coriolisovo číslo [-]

v_1, v_2 – rychlost proudění kapaliny [m/s]

g – gravitační zrychlení [m/s²]

ρ – hustota kapaliny [kg/m³]

Z – celkové ztráty [m]

(2)

4.3 Tlakové ztráty

Tlakové ztráty v potrubí jsou tvořeny ze ztrát třením Z_t a ztrát místních Z_m . Celková tlaková ztráta se rovná součtu ztrát třením a ztrát místních. Třecí i místní ztráty se vyjadřují součinem ztrátového součinitele a rychlostní výšky.

$$Z = \sum Z_t + \sum Z_m$$

Z – celková tlaková ztráta

$\sum Z_t$ – suma ztrát třením

$\sum Z_m$ – suma ztrát místních

(3)

4.3.1 Ztráty třením

K ztrátám třením dochází v potrubí po celé délce proudu vlivem působení vnitřních sil proudící vazké tekutiny a tečného napětí na stěně potrubí. Ztráta třením je v kruhovém průtočném profilu přímo úměrná délce potrubí a nepřímo úměrná průměru potrubí. Její velikost záleží na materiálu potrubí [14]

Při výpočtu ztrát třením vycházíme z Darcy-Weisbachovy rovnice.

4.3.1.1 Darcy-Weisbachova rovnice

$$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Z_t – ztráty třením [m]

λ – součinitel ztrát třením [-]

L – délka potrubí [m]

D – průměr potrubí [m]

v – rychlost proudění vody v potrubí [m/s]

(4)

Součinitel ztrát tření λ je funkcí dvou proměnných $\lambda = f(\Delta D, Re)$. K jeho stanovení je nutné znát Re , což Reynoldsovou číslo a Δ/D , což je poměr drsnosti a průměru potrubí.

Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina za pomoci, které se určuje, zda je proudění kapaliny laminární nebo turbulentní. Hraniční hodnotou pro proudění v potrubí je 2320. Lze jej určit pomocí vztahu níže.

$$Re = \frac{v_s * d}{\nu}$$

Re – Reynoldsovo číslo [-]

v_s – střední hodnota rychlosti proudění [m/s]

d – průměr potrubí [-]

ν – kinematická viskozita [m²/s]

Velikost absolutních drsností Δ je specifická pro každý materiál potrubí a odpovídá průměrné výšce výstupků nacházejících se na vnitřní straně potrubí [10].

Příklady hodnot velikosti absolutní drsnosti pro různé materiály lze vidět na obrázku 24.

Materiál potrubí	Absolutní drsnost Δ [mm]
Plastové	0,01-0,05
Azbestocementové	0,4
Ocelové a litinové v dobrém stavu	1,0-1,5
Ocelové a litinové částečně inkrustované	3

Obrázek 24: Tabulka absolutních drsností potrubí [5]

Pro stanovení součinitele ztrát třením existuje celá řada empirických vzorců. V případě turbulentního proudění lze využít vztah Colebrook-Whita uvedený níže.

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

λ – součinitel ztrát třením [-]

Δ – absolutní drsnost potrubí [mm]

Re – Reynoldsovo číslo [-]

d – vnitřní průměr potrubí [m]

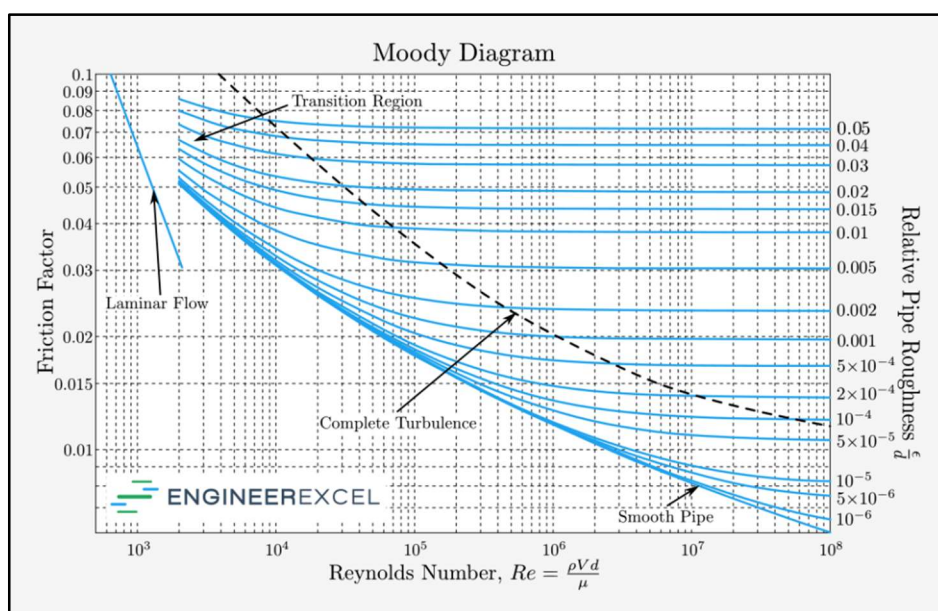
(5)

Pro laminární proudění lze součinitele ztrát třením určit z Poiseuillova vztahu níže.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

4.3.1.2 Moodyho diagram

Součinitel ztrát třením λ vyjadřuje přeměnu mechanické energie na teplo. Jeho hodnotu lze ve zjednodušených případech také odečíst z Moodyho diagramu na základě relativní drsnosti potrubí a Reynoldsova čísla Re .



Obrázek 25: Moodyho diagram [15]

4.3.2 Ztráty místní

K místním ztrátám dochází při deformaci rychlostního pole při změně průtočného profilu. Ke změně průtočného profilu dochází v lomových bodech a v místech, kde jsou osazeny armatury. Může se jednat o různé odbočky, ventily, zúžení, rozšíření a další. Vzhledem k nepoměru velikosti se ztrátami třecími lze ztráty místní v hydraulických výpočtech na dlouhých potrubích zanedbat [14]

Vztah pro výpočet ztrát místních je níže. Součinitele místní ztráty přebíráme z technických tabulek dle jejího původu.

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Z_M – ztráty místní [m]

ξ – součinitel místní ztráty [-]

v – rychlost proudění kapaliny [m/s]

g – gravitační zrychlení [m/s²]

4.4 Návrh a výpočty ve vodovodní síti

Při výpočtu vodovodní sítě je v první fázi nutné rozdělit vodovodní síť na úseky a uzly. Následně se ke každému úseku přiřadí odpovídající odběry. Úsekovou potřebou vody chápeme maximální potřebu vody v daném úseku. Úsekovou potřebu vody lze zjistit několika metodami. Například lze výpočet provést na základě dvou parametrů, které popisují odběr v daném úseku. Výpočet se často provádí zjednodušeně, kdy se maximální spotřeba rozdělí do jednotlivých úseků. [5]

$$q_i = \frac{Q_h - \sum Q_{bod}}{\sum_{i=1}^m a_i b_i} a_i b_i$$

q_i – úseková potřeba

Q_h – max hodinová potřeba

$\sum Q_{bod}$ – součet bodových odběrů ve spotřebišti

a_i – první parametr (koeficient zástavby, zalidnění)

b_i – druhý parametr (např. délka úseku)

m – počet úseků

(8)

Další metodou je metoda redukovaných délek, která závisí na délce úseku a hustotě zástavby. [5]

$$q_i = \frac{Q_s}{\sum_{i=1}^m \varphi_i \cdot L_i} \varphi_i \cdot L_i$$

q_i – úseková potřeba

$\varphi_i \cdot L_i$ – redukovaná délka úseku

Q_s – suma všech odběrů v síti

m – počet úseků

(9)

V další fázi výpočtu se stanovují uzlové potřeby vody. Již vypočtenou úsekovou spotřebu můžeme zjednodušeným výpočtem rozdělit úměrně do krajních uzlů.

$$G_j = \frac{1}{2} \sum q_{ij} B_j$$

G_j – uzlová potřeba vody

q_{ij} – potřeba vody v hlavním úseku uzlu

B_j – bodové odběry z úseku

(10)

Předposlední fází ve výpočtu je stanovení návrhového průtoku Q_n . Návrhový průtok lze zjistit postupným sečtením jednotlivých úsekových potřeb [5]

Poslední fází výpočtu je návrh průměru vodovodního potrubí s ohledem na doporučenou rychlost.

Při navrhování dimenze potrubí vycházíme z normy ČSN 77 6620 a přihlížíme ke průtočné rychlosti proudění vody v potrubí. Spodní hranice rychlosti není omezena žádnými zvláštními technickými požadavky, avšak z ekonomických důvodů není vhodné volit menší rychlosti než 0,6-0,8 m/s. Z důvodu vzniku vodních rázu se nedoporučuje překračovat rychlost 1,5 m/s. Výjimku představují dosažené rychlosti při odběru požární vody, kde lze krátkodobě připustit rychlosti až o velikosti 2,5 m/s. [5]

Po návrhu průměru potrubí ověříme skutečné rychlosti ve vodovodním potrubí. [5]

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

d – průměr potrubí [m]

Q – návrhový průtok [m³/s]

v – rychlost vody v potrubí [m/s]

(11)

5 Potřeba vody

Pro návrh a posouzení vodovodu je nezbytný výpočet potřeby vody. Potřebou vody rozumíme návrhovou hodnotu požadovaného množství za jednotku času. Konkrétní postup stanovení potřeby vody není však v současnosti legislativně ani jinými předpisy podrobně určen. V minulosti směrodatná směrnice č.9/1973 nebyla už skoro 40 let aktualizována a některé údaje v ní jsou tak již zastaralé. [2]

Doporučené postup při výpočtu potřeby vody je vycházet ze skutečných hodnot potřeby vody v dané oblasti vodovodu. Alternativně lze přihlídnout k směrným číslům potřeby vody v příloze 12 vyhlášky č.428/2011⁵ pomocí kterých se určuje spotřeba vody v případě poruchy vodoměru. [2]

Terminologie potřeby vody je uvedena v ČSN 75 015 a zahrnuje základní pojmy jako specifická, průměrná denní, maximální denní a maximální hodinová potřeba vody. [2]

Specifická potřeba vody je definovaná jako množství vody za jednotku času, které připadá na jednoho obyvatele nebo výrobní nebo nevýrobní proces. [4]

Průměrná denní potřeba vody se rovná součinu specifické potřeby vody, počtu příslušných jednotek. [4]

Maximální denní potřeba vody se rovná součinu průměrné denní potřeby vody a součinitele denní nerovnoměrnosti. [4]

Hodnota maximální denní potřeba vody je směrodatná při návrhu zařízení pro odběr vody ze zdroje, kapacitu úpravny vody a potrubí pro dopravu vody do

⁵ Vyhláška je měněná vyhláškou č. 120/2011 Sb., nicméně odkazované hodnoty potřeby vody zůstávají totožné.

nádrží. [16] Lze ji uvažovat dle ČSN 75 6101 nebo článku VI směrnice č. 9/1973 [4]

$$Q_m = Q_p \cdot k_d$$

Q_m – maximální denní potřeba vody [m^3/den]

Q_p – průměrná denní potřeba vody [m^3/den]

k_d – součinitel denní nerovnoměrnosti [-]

(12)

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

Obrázek 26: Součinitele denní nerovnoměrnosti dle směrnice č. 9/1973

Maximální hodinová potřeba vody se rovná součinu maximální denní potřeby vody a součinitele hodinové nerovnoměrnosti. Hodnotu součinitele maximální hodinové nerovnoměrnosti lze uvažovat dle ČSN 75 6101 nebo článku VI směrnice č. 9/1973 [4]

S hodnotou maximální hodinové potřeby vody uvažujeme při dimenzování zařízení na přívod vody do spotřebiště. Součinitele hodinové potřeby vody zároveň užíváme při stanovení provozního objemu vodojemu. [16]

$$Q_h = Q_m \cdot k_h$$

Q_m – maximální hodinová potřeba vody [m^3/h]

Q_p – maximální denní potřeba vody [m^3/den]

k_d – součinitel hodinové nerovnoměrnosti [-]

(13)

Počet připojených obyvatel ¹⁾	30	40	50	75	100	300	400	500
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,max}$	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6
Součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,min}$	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet připojených obyvatel ¹⁾²⁾	1 000	2 000	5 000	10 000	20 000	30 000	50 000	100 000
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,max}$	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5
Součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,min}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
POZNÁMKY								
1) Počet připojených obyvatel se uvažuje podle počtu obyvatel v příslušné sběrné ploše povodí stoky.								
2) Součinitelé hodinové nerovnoměrnosti pro větší počet připojených obyvatel než 100 000 se určují přímým měřením. Byly-li hodnoty součinitelů hodinových nerovnoměrností získány měřením, použijí se pro výpočet přednostně. (Mají být stanoveny ve vztahu k ročnímu průměrnému průtoku.)								

Obrázek 27: Doporučené hodnoty součinitelů hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101

5.1.1 Ztráty vody

Ztráty vody ve vodovodu dělíme na zjištěné uniklé množství vody při provozu, údržbě a poruchách a množství vody odebrané, ale nezjištěné např. černé odběry nebo nepřesnosti vodoměrů. [4]

Velikost ztrát vypovídá o kvalitě a stáří vodovodní sítě armatur a o celkové péči a údržbě distribuční sítě. Procentuální velikost ztrát lze uvažovat do jisté míry jako ukazatel technického stavu vodovodu. V případě, kdy je poměr nefakturované a fakturované vody menší nebo roven 20 % lze stav vodovodu z hlediska ztrát uvažovat jako vyhovující. [5]

V celorepublikovém rozsahu se daří ztráty vody dlouhodobě snižovat. V roce 2021 dosahovala průměrná ztráta v české distribuční síti 14,9 %⁶. [17]

Ztráty vody jsou bohužel něčím, co není reálně možné zcela odstranit, nicméně by mělo být vždy snahou provozovatele sítě jako řádného hospodáře vyvinout maximální úsilí k jejich minimalizaci, a to nejen z ekonomických, ale i technických důvodů. Síť je nehlídanými a neřešenými ztrátami nadbytečně přetěžovaná, jak při samotném provozu, tak při jejím dimenzování. Zdroje kvalitní vody a jejich zásoby jsou omezené a v případě neracionálního užívání bude nutné přecházet na zdroje méně kvalitní.

⁶ Reprezentuje v absolutních hodnotách celkovou ztrátu o velikosti 86 501 tis. m³ pitné vody. [30]

6 Matematické modelování vodovodních sítí

Matematické modely vodovodních představují efektivní nástroj pro analýzu tlakových a průtokových poměrů v síti. Další možností využití je při přibližné lokalizaci významných poruch na síti. Modely se standardně nutně kalibrovat a verifikovat, čímž je zaručena vypovídací schopnost modelu.

Mezi nejznámější modelovací programy patří například WaterGEMs, Kypipe a především předmětný EPANET, z jehož výpočetního jádra mnoho aplikací vychází.

6.1 EPANET 2.2

EPANET 2.2 je bezplatná a volně dostupná softwarová aplikace používaná po celém světě k modelování vodovodních systémů. Byla vyvinuta Agenturou pro ochranu životního prostředí USA jako nástroj pro pochopení transportu pitné vody v distribučních systémech a lze jej použít pro mnoho různých typů aplikací při analýze distribučních systémů.

Posouzení vodovodní sítě bude provedeno v praktické části práce v programu EPANET 2.2. Princip výpočetního modelu, na kterém program funguje a vysvětlení jeho základních funkcí bude popsáno v navazujících kapitolách.

Výpočetní jádro aplikace využívá iterační metody s gradientním algoritmem pro řešení rovnice kontinuity mezi jednotlivými uzly sítě a rovnice ztrát třením pro jednotlivé úseky potrubí pro stanovení hydraulických a kvalitativních veličin v libovolném čase simulace.

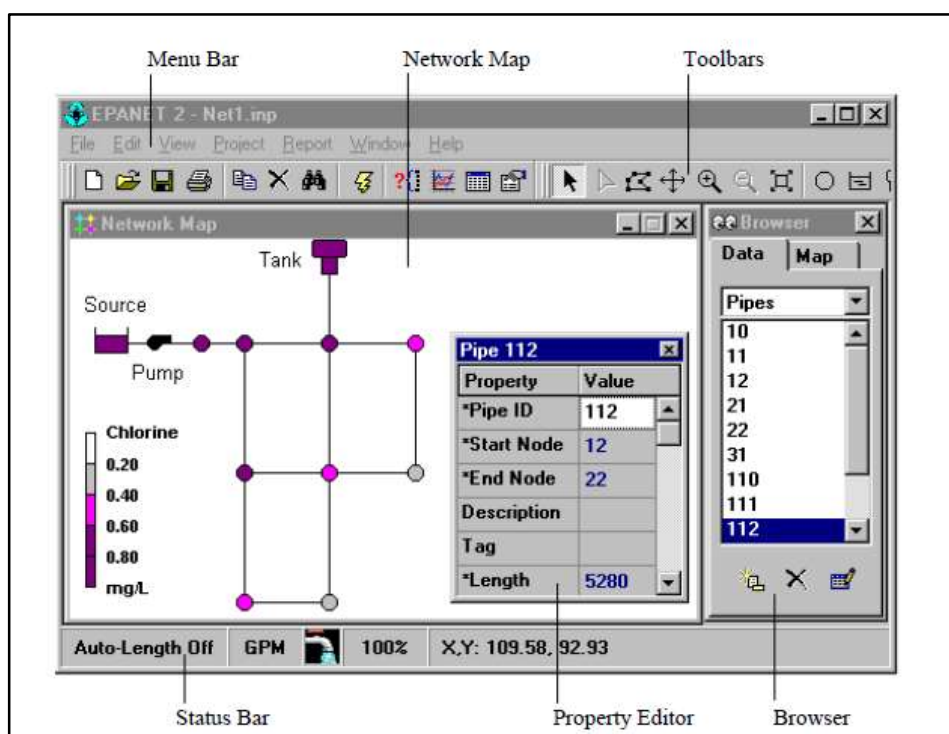
Zadáním požadovaných vstupních dat je aplikace schopná dopočítávat časově proměnlivé hodnoty tlaků v jednotlivých uzlech vodovodní sítě, hodnoty průtoků a rychlostí v potrubí a nové úrovně hladiny vody v nádržích. Celkový čas simulace a interval výpočetního kroku je možné libovolně nastavit.

6.1.1 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní programu EPANET 2.2 je přehledné a jednoduché. Program i jeho manuál je dostupný v anglickém jazyce. Nevýhodou může být pro některé uživatele absence podpory českého jazyka a v dnešní době pro většinu aplikací běžné tlačítko zpět. Součástí programu zároveň není integrovaný systém

pro hromadnou editaci vlastností, což může při rozsáhlejších úlohách značně časově prodloužit práci s programem.

Základní podoba pracovního rozhraní je zobrazena na obrázku 28 níže. Tvoří jej následující programové prvky: panel nabídek (Menu Bar), panel nástrojů (Toolbars), stavový řádek (Status Bar), samotná mapa sítě (Network Map), okno Průzkumník (Browser) a okno Editor vlastností (Property Editor). Popis využití těchto prvků při práci v programu je uveden v navazujících částech.



Obrázek 28: Prvky uživatelského rozhraní.

6.1.2 Práce s programem EPANET 2.2.

a) Vytvoření nového projektu

Vytvoření nového projektu provedeme zvolením File – New na horní liště v menu. Prvním krokem před zahájením tvorby modelu je nastavení výchozích hodnot. Toto nastavení se provádí v menu Project– Defaults.v kolonce Hydraulics. Zásadní je zde neopomenout nastavení jednotek průtoku, a zvolení vztahu pro výpočet tlakových ztrát.

b) Prvky modelu vodovodní sítě

Základní uzly (Nodes)

Základní uzly jsou místa, mezi kterými je ve vodovodní síti možné vytvářet různé spoje a kde voda vstupuje a vystupuje prostřednictvím odběru ze sítě. Pomocí dvojkliku na uzel nebo navolení v browseru lze v každém uzlu nastavit jeho vstupní parametry. Základní vstupní parametry jsou jeho nadmořská výška, odběr a kvalita vody. [18] Jejich vkládání lze zjednodušit pomocí podpůrného softwaru EPACAD, který je samostatně popsán v kapitole 6.1.3.

Zdroje (Reservoirs)

Zdroje jsou speciální uzly, reprezentující prvky jako vodárenské nádrže, řeky a zvodně, které mají neomezenou kapacitu, a z kterých vstupuje voda do systému.

Nejsou ovlivnitelné ostatními prvky systému, představují okrajovou podmínku. Lze však nastavit proměnlivost hladiny v čase. Základní vstupní parametry jsou nadmořská výška hladiny a kvalita vody. [18]

Nádrže (Tanks)

Nádrže jsou speciální uzly se schopností akumulovat vodu. Základní vstupní parametry jsou nadmořská výška dna nádrže, u cylindrických nádrží její průměr nebo vztah objemu vody a hladiny v nádrží pro ostatní tvary, počáteční a maximální úroveň hladiny vody a vstupní kvalita vody. V uzlech nádrží se automaticky dodržují dvě logické podmínky. V případě dosažení maximální úrovně hladiny je přerušen přítok do nádrže. V opačném případě je přerušen odtok. [18]

Potrubí (Pipes)

Potrubí je jedním z prvků, který má schopnost spojovat jednotlivé uzly popsané výše. Základní vstupní parametry jsou vstupní a koncový uzel, vnitřní průměr potrubí, délka potrubí, absolutní drsnost potrubí a její počáteční stav. Nastavení délky potrubí lze potenciálně zjednodušit nastavením automatické délky (auto-length). Hodnotu absolutní drsnosti uvažujeme dle zvolené rovnice pro výpočet ztrát třením ve výchozím nastavení programu. Prvek potrubí lze

zároveň využít jako ventil pro stav plně otevřený a plně zavřený. [18] Obdobně jak u uzlů, lze vkládání zjednodušit pomocí podpůrného softwaru EPACAD, který je samostatně popsán v kapitole 6.1.3.

Čerpadla (Pumps)

Čerpadla dodávají do systému energií, čímž navyšují hydraulickou výšku. Jsou dalším prvkem, který má schopnost spojovat jednotlivé uzly. Hlavní vstupní veličenou čerpadla je jeho Q-H křivka, která popisuje vztah mezi průtokem a dopravní výškou. Otáčky čerpadla lze regulovat prostřednictvím nastavení rychlosti. (Speed). [18]

Ventily (Valves)

Ventily jsou posledním prvkem, který má schopnost spojovat jednotlivé uzly, avšak na rozdíl od předchozích dvou se zde existují omezení při jejich vkládání. Prvek nám dává schopnost limitovat tlak a průtok mezi uzly. Vstupní hodnoty jsou počáteční a koncový uzel, průměr ventilu a jejich počáteční stav. K dispozici máme celkem 6 nastavení ventilů, z nichž se každé využívá za jiným účelem.

PRV-Pressure Reducing Valve (Ventil pro redukci tlaku)

Ventil snižuje tlak ve výstupním uzlu na nastavenou hodnotu v případě dosažení vyšší hodnoty než té nastavené ventilem. V opačném případě je výstupní tlak neovlivněn.

PSV-Pressure Sustaining Valve (Ventil pro udržování tlaku)

Ventil udržuje tlak ve výstupním uzlu na nastavené hodnotě ventilem.

PBV-Pressure Breaker Valve

Ventil snižuje tlak ve výstupním uzlu o předem nastavenou hodnotu.

FCV-Flow Control Valve

Ventil udržuje průtok ve daném spoji na nastavené hodnotě ventilem.

TCV-Throttle Control Valve

Ventil simuluje škrcení průtoku na základě koeficientu místní ztráty

GPV-General Purpose Valve

Ventil, pomocí kterého lze nastavit vztah mezi průtokem a ztrátou tlaku

Omezující podmínky

Při vkládání ventilů do modelu jsme limitováni následujícími podmínkami. Vstupní nebo výstupním uzlem ventilu typu PRV, PSV a FCV nemůže být zdroj nebo nádrž. Více ventilů PRV nemůže být napojeno na společný výstupní uzel. Více PSV nesmí být napojeno na společný vstupní uzel. Výstupním uzlem ventilu typu PSV nesmí mít vstupní uzel typu PRV.

Popisky (Labels) T

Popisky plní pouze informativní funkci a umožňují dodatečné popsání sítě. Výpočetní význam v modelu nemají. Jejich měřítko se automaticky přizpůsobuje měřítku modelu. [18]

Časové řady (Time Patterns)

Časové řady slouží k nastavení násobitelů ve zvolených časových krocích. Lze je využít k implementaci hodinové nerovnoměrnosti potřeby vody nebo kolísání tlaku na zdroji. Délku časového kroku lze nastavit pomocí Browseru, v záložce Options – Times. [18]

Podmínky (Controls)

Podmínky se dělí na jednoduché a složené. Jsou to příkazy, které určují, jak se systém bude chovat v jednotlivých časových krocích po spuštění simulace.

Jednoduché nám umožňují měnit nastavení spojovacích prvků v závislosti na tlaku ve zvoleném uzlu nebo čase simulace. Složené podmínky nám umožňují deklarovat kombinace výroků. [18]

Nastavení (Options)

Nastavení nalezneme v okně Browseru, a lze v něm nastavit další vlastnosti modelu. Lze zde nastavit délku simulace a délky výpočetních kroků. [18]

Výpočet

Ke spuštění výpočtu lze použít ikonu výpočtu (blesk) nebo kliknout menu Project – Run Analysis. Délka výpočtu závisí na složitosti modelu, délce simulace, délce výpočetního kroků a výkonnosti procesoru počítače uživatele. [18]

Zobrazení výsledků

Okno s mapou

Existuje několik možností pomocí, kterých lze odečíst výsledky simulace. Pro sledování změn přímo v okně modelu je nejprve v menu View –Options – Notation nutné zaškrtnout Display Node Values a Display Link Values a následně v Browseru, v okně Map pak zvolit, které z vlastností chceme v uzlech a spojích sledovat. Ve stejném okně máme možnost měnit čas výpočtu nebo spustit automatické přehrávání a sledovat, jak se zvolené hodnoty mění. [18]

Grafy

Grafy nám umožňují názorné vykreslení požadovaných hodnot. Hlavním využitím jsou především časové průběhy tlaků, průtoků či rychlostí. Můžeme si také nechat vykreslit podélný profil vodovodního řadu, nebo celkovou bilanci průtoků v systému. [18]

Tabulky

Pro exaktní výsledky lze použít funkcí tabulárního exportu výsledků. Exportovat lze buď časovou řadu pro zvolený uzel či spojovací prvek, nebo hodnoty v celé síti ve vybraný časový okamžik. [18]

Doporučený postup práce [18]

Při práci s EPANETEM se obecně doporučuje postupovat takto:

- 1) Vložení všech prvků reprezentující model. Lze využít EPACAD.
- 2) Nastavení vstupních hodnot vložených prvků tvořící model.
- 3) Popsání kontrolních podmínek, křivek a časových řad.
- 4) Výběr předmětu analýzy. (Hydraulické poměry nebo kvalitativní ukazatele)
- 5) Spuštění výpočtu.
- 6) Zobrazení výsledků a jejich interpretace.

6.1.3 EPACAD

EPACAD je volně dostupný software vyvinutý pro EPANET, který umožňuje převod geometrie distribuční sítě vytvořené v AUTOCADu do uzlů a potrubí ve formátu*.inp podporovaném v EPANETu. Nástroj umí číst souřadnicové umístění vstupní geometrie a zachovat ho ve výstupním souboru. Automaticky převádí nadmořské výšky do nastavení uzlů a dopočítává jednotlivé délky úseků potrubí.
[19]

ČÁST II
PRAKTICKÁ

7 Popis řešeného území

7.1 Širší vztahy

Obec Perštejn nalezneme v severozápadních Čechách v Ústeckém kraji v okrese Chomutov. Okresní město se nachází přibližně 35 kilometrů západním směrem od obce. Území obce se rozprostírá v údolí řeky Ohře mezi Krušnými a Doupovskými horami.

Svým statutem se jedná o obec I. stupně, která je členěna na místní části: Perštejn (Hlavní část), Lužný, Černýš, Vykmanov, Ondřejov, Rájov a Údolíčko. V současnosti zde trvale žije přibližně 1149 obyvatel. [20]

Terén řešené oblasti je převážně mírně až středně svažité s klesajícím charakterem směrem na jih.

Nadmořské výšky v hlavní části obce se pohybují v rozmezí 360-420 m n. m. Místní část Černýš leží jihovýchodně u řeky Ohře v nadmořské výšce 300-360 m n.m. Poslední místní část Lužný se nachází na jihu v nadmořských výškách 305 - 330 m n. m. [21] [22] [23]

Celková plocha katastru je 2058 ha, přičemž většinou část obce tvoří ze 62,2 % lesy o celkové rozloze 1 342,5 ha a ze 25,9 % zemědělské půdy o rozloze 532,4 ha. [24] Poloha je patrná z obrázku 29 níže.



Obrázek 29: Poloha obce Perštejn [25]

7.2 Zastavěné území

Zastavěná část obce je soustředěná podél komunikace, po okraji je rozptýlená a tvořena převážně nízkopodlažními objekty pro bydlení venkovského typu. Zastavěná plocha zahrnuje 7,9 % celkového území. [24]

Současná občanská vybavenost obce se skládá z obecního úřadu, pošty, prodejny potravin, mateřské školy, základní školní a školní jídelny. Pro sportovní a rekreační vyžití disponuje obec dvěma sportovními areály a přírodním koupalištěm. Obyvatele se mohou v obci obrátit na lékařskou ordinaci s praktickým a dětským lékařem. Nachází se zde zároveň několik objektů pohostinství jako například penzion Selský Dvůr, Pivovar Chalupník nebo turistické ubytovny ve sportovním areálu. Dále se na území obce nachází kostel a areál pohřebiště. [26]

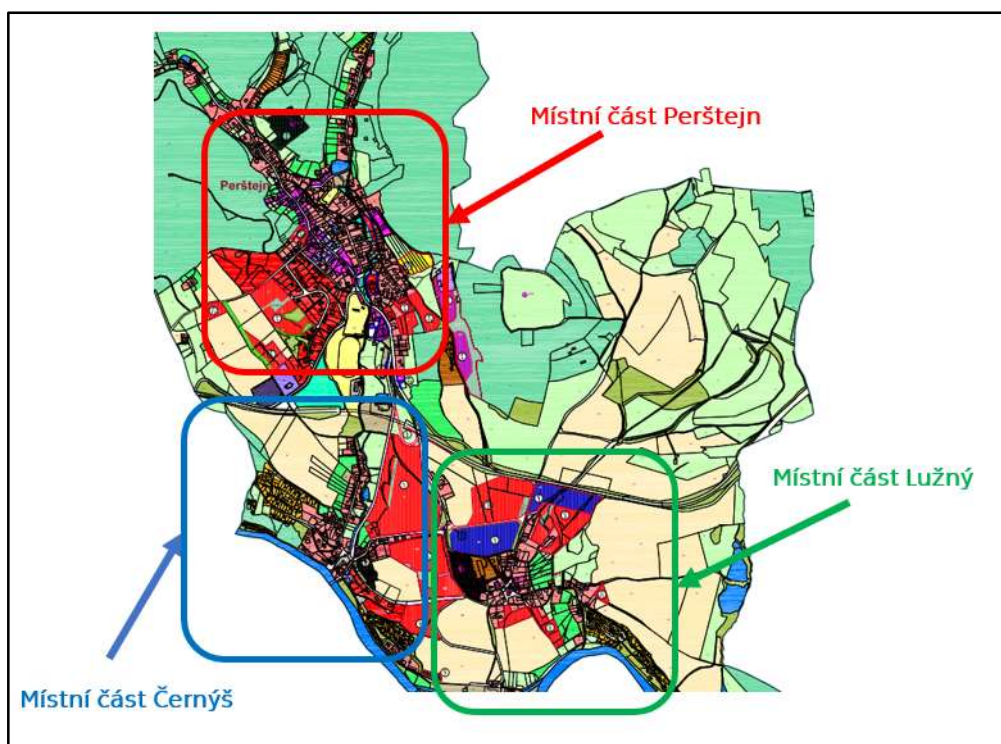
Obcí protékají ze severu k jihu dva vodní toky Hučivý a Malodolský potok, které za jižním cípem obce ústí do řeky Ohře.

8 Územně plánovací dokumenty

8.1 Územní plán









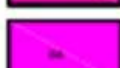

Územní plán obce Perštejn byl naposledy upraven v červnu 2015. Důležité informace pro předmět práce jsou zde údaje o zastavěném a zastavitelném území a o technické infrastruktuře, které lze dohledat ve výrokové části.

Prostorové členění jednotlivých ploch lze pak dohledat ve výkresové části. Výřez významných ploch je zobrazen na obrázku 30 níže.



Obrázek 30: Výřez z hlavního výkresu ÚP Perštein [26]

Poznámka k obrázku 30:

STAV	NÁVRH	
		plochy pro bydlení – v bytových domech
		plochy pro bydlení – v rodinných domech-městské
		plochy pro bydlení – v rodinných domech-venkovské
		plochy smíšené obytné v centrech
		plochy smíšené obytné

8.2 Plán rozvoje vodovodů a kanalizace kraje

Plán rozvoje vodovodů a kanalizací dále jen PRVKÚK je dokument státní politiky v oboru vodovodů a kanalizací zpracován na základě zákona č. 274/2001⁷.

Obsahuje koncepci řešení zásobování pitnou vodou, likvidace a čištění

⁷ konkrétně § 4 zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

odpadních vod včetně vymezení zdrojů povrchových a podzemních vod. Slouží jako podklad pro zpracování politiky územního rozvoje a územně plánovací dokumentace. [8] Pro jednotlivé obecní části obce Perštejn je PRVKÚK zpracován samostatně. V roce 2022 byl aktualizován návrhový stav k připomínkám.

V rámci zásobování pitnou vodou uvádí PRVÚK, že na předmětný skupinový vodovod jsou napojeny tři místní části: Perštejn, Černýš a Lužný. Místní část Vykmanov je zásobována z místního vodovodu, na který je v současnosti napojeno 60 osob. Tento však není předmětem této práce. V místních částech Ondřejov, Rájov a Údolíčko není vybudovaná vodovodní síť. Zásobování pitnou vodou je řešeno individuálně domovními studnami. Na řešený skupinový vodovod je napojeno celkem 1356 obyvatel, přičemž 27,6 % z nich pobývá v obci oficiálně jenom přechodně. [21] [22] [23]

9 Popis použitých podkladů

Kvalita každého modelu odpovídá kvalitě podkladů, z kterých se vychází. Pro analýzu zásobování obce a vytváření matematického modelů bylo snahou dohledat a využít co nejvíce podkladů a zdrojů, tak aby se výsledný model maximálně blížil realitě. Zásadní informace ohledně topologie sítě, charakteristik jednotlivých funkčních objektů a záznamy tlakových poměru byly poskytnuty správcem sítě. Některé údaje byly převzaty z projektové dokumentace dvou provedených rekonstrukcí vodovodu.

Vzhledem k absenci geodetického zaměření vodovodní sítě byl dalším významným podkladem pro odečtení výškopisu řešeného území 5G model terénu dostupný na stránkách ČÚZK. Přesnost modelu se uvažuje se střední chybou 18 cm v odkrytém terénu, což je vzhledem k charakteru pozorovaných veličin v této práci přijatelné. [27]

Ve výpočetní části vycházíme z normativních předpisu, vyhlášek, technických katalogů jednotlivých prvků. Data průběhu hladin ve vodojemu nebylo možné získat.

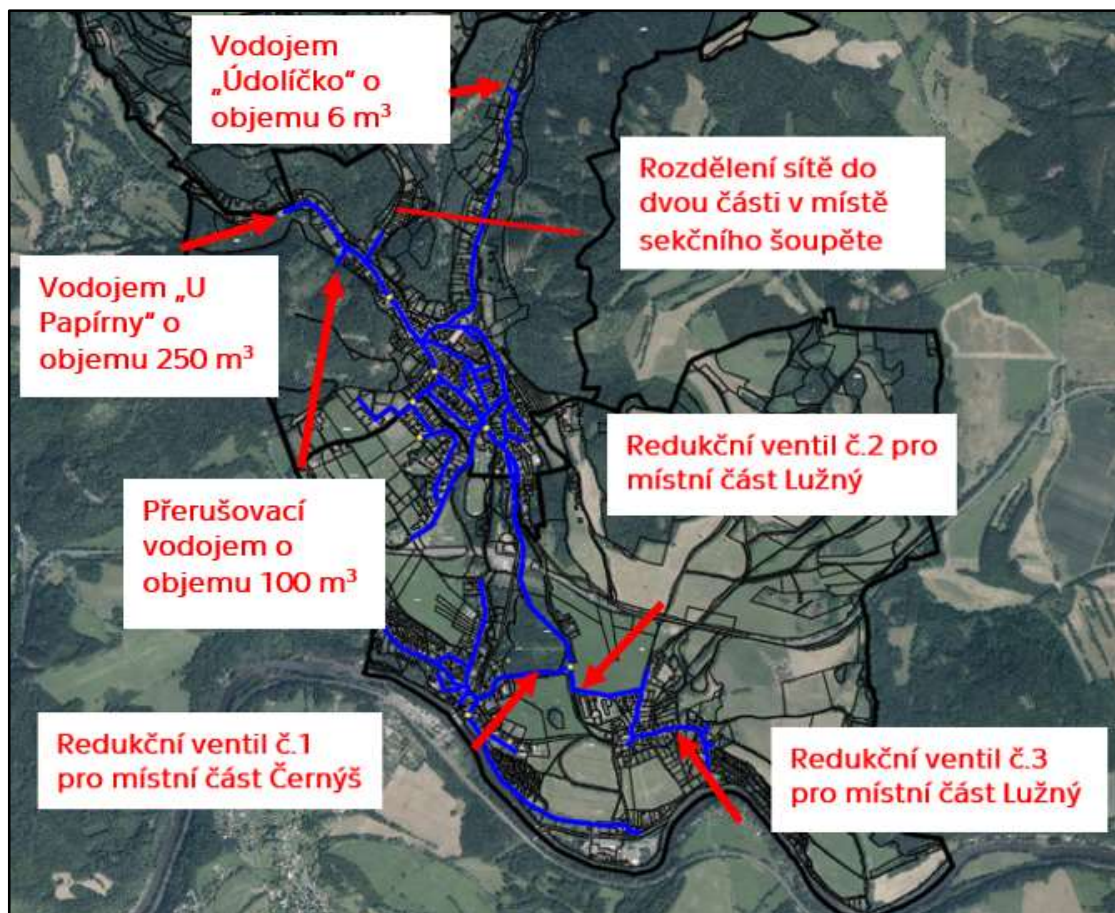
10 Současný stav zásobování pitnou vodou

Posouzení zásobování vodou v této práci se týká tří místních částí obce: Perštejn, Lužný a Černýš.

Vzhledem k poloze vodních zdrojů a svažité morfologie terénu je systém zásobování téměř plně gravitační. Výjimku představuje vysoce položený úsek na západě obce, kde jsou tlakové poměry nadlepšovány pomocí automatické tlakové stanice (ATS). V tomto místě jsou v současnosti zásobeny pouze 4 objekty rodinných domů, tudíž tento úsek nebude představovat stěžejní část práce.

Tlakové poměry v sítí jsou regulovány pomocí přerušovacího vodojemu a 3 redukčních šachet, které teoreticky rozdělují distribuční systém do 4 tlakových pásem.

Vodovod je pomocí sekčního šoupěte trvale rozdělen do dvou částí. Umístění redukčních šachet a rozdělení vodovodu do dvou částí je patrné z obrázku níže.



Obrázek 31: Umístění redukčních šachet

Zásobování ostatních částí obce je řešeno individuálně a není předmětem této práce. V místních částech Ondřejov, Rájov a Údolíčko není vybudovaná vodovodní síť. Zásobování pitnou vodou je zde řešeno individuálně domovními studnami. Obecní část Vykmánov je zásobována z vlastního místního vodovodu. Ve výhledovém stavu se s jejich napojením neuvažuje.

Z poskytnutých údajů o výrobě vody a evidence celkem vyfakturované lze vyvodit, že dochází v systému zásobování k výrazným ztrátám vody. Množství fakturované vody dle databáze VÚME, VÚPE⁸ bylo 45 771 m³ za rok 2021. Ve stejném roce bylo dle poskytnutých pokladů do systému dodáno 102 004 m³ upravené vody. Ztráta za 2021 tedy činila 55,13 %.

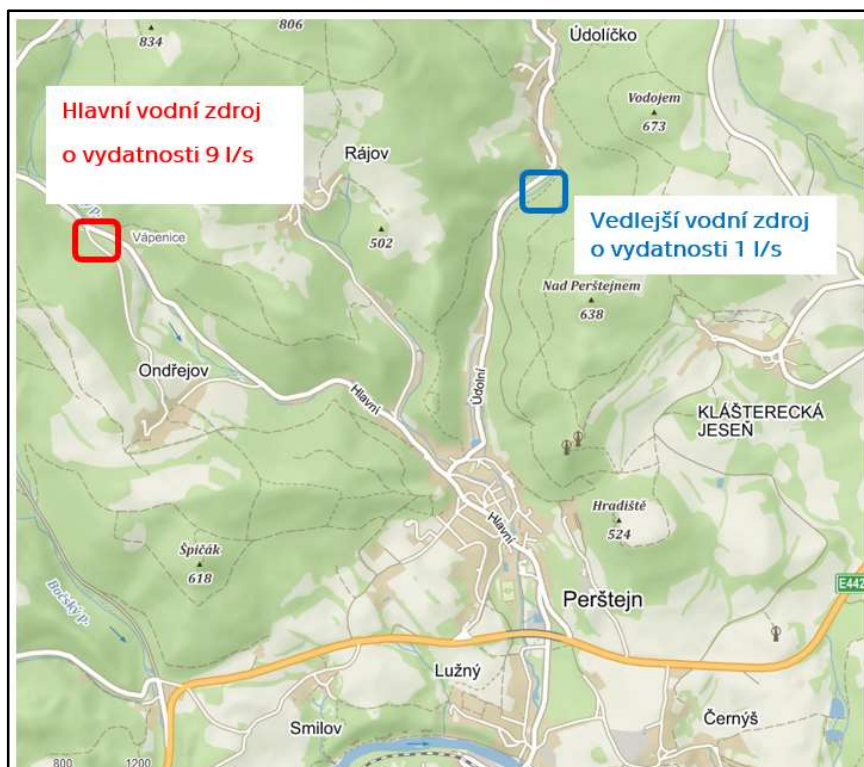
Na vodovodní systém je oficiálně napojeno 100% obyvatel. Majitelem i provozovatelem vodovodu je obec Perštejn.

10.1 Zdroje vody

Řešené území je v současné době zásobeno ze dvou zdrojů. Hlavním zdrojem vody, který zásobuje převážnou část obce je podzemní voda ze štolý bývalého důlního díla Vápenice. Zdroj surové vody se nachází cca 35 m nad úrovní úpravny vody. Vydatnost zdroje byla změřena na 9 l/s. V minulosti docházelo k jímání vody přes hrubocez na Hučivém potoce. Dnes je tento objekt vyřazený z funkce. Lze jej však využít jako rezervní zdroj .

Horní část obce směrem na Údolíčko je zásobena z jímací studny. Vydatnost jímací studny je údajně 1 l/s. [28] Surová voda dle podkladů poskytnutých správcem sítě kvalitativně vyhovuje limitům daným Vyhláškou č. 252/2004 Sb. z hlediska obsahu kovů, dusičnanů, dusitanů, amonných iontů. Polohy vodních zdrojů a místo vstupu do štolý lze vidět na obrázku 32 a 33 níže.

⁸ Vybrané údaje majetkové a provozní evidence



Obrázek 32: Poloha vodních zdrojů [25]



Obrázek 33: Vstup do štol

10.2 Úprava vody

Surová voda z hlavního zdroje je gravitačně svedena do úpravny vody „U Papírny“. Na potrubí surové vody je nainstalována elektricky ovládaná armatura, která ovládá přítok v závislosti na hladině v hlavním vodojemu. Surová voda je vedena přes uzavírací ventil a indukční průtokoměr na hydraulický rozdělovač.

Před hydraulickým rozdělovačem je proporcionalně podle průtoku dávkován chlornan sodný. Následně voda protéká shora dolů přes pískové filtry o

ploše 2 x 2,88 m² s náplní pískem FP2⁹. Proces samotné úpravy vody probíhá automaticky. Praní pískových filtrů bude zajišťovat obsluha úpravny vody. [29]

Zařízení pro úpravu vody je navrženo na maximální výkon 8 l/s. Upravená voda z filtrů natéká do zemního vodojemu situovaného vedle objektu úpravy vody. [29]

Úprava surové vody z vedlejšího zdroje probíhá filtrací přes pískové filtry a manuálním dávkováním chlornanu sodného. [28]

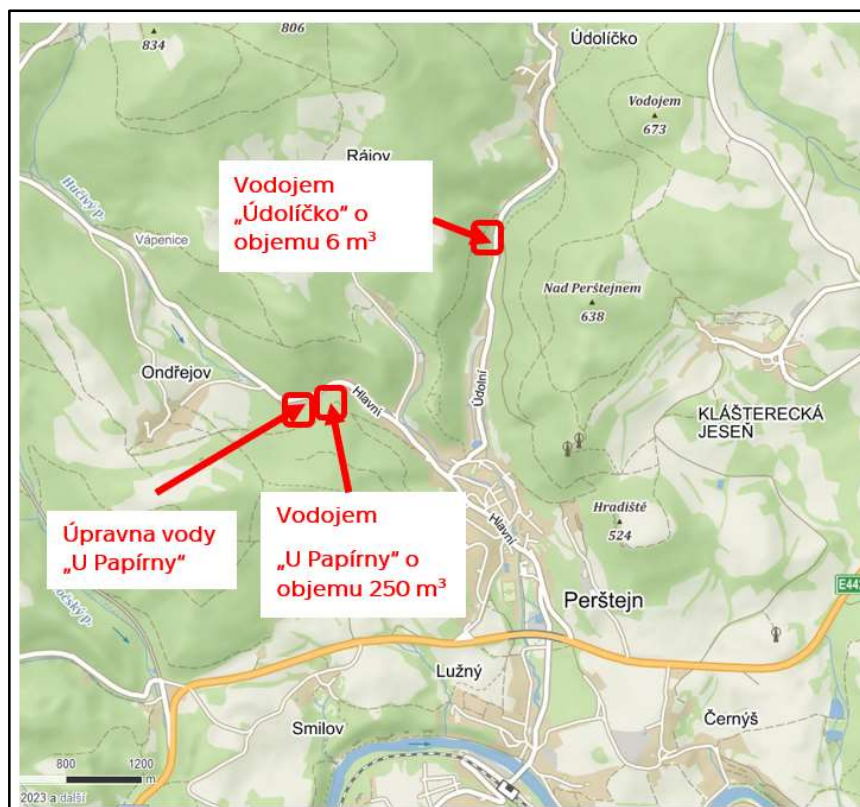
10.3 Akumulace vody

Upravená voda z hlavního vodního zdroje je akumulována v zemním vodojemu o objemu 250 m³. Z konstrukčního hlediska je nádrž vodojemu zhotovena z prefabrikovaných železobetonových panelů. Průměr vodojemu je ø,95 m o výšce 3,6 m.

Dno vodojemu se nachází v úrovni 425,50 m n.m. Maximální hladina vody ve vodojemu je 428,62 m n.m. Přítok vody do vodojemu je uzavřen při dosažení maximální hladiny a otevřen při opětovném poklesu o 60 cm.

Upravená voda z vedlejšího vodního zdroje je akumulována v zemním vodojemu o objemu 6 m³. Dno vodojemu se nachází v úrovni 426,50 m n.m. Maximální hladina vody ve vodojemu dosahuje 428,50 m n.m. Poloha míst úpravy vody a její akumulace je zobrazena na obrázku 34 níže.

⁹ Tříděný vodárenský písek, který se používá při úpravě vody. Je vyroben z vysoce kvalitního tříděného křemičitého písku se zrnitostí 1,0 až 1,6 mm.



Obrázek 34: Poloha objektu úpravy a akumulace vody

V následující části bylo provedeno posouzení stávající kapacity obou vodojemů. Součinitele hodinové nerovnoměrnosti pro stanovení provozního objemu byly převzaty z přílohy C směrnice č. 9/1973 pro $kh=1,8$. Provozní objem je stanoven jako součet absolutních hodnot bilancí odběrů. Uvažujeme, že oba vodojemy musí být schopny překlenout poruchu v délce 8 hodin. Stávající vodojem „Údolíčko“ není uvažován pro požární účely. Postup výpočtu je obdobný pro oba vodojemy.

Posouzení stávající kapacity vodojemu „U Papírny“

Posouzení vodojemu "U Papírny" (250 m³)	
stávající odběr [m ³ /rok]	101281
kd[-]	1.35
Q_{max,d, stávající} [m³/den]	374.6
V[m³]	250

Tabulka 2: Vstupní parametry vodojemu "U Papírny"

Hlavní vodojem "U Papírny" (250 m³)					
hodina	k_h	přítok	stávající odběr	přebytek P-O	bilance odběru
od-do	%	m³/h	[m³/h]	m³/h	m³
0-1	1.00	15.6	3.75	12	12
1-2	0.70	15.6	2.62	13	25
2-3	0.70	15.6	2.62	13	38
3-4	0.70	15.6	2.62	13	51
4-5	2.00	15.6	7.49	8	59
5-6	3.00	15.6	11.24	4	63
6-7	5.00	15.6	18.73	-3	60
7-8	6.40	15.6	23.97	-8	52
8-9	4.50	15.6	16.86	-1	51
9-10	5.50	15.6	20.60	-5	46
10-11	5.50	15.6	20.60	-5	41
11-12	5.50	15.6	20.60	-5	36
12-13	5.00	15.6	18.73	-3	32
13-14	5.00	15.6	18.73	-3	29
14-15	4.00	15.6	14.98	1	30
15-16	5.00	15.6	18.73	-3	27
16-17	5.00	15.6	18.73	-3	24
17-18	6.00	15.6	22.48	-7	17
18-19	6.50	15.6	24.35	-9	8
19-20	7.50	15.6	28.10	-12	-4
20-21	5.00	15.6	18.73	-3	-7
21-22	5.00	15.6	18.73	-3	-11
22-23	4.00	15.6	14.98	1	-10
23-24	1.50	15.6	5.62	10	0
Σ		375	374.6	0.0	0

Tabulka 3: Bilancování vodojemu "U Papírny"

Provozní objem	
max	63.31
min	10.61
ΣV _{prov} [m ³]	73.9
Požární objem	
q _p [l/s]	12
n	1
t[h]	0.5
V _{pož} [m ³]	21.6
Poruchový objem	
T[h]	8
V _{prov} [m ³]	124.9
Celkový objem	
V _{min} [m ³]	220.4
V _d [m ³]	250
V _d >V _{min} [m ³]	SPLNĚNO

Tabulka 4: Výsledky posouzení kapacity vodojemu

Stávající kapacita vodojemu „U Papírny“ je dostatečná a nabízí rezervou přibližně 30 m³, které lze využít pro delší překlenutí poruchy.

Posouzení stávající kapacity vodojemu „Údolíčko“

Posouzení vodojemu "Údolní" (6 m³)	
stávající odběr [m ³ /rok]	722.8
kd[-]	1.35
Q _{max,d} , stávající [m ³ /der]	2.7
V[m ³]	6

Vedlejší vodojem "Údolíčko" o objemu 6 m³					
hodina	k _h	přítok	stávající odběr	přebytek P-O	bilance odběru
od-do	%	m ³ /h	[m ³ /h]	m ³ /h	m ³
0-1	1.00	0.1	0.03	0.08	0.08
1-2	0.70	0.1	0.02	0.09	0.18
2-3	0.70	0.1	0.02	0.09	0.27
3-4	0.70	0.1	0.02	0.09	0.36
4-5	2.00	0.1	0.05	0.06	0.42
5-6	3.00	0.1	0.08	0.03	0.45
6-7	5.00	0.1	0.13	-0.02	0.43
7-8	6.40	0.1	0.17	-0.06	0.37
8-9	4.50	0.1	0.12	-0.01	0.36
9-10	5.50	0.1	0.15	-0.04	0.33
10-11	5.50	0.1	0.15	-0.04	0.29
11-12	5.50	0.1	0.15	-0.04	0.25
12-13	5.00	0.1	0.13	-0.02	0.23
13-14	5.00	0.1	0.13	-0.02	0.21
14-15	4.00	0.1	0.11	0.00	0.21
15-16	5.00	0.1	0.13	-0.02	0.19
16-17	5.00	0.1	0.13	-0.02	0.17
17-18	6.00	0.1	0.16	-0.05	0.12
18-19	6.50	0.1	0.17	-0.06	0.06
19-20	7.50	0.1	0.20	-0.09	-0.03
20-21	5.00	0.1	0.13	-0.02	-0.05
21-22	5.00	0.1	0.13	-0.02	-0.08
22-23	4.00	0.1	0.11	0.00	-0.07
23-24	1.50	0.1	0.04	0.07	0.00
Σ		3	2.7	0.00	0.00

Tabulka 5: Bilancování vodojemu "Údolíčko"

Provozní objem	
max	0.45
min	0.08
$\Sigma V_{\text{prov}}[\text{m}^3]$	0.5
Poruchový objem	
T[h]	8
$V_{\text{prov}}[\text{m}^3]$	0.9
Celkový objem	
$V_{\text{min}}[\text{m}^3]$	1.4
$V_d[\text{m}^3]$	6
$V_d > V_{\text{min}} [\text{m}^3]$	SPLNĚNO

Tabulka 6: Výsledky posouzení kapacity vodojemu

Stávající kapacita vodojemu „Údolíčko“ vyhovuje zadaným předpokladům a není v současné době z výrazné části plně využívána.

11 Výpočet potřeby vody

Při výpočtu potřeby vody vycházíme z počtu a druhu napojených objektů a směrných čísel potřeby vody uvedených ve vyhlášce č. 428/2001. Počet objektů bytového fondu a druh občanské vybavenosti byl napočítán a určen z mapových podkladů. Celkem bylo odečteno 444 bytových objektů, v kterých dle územního plánu pobývá celkem 1356 osob, z čehož si můžeme určit průměrný počet 3,05 obyvatele na objekt. Této hodnoty využijeme při výpočtu uzlových potřeb.

Pro stávající objekty si potřebu vody pro bytový fond stanovíme z celkového objemu fakturované vody a počtu připojených osob na vodovod. Pro výhledové bytové objekty lze dle výše uvedené vyhlášky uvažovat potřebu vody 35 m³/rok/osobu. Směrná čísla potřeby vody pro občanskou vybavenost byla zvolena podle charakteru objektu. Podrobné stanovení je zobrazeno v tabulkách níže.

Mateřská škola	
počet pracovníků [-]	5
počet žáků [-]	50
potřeba vody na 1 pracovníka/žáka [m ³ /rok]	16
potřeba vody celkem [l/den]	2410.96

Tabulka 7: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Základní škola	
počet pracovníků [-]	14
počet žáků [-]	180
potřeba vody na 1 pracovníka/žáka [m3/rok]	5
potřeba vody celkem [l/den]	2657.53

Tabulka 8: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Školní jídelna	
počet pracovníků [-]	4
počet stravníků [-]	180
potřeba vody na 1 pracovníka/stravníka [m3/rok]	8
potřeba vody celkem [l/den]	4032.88

Tabulka 9: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Pivovar Chalupník	
počet zaměstnanců [-]	4
výčep podvání studených i teplých jídel [-]	60
potřeba vody celkem [l/den]	657.53

Tabulka 10: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Restaurace Slunečná	
počet zaměstnanců [-]	1
výčep podvání studených i teplých jídel [-]	60
potřeba vody celkem [l/den]	164.38

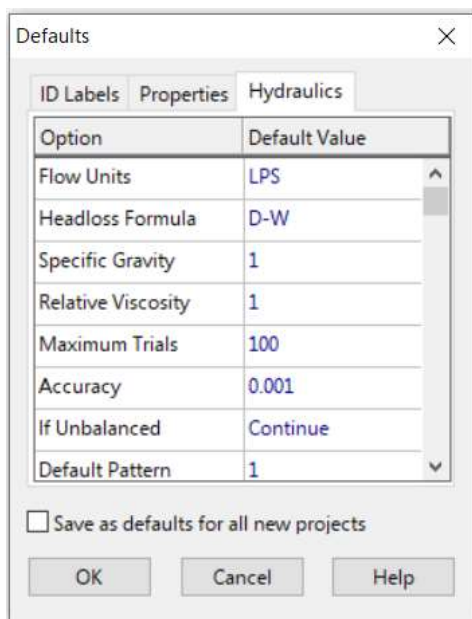
12 Matematický model vodovodní sítě v EPANETU 2.2.

V této kapitole bude popsán na rozdíl od popisu v teoretické části specifický detailní postup práce při vytváření modelu v prostředí programu EPANET 2.2. Pomocí modelu vytvoříme a budeme posuzovat stávající a výhledový stav sítě. V první fázi vytvoříme nekalibrovaný model obsahující všechny prvky sítě. Následně provedeme kontrolu se skutečně naměřenými hodnotami.

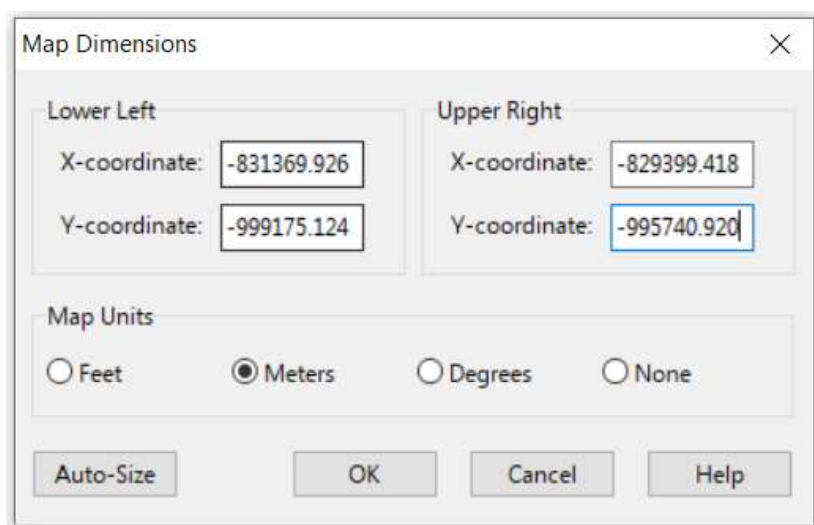
Nastavení výchozích hodnot modelu

V nově založeném projektu si jako první v menu Project – Defaults nastavíme jednotky průtoku na litry za sekundu (LPS) a pro výpočet tlakových ztrát zvolíme Darcy-Wisbachovu rovnici (D-W). Následně v menu View – Map Dimensions nastavíme jako délkové jednotky metry. Nastavení souřadnicového systému můžeme vzhledem k navazujícímu způsobu importu geometrie sítě přeskočit. Geometrii sítě tvořenou uzly a potrubím si totiž můžeme připravit

v programu AUTOCAD. Alternativně je možné prvky zadávat manuálně. Vzhledem k počtu prvku tvořící model přistoupíme na první variantu vkládání.



Obrázek 35: Výchozí nastavení modelu



Obrázek 36: Nastavení výchozích hodnot délky

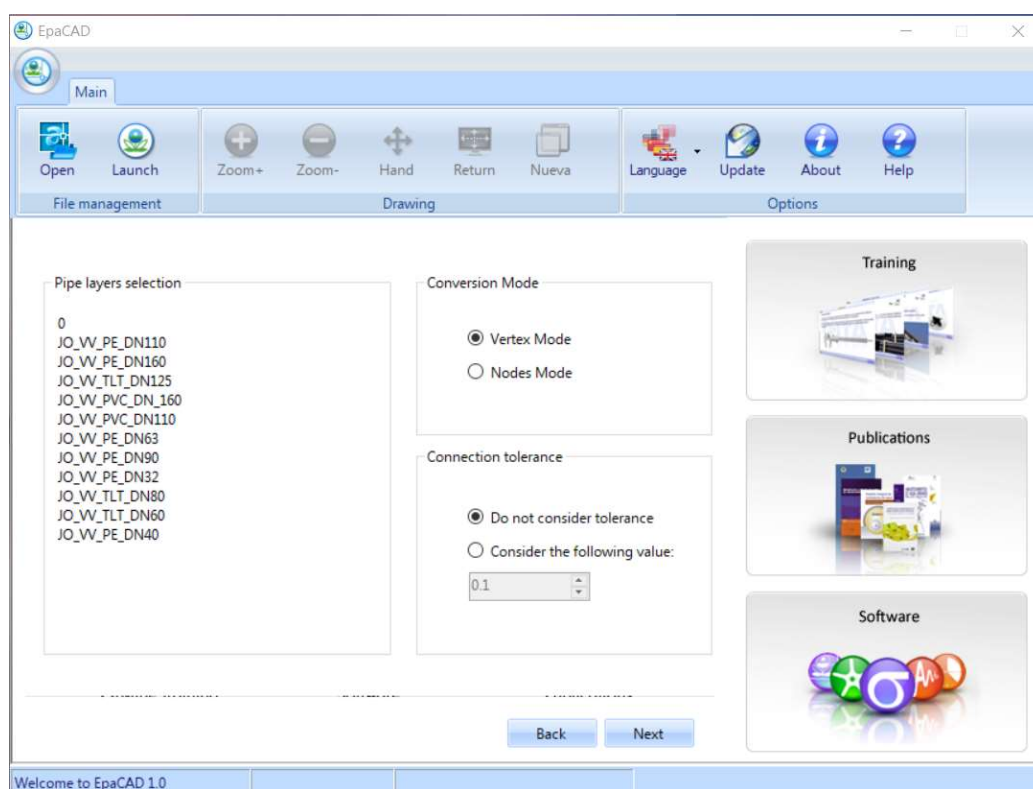
Tvorba distribuční sítě

Dalším krokem je vytvoření souboru s geometrií sítě v programu AUTOCAD. Samotné směrové vedení distribuční sítě obce nebylo nikdy přesně v celém jejím rozsahu geodeticky zaměřeno. Zároveň se existující podklady v mnoha údajích vzájemně vylučují. V práci bylo proto použito vlastní zakreslení trasy, které vychází ze stavebních dokumentací již provedených rekonstrukcí vodovodu a komentářů

a schématických zakreslení trasy správce sítě.

V programu AUTOCAD reprezentuje každá samostatná křivka (polyline) jeden úsek potrubí. Místa kde se jednotlivé křivky spojují tvoří uzly. Uzly vznikají v místech, kde se řady spojují, na koncích všech řadů, při změně materiálu nebo průměru potrubí nebo v místech měření. Soubor uložíme po zakreslení všech úseků s příponou *.dxf.

Vytvořený soubor otevřeme v programu EPACAD a vybereme hladinu s vodovodními řady, které chceme importovat a zvolíme metodu převodu Vertex Mode. Zvolená metoda nám zajistí, že uzly budou vytvořeny pouze v průsečíku křivek místo lomových bodů na jedné křivce. Výstupní soubor je ve formátu *.inp, který lze otevřít v EPANETu.

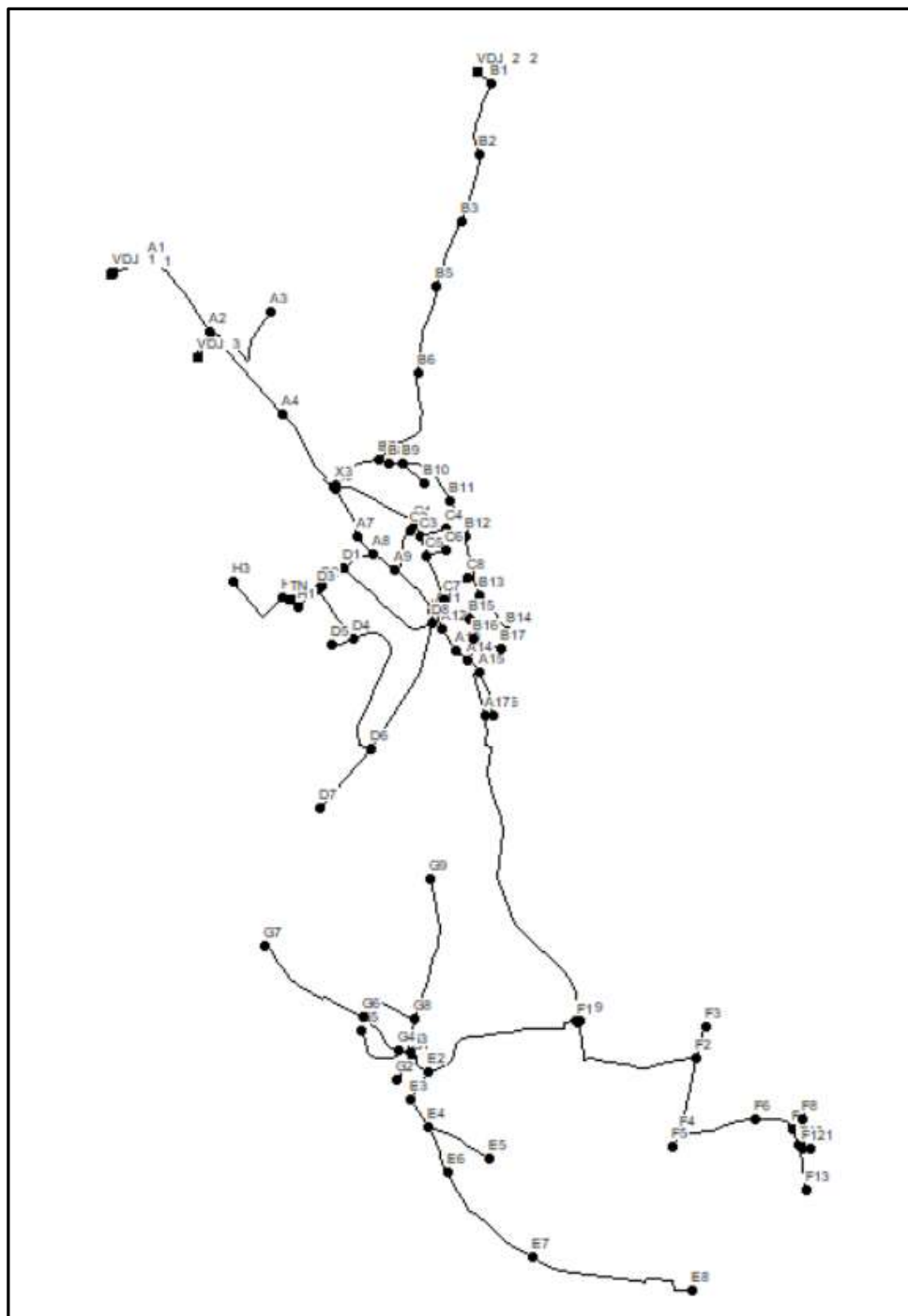


Obrázek 37: Převod geometrie v EPACAD

Soubor *.inp lze do EPANETU importovat přes menu File – Import – Network. S daty v souboru můžeme zároveň pracovat v externích tabulkových editorech např. MS EXCEL, kde si můžeme efektivně a systematicky pojmenovat jednotlivé uzly a úseky potrubí pro přehlednější postup práce.

V navazujících krocích využijeme této možnosti k nastavení vlastností

vytvořených prvků. Přehlednou mapu s označením jednotlivých uzlů po importu do programu EPANET lze vidět na obrázku níže.



Obrázek 38: Přehledová mapa importované sítě s označením jednotlivých uzlů

12.1 Uzlové potřeby

Velikosti uzlových potřeb vypočteme z úsekových potřeb, u kterých vycházíme z údajů z kapitoly 11 pro bytový fond a občanskou vybavenost.

Objekty byly kjednotlivým úsekům přiřazeny na základě předpokládané polohy přípojky. Dodatečně byl všem úsekovým potřebám přičten podíl ztráty relativně odpovídající délce daného úseku. Jejich celkové hodnoty jsou vyděleny dvěma a přiřazeny krajním uzlům. Výčet uvedených úsekových potřeb a z nich vycházejících potřeb uzlových je uveden níže.

12.1.1 Výpočet uzlových potřeb pro stávající stav

Uvažované velikosti jednotlivých úsekových potřeb a z nich vycházející uzlových odběrů lze vidět v tabulce 11 a 12 níže.

označení úseku	počet objektů	počet osob	Qb [l/den]	Qztráty [l/den]	Objekty OV	Qov [l/den]	Qcelkem [l/den]
A1-A2	7	21.4	1977.319	3119.574	0.000	0.000	5096.893
A2-A3	4	12.2	1129.897	3470.052	0.000	0.000	4599.949
A2-VDJ_3	0	0.0	0.000	1012.634	0.000	0.000	1012.634
VDJ_3-A4	16	48.8	4519.586	4618.044	0.000	0.000	9137.630
A4-A5	19	58.0	5367.009	2968.951	0.000	0.000	8335.960
A5-A6	1	3.1	282.474	67.679	0.000	0.000	350.153
A5-X3	0	0.0	0.000	96.175	0.000	0.000	96.175
A6-A7	9	27.5	2542.267	1712.954	0.000	0.000	4255.222
A6-C1	11	33.6	3107.216	2958.901	0.000	0.000	6066.117
A7-A8	8	24.4	2259.793	787.590	0.000	0.000	3047.383
A8-A9	3	9.2	847.422	889.235	ZŠ	2657.534	4394.192
A8-D1	3	9.2	847.422	1119.495	0.000	0.000	1966.917
A9-A10	6	18.3	1694.845	1804.931	0.000	0.000	3499.776
A9-C2	2	6.1	564.948	1610.546	MŠ+JÍDELNA	6443.836	8619.330
A10-A11	0	0.0	0.000	128.996	0.000	0.000	128.996
A10-D8	0	0.0	0.000	388.897	0.000	0.000	388.897
A11-A12	0	0.0	0.000	632.260	0.000	0.000	632.260
A11-C7	0	0.0	0.000	506.953	0.000	0.000	506.953
A12-A13	1	3.1	282.474	847.254	0.000	0.000	1129.728
A13-A14	0	0.0	0.000	503.518	0.000	0.000	503.518
A14-A15	1	3.1	282.474	569.416	0.000	0.000	851.890
A14-B14	1	3.1	282.474	711.134	0.000	0.000	993.608
A14-A15	3	9.2	847.422	1470.228	0.000	0.000	2317.650
A15-A16	0	0.0	0.000	1507.883	0.000	0.000	1507.883
A15-A17	0	0.0	0.000	241.964	0.000	0.000	241.964
A16-A17	1	3.1	282.474	11088.851	0.000	0.000	11371.325
A17-A18	0	0.0	0.000	58.519	0.000	0.000	58.519
B1-B2	5	15.3	1412.371	2376.509	0.000	0.000	3788.880
B2-B3	2	6.1	564.948	2289.367	0.000	0.000	2854.315
B3-B4	7	21.4	1977.319	2261.252	0.000	0.000	4238.571
B4-B5	0	0.0	0.000	25.443	0.000	0.000	25.443
B5-B6	11	33.6	3107.216	2889.696	0.000	1.000	5997.912
B6-B7	12	36.6	3389.690	3563.301	RESTAURACE	657.534	7610.525
B7-B8	0	0.0	0.000	345.771	0.000	0.000	345.771
B7-B9	2	6.1	564.948	475.149	0.000	0.000	1040.098
B9-B10	2	6.1	564.948	994.315	0.000	0.000	1559.263
B10-B11	8	24.4	2259.793	2174.110	0.000	0.000	4433.903
B11-B12	1	3.1	282.474	1395.425	0.000	0.000	1677.899
B11-B13	8	24.4	2259.793	1990.793	0.000	0.000	4250.586
B13-B14	8	24.4	2259.793	1517.424	0.000	0.000	3777.218
B14-B15	1	3.1	282.474	885.419	0.000	0.000	1167.893
B15-B16	1	3.1	282.474	670.679	0.000	0.000	953.153
B16-B17	2	6.1	564.948	959.458	0.000	0.000	1524.406
C1-C2	0	0.0	0.000	259.774	0.000	0.000	259.774

Tabulka 11: Úsekové potřeby pro stávající stav pro uzly A1-C2

označení úseku	počet objektů	počet osob	Q _b [l/den]	Q _{ztráty} [l/den]	Objekty OV	Q _{ov} [l/den]	Q _{celkem} [l/den]
C1-C3	0	0.0	0.000	433.168	0.000	0.000	433.168
C3-C4	2	6.1	564.948	876.259	0.000	0.000	1441.207
C3-C5	3	9.2	847.422	671.951	0.000	0.000	1519.374
C5-C6	4	12.2	1129.897	654.396	0.000	0.000	1784.292
C5-C7	7	21.4	1977.319	1557.116	0.000	0.000	3534.435
C7-C8	1	3.1	282.474	1079.676	0.000	0.000	1362.151
D1-D2	4	12.2	1129.897	1007.164	0.000	0.000	2137.060
D1-D8	16	48.8	4519.586	3694.715	0.000	0.000	8214.301
D2-D3	0	0.0	0.000	154.694	0.000	0.000	154.694
D3-D4	3	9.2	847.422	819.139	0.000	0.000	1666.562
D3-H1	10	30.5	2824.742	853.869	0.000	0.000	3678.611
D4-D5	1	3.1	282.474	722.456	0.000	0.000	1004.930
D4-D6	20	61.0	5649.483	5257.937	0.000	0.000	10907.420
D6-D7	0	0.0	0.000	2651.676	0.000	0.000	2651.676
D6-D8	2	6.1	564.948	4755.182	0.000	0.000	5320.130
E1-E2	11	33.6	3107.216	5561.472	0.000	0.000	8668.688
E2-E3	3	9.2	847.422	1046.346	0.000	0.000	1893.769
E2-G1	1	3.1	282.474	740.902	RESTAURACE	164.384	1187.760
E3-E4	2	6.1	564.948	1104.356	0.000	0.000	1669.305
E4-E5	5	15.3	1412.371	2210.239	0.000	0.000	3622.610
E4-E6	25	76.3	7061.854	1606.602	0.000	0.000	8668.456
E6-E7	9	27.5	2542.267	4026.365	0.000	0.000	6568.632
E7-E8	4	12.2	1129.897	5647.979	0.000	0.000	6777.875
F1-F2	0	0.0	0.000	4911.402	0.000	0.000	4911.402
F2-F3	4	12.2	1129.897	1120.640	0.000	0.000	2250.536
F2-F4	8	24.4	2259.793	2601.172	0.000	0.000	4860.965
F4-F5	2	6.1	564.948	504.790	0.000	0.000	1069.739
F4-F6	10	30.5	2824.742	2502.962	0.000	0.000	5327.703
F7-F8	3	9.2	847.422	546.899	0.000	0.000	1394.321
F7-F9	0	0.0	0.000	529.216	0.000	0.000	529.216
F9-F10	0	0.0	0.000	35.366	0.000	0.000	35.366
F9-F13	4	12.2	1129.897	1551.391	0.000	0.000	2681.287
F10-F11	2	6.1	564.948	403.273	0.000	0.000	968.221
F10-F12	51	155.6	14406.182	199.346	0.000	0.000	14605.528
G1-G2	3	9.2	847.422	863.665	0.000	0.000	1711.087
G1-G3	0	0.0	0.000	177.720	0.000	0.000	177.720
G3-G4	1	3.1	282.474	361.928	0.000	0.000	644.402
G3-G8	1	3.1	282.474	374.649	0.000	0.000	657.123
G4-G5	4	12.2	1129.897	1949.829	0.000	0.000	3079.726
G4-G6	0	0.0	0.000	1680.387	0.000	0.000	1680.387
G6-G7	3	9.2	847.422	4053.589	0.000	0.000	4901.012
G6-G8	13	39.7	3672.164	2070.048	0.000	0.000	5742.212
G8-G9	22	67.1	6214.431	4701.624	0.000	0.000	10916.055

Tabulka 12: Úsekové potřeby pro stávající stav pro uzly C1-G9

Poznámka k tabulce 6,7:

Q_b – úseková potřeba vody na bytový fond uvedená v l/den

Q_{ztráty} – přepočítané celkové ztráty sítě relativně k délce úseku v l/den

Objekty OV-objekty občanské vybavenosti

Q_{ov} – úseková potřeba vody na občanskou vybavenost uvedená v l/den

Q_b – celková úseková potřeba vody uvedená v l/den

Označení uzlu	Q, uz [l/den]	Q, uz [l/s]	Označení uzlu	Q, uz [l/den]	Q, uz [l/s]
A1	2548.447	0.029	D1	5175.681	0.060
A2	5354.738	0.062	D2	1145.877	0.013
A3	2299.975	0.027	D3	2749.933	0.032
A4	8736.795	0.101	D4	833.281	0.010
A5	4391.144	0.051	D5	502.465	0.006
A6	5335.746	0.062	D6	4119.483	0.048
A7	3651.302	0.042	D7	2660.065	0.031
A8	4704.246	0.054	D8	6961.664	0.081
A9	8256.649	0.096	E1	4334.344	0.050
A10	2008.835	0.023	E2	5875.108	0.068
A11	634.105	0.007	E3	1781.537	0.021
A12	880.994	0.010	E4	6980.185	0.081
A13	816.623	0.009	E5	1811.305	0.021
A14	922.749	0.011	E6	7618.544	0.088
A15	2477.631	0.029	E7	6673.254	0.077
A16	1279.807	0.015	E8	3388.938	0.039
A17	904.183	0.010	F1	2455.701	0.028
A18	29.260	0.000	F2	3555.751	0.041
A19	91.213	0.001	F3	1125.268	0.013
B1	1894.440	0.022	F4	3198.721	0.037
B2	3321.598	0.038	F5	534.869	0.006
B3	3546.443	0.041	F6	3769.628	0.044
B4	2132.007	0.025	F7	2067.545	0.024
B5	3011.677	0.035	F8	697.161	0.008
B6	5924.548	0.069	F9	1622.935	0.019
B7	3978.148	0.046	F10	17.683	0.000
B8	692.934	0.008	F11	484.110	0.006
B9	3516.632	0.041	F12	7302.764	0.085
B10	779.632	0.009	F13	1340.644	0.016
B11	3055.901	0.035	G1	944.404	0.011
B12	2964.242	0.034	G2	855.544	0.010
B13	4597.848	0.053	G3	739.622	0.009
B14	1888.609	0.022	G4	2702.257	0.031
B15	1060.523	0.012	G5	1539.863	0.018
B16	1735.584	0.020	G6	5321.612	0.062
B17	762.203	0.009	G7	2450.506	0.028
C1	346.471	0.004	G8	8657.695	0.100
C2	129.887	0.002	G9	5458.028	0.063
C3	1480.291	0.017	H1	1839.305	0.021
C4	720.604	0.008	H2	1614.129	0.019
C5	3419.050	0.040	H3	1614.129	0.019
C6	892.146	0.010	TN	0.000	0.000
C7	2448.293	0.028	X3	1976.833	0.023
C8	681.075	0.008			

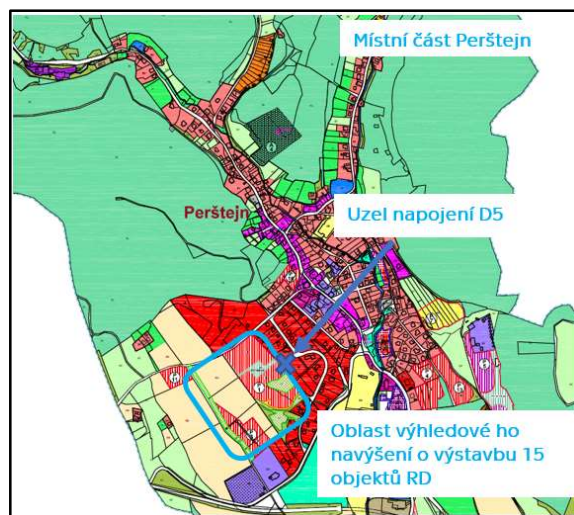
Tabulka 13: Uzlové odběry pro stávající stav

12.1.2 Výpočet uzlových odběrů pro výhledový stav

Výhledové navýšení uzlových potřeb bylo provedeno na základě územního plánu obce Perštejtn, v kterém jsou vyznačeny oblasti do budoucna určené pro bydlení. S výstavbou nových objektů občanské vybavenosti se v současné době

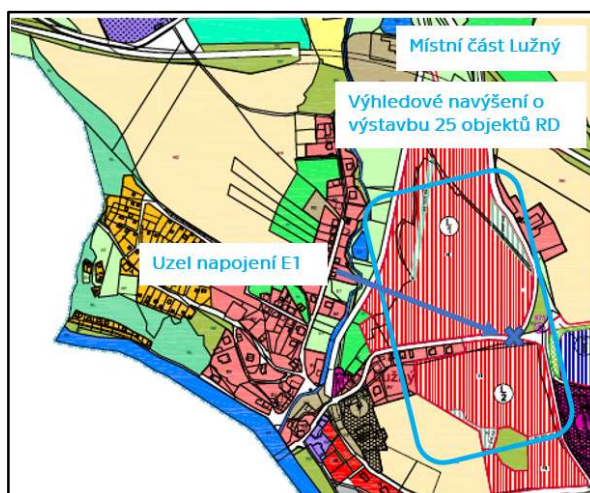
nepočítá. Celkem se ve výhledu uvažuje s navýšením uzlových potřeb o celkem 13 424 l/den rozdělených do výpočetních uzlů D5 a E1.

V místní části Perštejn se jedná konkrétně o dvě stavební parcely, na kterých lze odhadem dle jejich plochy rozšířit zastavěnou část obce o 15 objektů pro bydlení v rodinných domech (RD) s výhledovým navýšením uzlové potřeby uzlu D5 o 5034 l/den. Poloha uvedených oblastí je znázorněna na obrázku níže.



Obrázek 39:Výhledová místa výstavby dle ÚP v místní části Perštejn

Dále se uvažuje s výstavbou v místní části Lužný, dle vyznačení na obrázku níže. V těchto oblastech lze předpokládat vybudování 25 objektů pro bydlení v rodinných domech (RD) s výhledovým navýšením uzlové potřeby uzlu E1 o 8390 l/den.



Obrázek 40:Výhledová místa výstavby dle ÚP v místní části Lužný

Označení uzlu	Q, uz [l/den]	Q, uz [l/s]	Q, uz, navýšení [l/den]	Q, uz [l/s]	Označení uzlu	Q, uz, navýšení [l/den]	Q, uz, výhled [l/den]	Q, uz, výhled [l/s]
A1	0	2548.447	0	0.029	D1	0	5175.681	0.060
A2	0	5354.738	0	0.062	D2	0	1145.877	0.013
A3	0	2299.975	0	0.027	D3	0	2749.933	0.032
A4	0	8736.795	0	0.101	D4	0	833.281	0.010
A5	0	4391.144	0	0.051	D5	5034.247	5536.712	0.064
A6	0	5335.746	0	0.062	D6	0.000	4119.483	0.048
A7	0	3651.302	0	0.042	D7	0.000	2660.065	0.031
A8	0	4704.246	0	0.054	D8	0.000	6961.664	0.081
A9	0	8256.649	0	0.096	E1	8390.411	12724.755	0.147
A10	0	2008.835	0	0.023	E2	0	5875.108	0.068
A11	0	634.105	0	0.007	E3	0	1781.537	0.021
A12	0	880.994	0	0.010	E4	0	6980.185	0.081
A13	0	816.623	0	0.009	E5	0	1811.305	0.021
A14	0	922.749	0	0.011	E6	0	7618.544	0.088
A15	0	2477.631	0	0.029	E7	0	6673.254	0.077
A16	0	1279.807	0	0.015	E8	0	3388.938	0.039
A17	0	904.183	0	0.010	F1	0	2455.701	0.028
A18	0	29.260	0	0.000	F2	0	3555.751	0.041
A19	0	91.213	0	0.001	F3	0	1125.268	0.013
B1	0	1894.440	0	0.022	F4	0	3198.721	0.037
B2	0	3321.598	0	0.038	F5	0	534.869	0.006
B3	0	3546.443	0	0.041	F6	0	3769.628	0.044
B4	0	2132.007	0	0.025	F7	0	2067.545	0.024
B5	0	3011.677	0	0.035	F8	0	697.161	0.008
B6	0	5924.548	0	0.069	F9	0	1622.935	0.019
B7	0	3978.148	0	0.046	F10	0	17.683	0.000
B8	0	692.934	0	0.008	F11	0	484.110	0.006
B9	0	3516.632	0	0.041	F12	0	7302.764	0.085
B10	0	779.632	0	0.009	F13	0	1340.644	0.016
B11	0	3055.901	0	0.035	G1	0	944.404	0.011
B12	0	2964.242	0	0.034	G2	0	855.544	0.010
B13	0	4597.848	0	0.053	G3	0	739.622	0.009
B14	0	1888.609	0	0.022	G4	0	2702.257	0.031
B15	0	1060.523	0	0.012	G5	0	1539.863	0.018
B16	0	1735.584	0	0.020	G6	0	5321.612	0.062
B17	0	762.203	0	0.009	G7	0	2450.506	0.028
C1	0	346.471	0	0.004	G8	0	8657.695	0.100
C2	0	129.887	0	0.002	G9	0	5458.028	0.063
C3	0	1480.291	0	0.017	H1	0	1839.305	0.021
C4	0	720.604	0	0.008	H2	0	1614.129	0.019
C5	0	3419.050	0	0.040	H3	0	1614.129	0.019
C6	0	892.146	0	0.010	TN	0	0.000	0.000
C7	0	2448.293	0	0.028	X3	0	1976.833	0.023
C8	0	681.075	0	0.008				

Tabulka 14: Uzlové odběry pro výhledový stav (červeně jsou vyznačeny uzly s výhledovým napojením nových objektů)

12.2 Editace vlastnosti prvků sítě

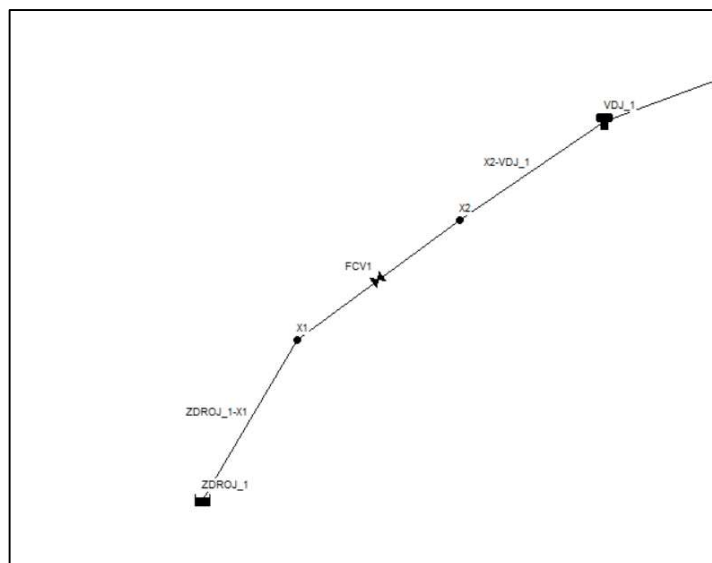
Zdroj vody

Zdroj vody umístíme kliknutím na ikonu zdroje Reservoir. Následně nastavíme tlakovou výšku (Total Head) vyšší, než je maximální hladina vody ve vodojemu. Tím zajistíme skutečnost gravitačního přítoku do akumulární nádrže.

Skutečná poloha vodního zdroje a přívodní potrubí mezi zdrojem a vodojem není vzhledem k způsobu nastavení vydatnosti zdroje relevantní.

K nastavení vydatnosti zdroje, resp. omezení přítoku do vodojemu využijeme ventil kontroly průtoku (FCV). Vstupním ani výstupním uzlem ventilu nesmí být vodní zdroj ani vodojem. Pro splnění této podmínky vložíme před vodojem a za vodní zdroj pomocné uzly.

V nastavení ventilu je nutné vybrat dimenzi a typ ventilu FCV a následně nastavit jeho nastavení (Setting) na požadovaných 6.0 l/s.



Obrázek 41: Schematizace hlavního vodního zdroje v EPANETU 2.2

Property	Value
*Valve ID	FCV1
*Start Node	X1
*End Node	X2
Description	
Tag	
*Diameter	160
*Type	FCV
*Setting	6
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None

Obrázek 42: Nastavení vydatnosti zdroje

Akumulace

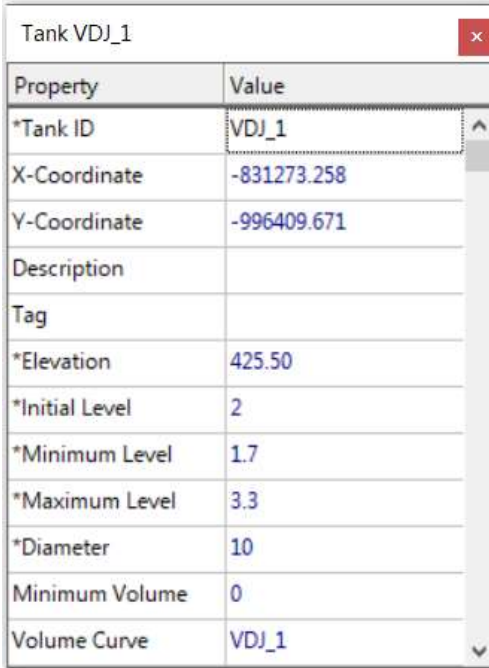
Nádrž umístíme libovolně do pracovního prostoru s tím, že její skutečnou polohu nastavíme následně pomocí X, Y souřadnic v editoru vlastností.

Velikost vodojemu můžeme obecně u nádrží nadefinovat pomocí objemové křivky (Curves). Objemovou křivku je potom nutné dané nádrži přiřadit.

V editoru vlastností nastavíme kótu dna nádrže (Elevation), výchozí úroveň hladiny (Initial Level) na začátku výpočtu, minimální (Minimum Level) a maximální

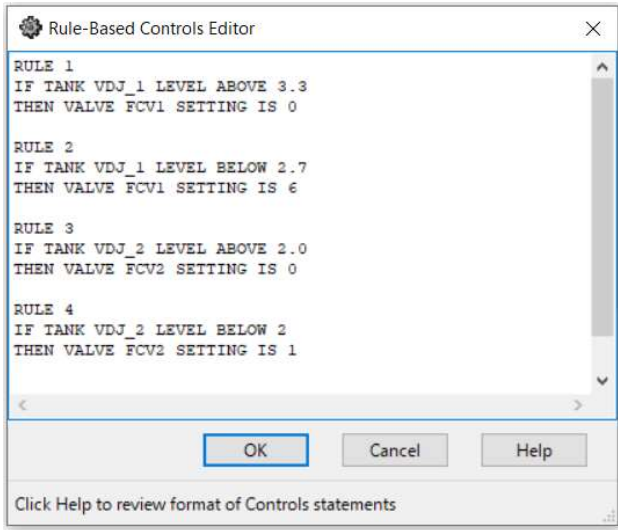
úroveň hladiny (Maximum Level) Objem nastavíme přiřazením vytvořené objemové křivky.

Přítok do vodojemu je řízen klapkou s ovládací jednotkou. Funkci řídicí jednotky nasimulujeme pomocí složených kontrolních podmínek (Rule-Based) ve vztahu k úrovni otevírací a zavírací hladiny.



Property	Value
*Tank ID	VDJ_1
X-Coordinate	-831273.258
Y-Coordinate	-996409.671
Description	
Tag	
*Elevation	425.50
*Initial Level	2
*Minimum Level	1.7
*Maximum Level	3.3
*Diameter	10
Minimum Volume	0
Volume Curve	VDJ_1

Obrázek 43: Nastavení hlavního vodojemu „U Papírny“



```
Rule-Based Controls Editor
RULE 1
IF TANK VDJ_1 LEVEL ABOVE 3.3
THEN VALVE FCV1 SETTING IS 0

RULE 2
IF TANK VDJ_1 LEVEL BELOW 2.7
THEN VALVE FCV1 SETTING IS 6

RULE 3
IF TANK VDJ_2 LEVEL ABOVE 2.0
THEN VALVE FCV2 SETTING IS 0

RULE 4
IF TANK VDJ_2 LEVEL BELOW 2
THEN VALVE FCV2 SETTING IS 1

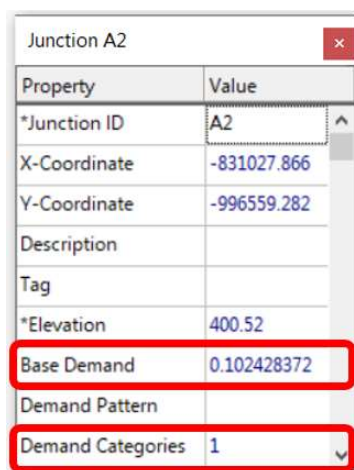
Click Help to review format of Controls statements
```

Obrázek 44: Nastavení přítoku do vodojemů

Nastavení uzlů (Nodes)

Nastavení uzlů provedeme v externím tabulkovém editoru MS EXCEL, v kterém si pro všechny uzly vytvoříme seznam požadovaných vlastností, což je v případě uzlů nadmořská výška potrubí a velikost odběru. Vzhledem k absenci geodetického zaměření převezmeme nadmořské výšky z 5G modelu terénu, který je dostupný na stránkách ČUZK. Uvažujeme zjednodušující předpoklad, že potrubí je vedeno v hloubce dle směrodatné normy¹⁰, proto od výšky terénu odečteme tuto hodnotu a polovinu průměru potrubí.

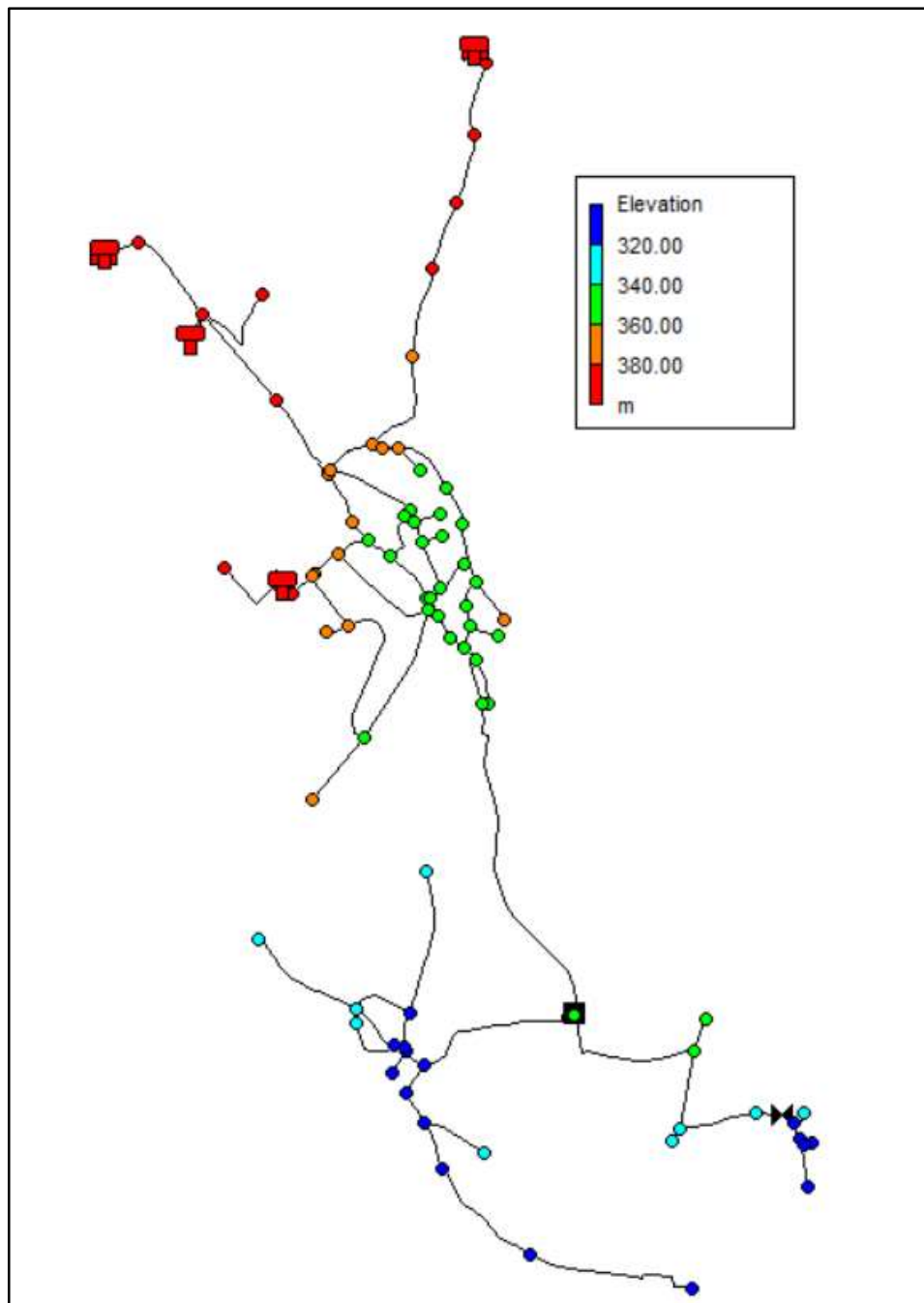
Uzlova potřeba se zadává v nastavených průtokových jednotkách, a vychází z úsekových potřeb, dle počtu připojených objektů na daný úsek potrubí. Výškové umístění uzlů je graficky znázorněno na obrázku 48.



Property	Value
*Junction ID	A2
X-Coordinate	-831027.866
Y-Coordinate	-996559.282
Description	
Tag	
*Elevation	400.52
Base Demand	0.102428372
Demand Pattern	
Demand Categories	1

Obrázek 45: Nastavení vlastností uzlu

¹⁰ ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání sítí technické infrastruktury.



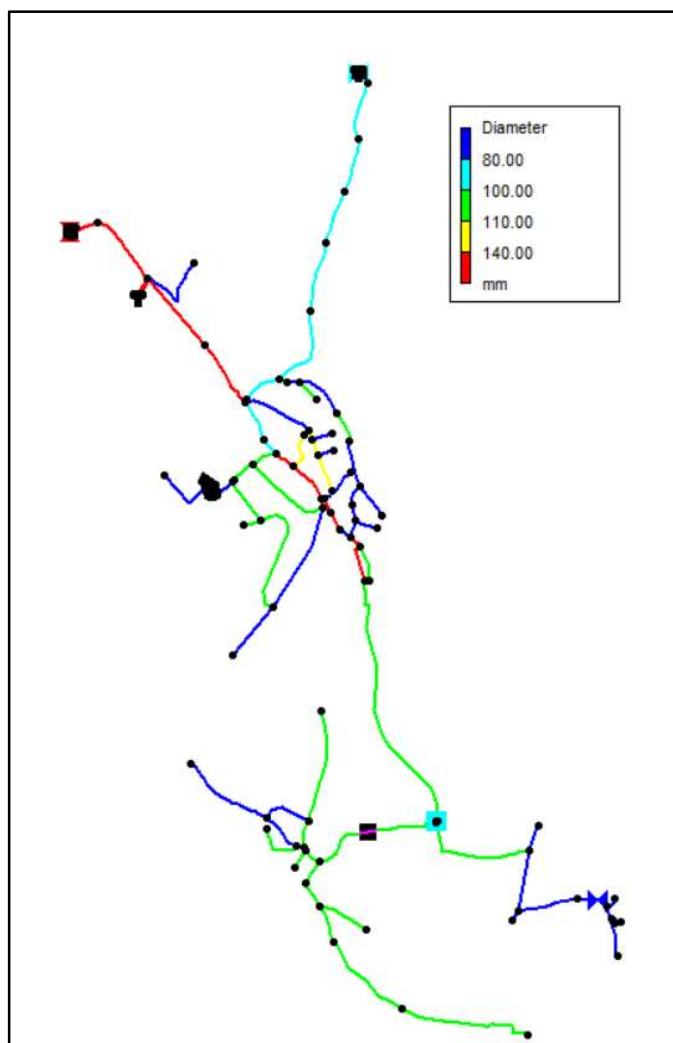
Obrázek 46: Výškové umístění uzlů

Nastavení potrubí (Pipes)

Při nastavování vlastností potrubí opět využijeme možnosti hromadné editace pomocí tabulkového editoru MS EXCEL. Definujeme vnitřní průměry jednotlivých úseků potrubí a absolutní drsnost pro výpočet ztrát třením dle Darcy-Weisbachovy rovnice. Absolutní drsnost kovových materiálu uvažujeme 2,00 mm a u nekovových materiálu 0,05 mm. Jednotlivé vnitřní profily potrubí a jejich délky jsou graficky znázorněny na obrázku 49.

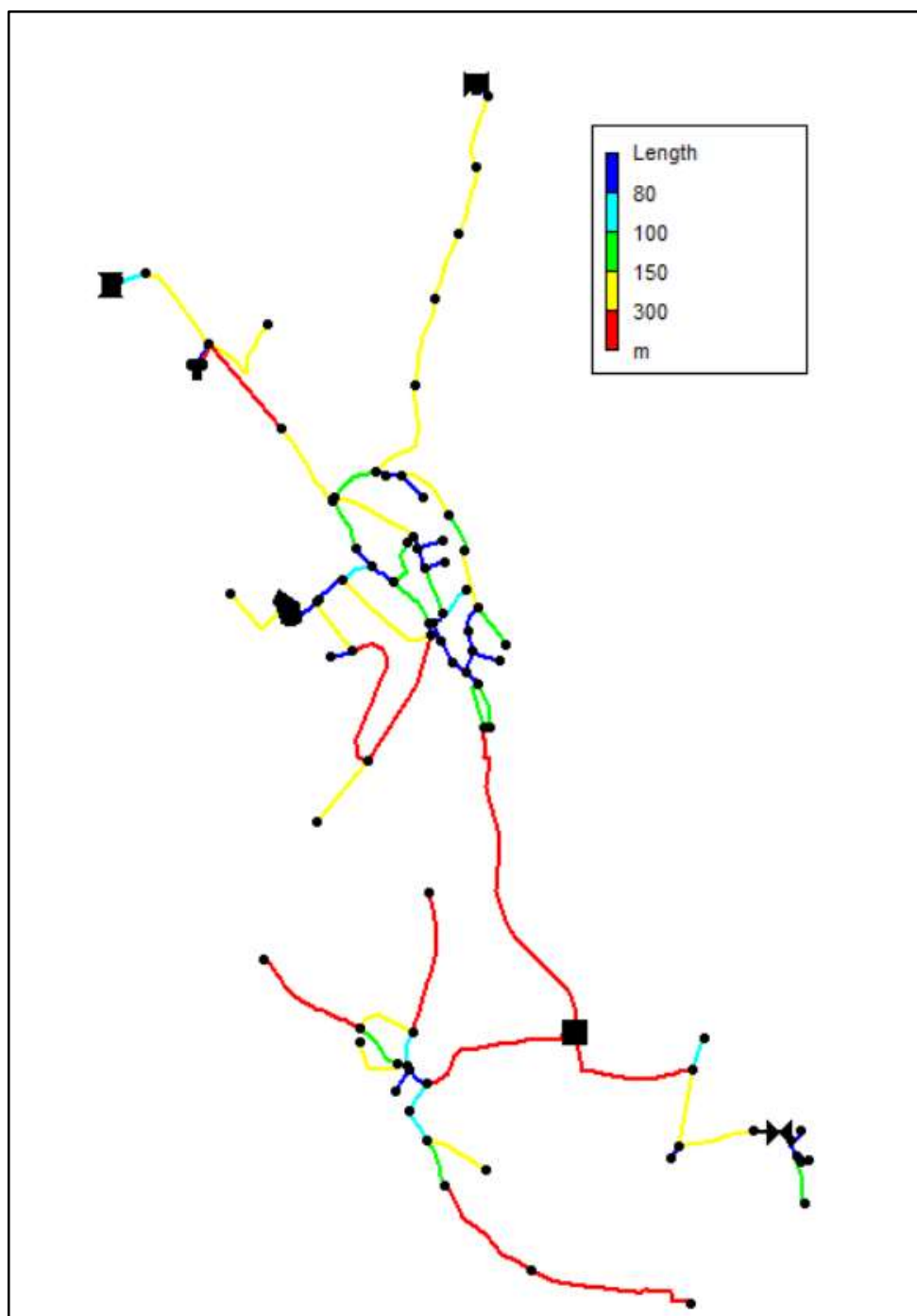
Property	Value
*Pipe ID	A1-A2
*Start Node	A1
*End Node	A2
Description	
Tag	
*Length	245.23
*Diameter	141
*Roughness	0.05
Loss Coeff.	0

Obrázek 47: Nastavení vlastností potrubí

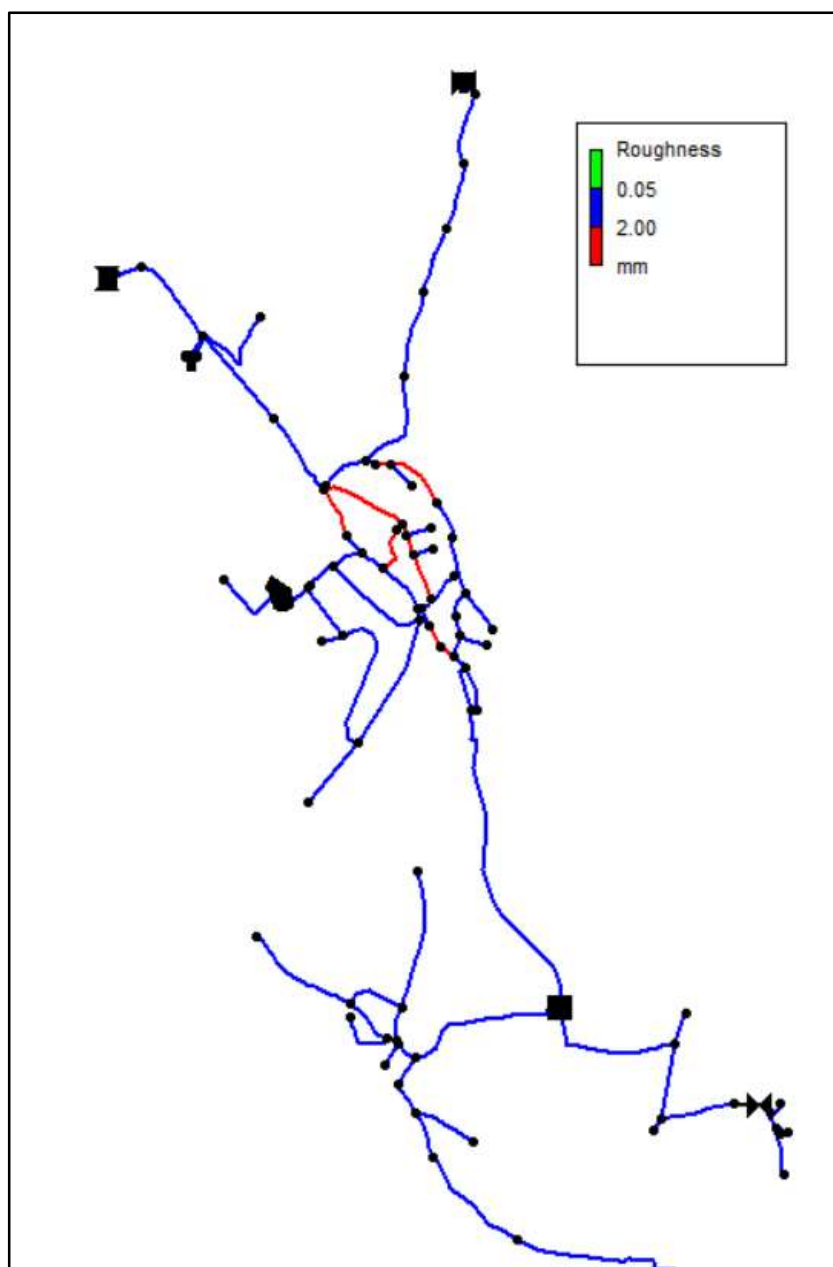


Obrázek 48: Dimenze potrubí ve vodovodní síti

Délky jednotlivých částí úseků potrubí jsou patrné z obrázku níže.



Obrázek 49: Délky jednotlivých úseků potrubí ve vodovodní síti
Uvažované drsnosti jednotlivých úseků potrubí jsou patrné z obrázku níže.



Obrázek 50: Absolutní drsnosti potrubí

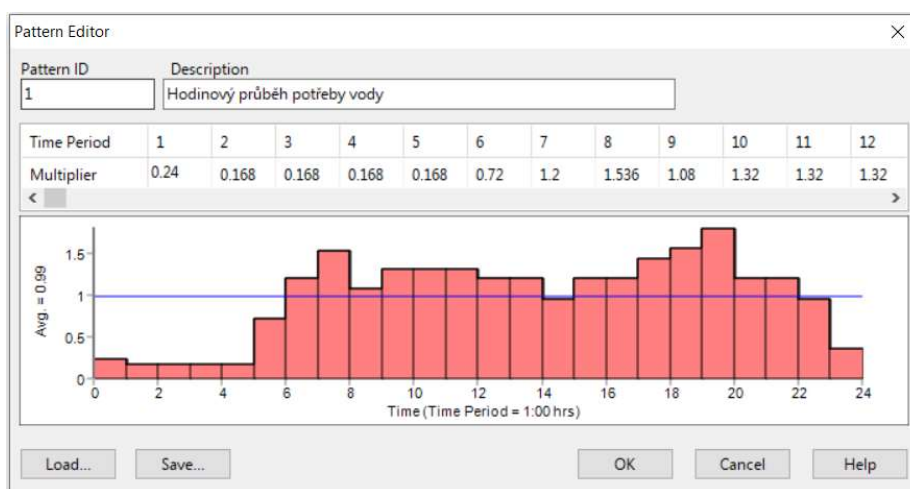
Automatická tlaková stanice (ATS)

V EPANETU nemáme k dispozici prvek, který by sám o sobě plnil funkci automatické tlakové stanice. Můžeme však využít kombinaci existujících prvků čerpadla a vodojemu, který bude díky křivce objem-tlaková výška plnit funkci tlakové nádoby. Jediným nastavením čerpadla, které do modelu potřebujeme je jeho Q-H křivka. Použijeme Q-H křivku osazeného čerpadla dle katalogu výrobce.

Vodojemu přiřadíme charakteristickou křivkou vztahu tlakové výšky a objemu vody v nádrži.

Časové řady (Patterns)

Hodinové nerovnoměrnosti odběrů v průběhu dne nastavíme pomocí Browseru, v záložce Data – Patterns. Vzhledem k dostupným podkladům použijeme přepočtené hodnoty z přílohy C směrnice č. 9/1973 pro $kh=1,8$. Průběh lze hromadně přiřadit výchozí hodnotou v menu Project – Defaults.



Obrázek 51: Nastavení průběhu hodinových potřeb

Nastavení času

Před spuštěním výpočtu je nutné nastavení všech časových charakteristik výpočtu. To provedeme v Browseru v záložce Data Options-Times. Zadané hodnoty jsou patrné z obrázku níže. Pro posouzení doby zdržení vody prodloužíme celkovou dobu výpočtu.

Property	Hrs:Min
Total Duration	24:00
Hydraulic Time Step	0:05
Quality Time Step	0:01
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	0:05
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	12 am
Statistic	NONE

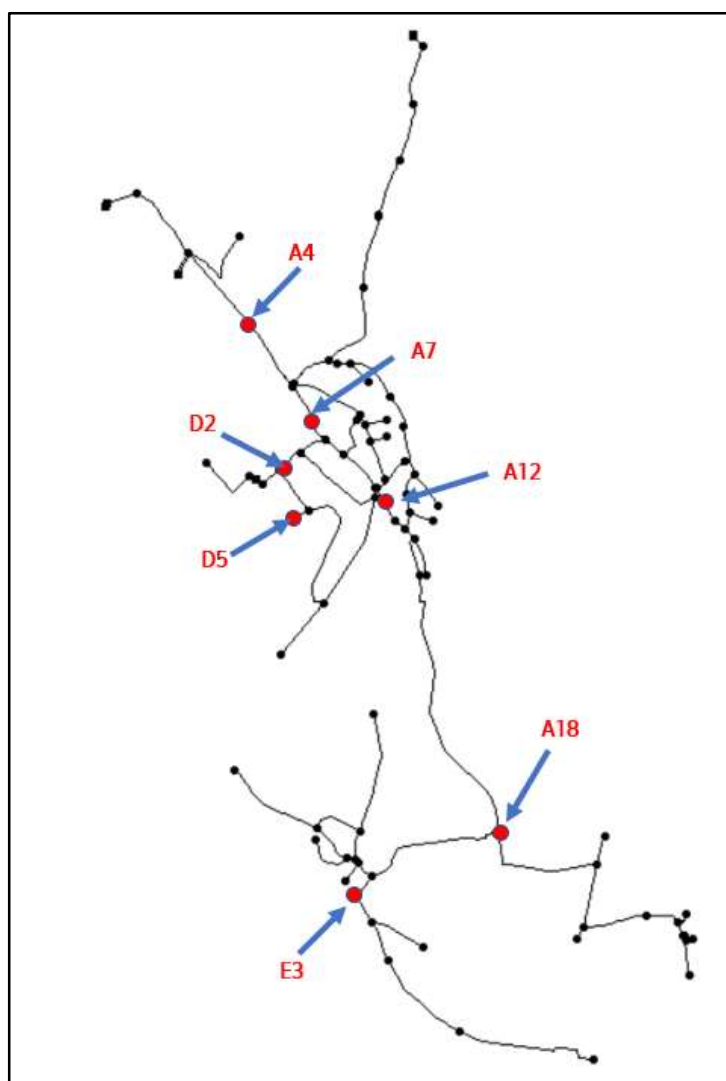
Obrázek 52: Nastavení času

Po dokončení všech předchozích kroků spustíme prvotní výpočet matematického modelu.

13 Výsledky matematického modelu

13.1 Kalibrace matematického modelu

Před dalším použitím modelu je nutné se ujistit, že vypočtené výsledky věrně reprezentují skutečnost. Za tímto účelem byly porovnány vypočtené hodnoty tlaků s hodnotami naměřenými ve vybraných uzlech a upraveny drsnosti potrubí. Porovnání bylo provedeno v uzlech A4, A7, A12, A17, D2, D5 a E3. Hodnoty měření byly poskytnuty správcem sítě v šestihodinovém měřicím kroku. Zakreslení jednotlivých měrných bodů je na obrázku níže.



Obrázek 53: Přehled míst měření

Z porovnání tlaků v uzlu A4 vidíme, že vypočtené hodnoty mají velmi nízkou rozkolísanost v rozsahu 50 cm, což můžeme přisoudit nízké uzlové potřebě. Nejvyšší rozdíl oproti měřeným hodnotám se rovná přibližně 30 cm, což je přijatelné vzhledem ke střední chybě 5G modelu terénu.



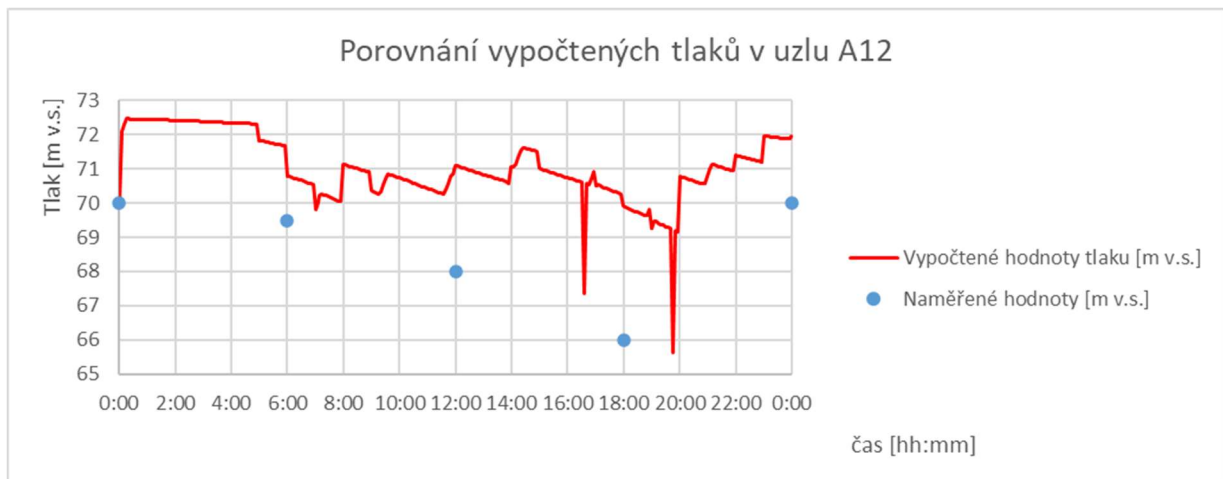
Tabulka 15: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A4

Z porovnání v uzlu A7 můžeme konstatovat, že skutečné tlaky kopírují zvolený průběh hodinové nerovnoměrnosti odběru. Maximální odchylka od naměřených tlaků se rovná přibližně 40 cm.

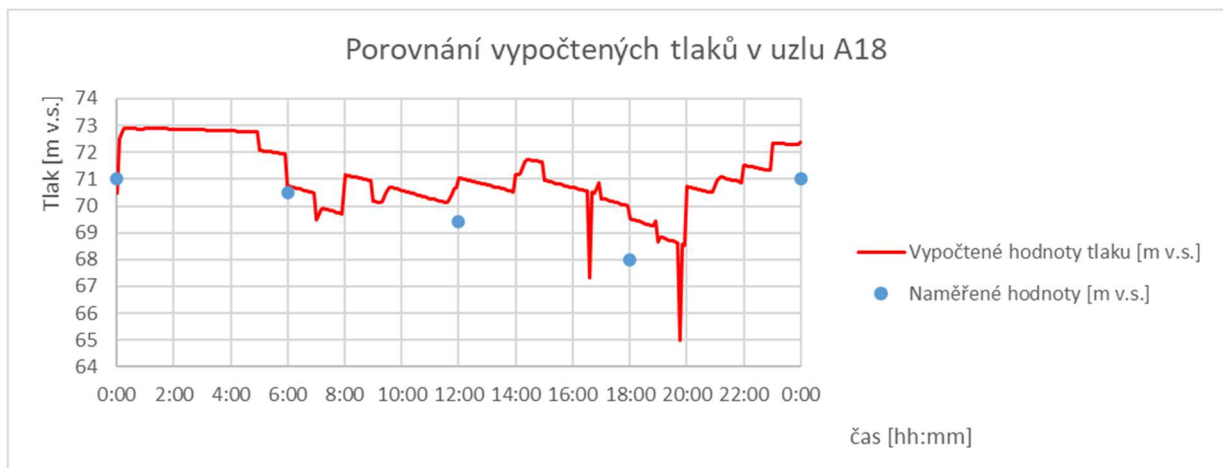


Tabulka 16: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A7

V porovnání uzlu A12 až D5 máme obdobný stav jako u uzlu A7. K největší odchylce dochází u uzlu A12 o velikosti přibližně 3,0 m. Hodnotám v uzlu A12 a D2 se nebylo možné prostřednictvím kalibrace více přiblížit.



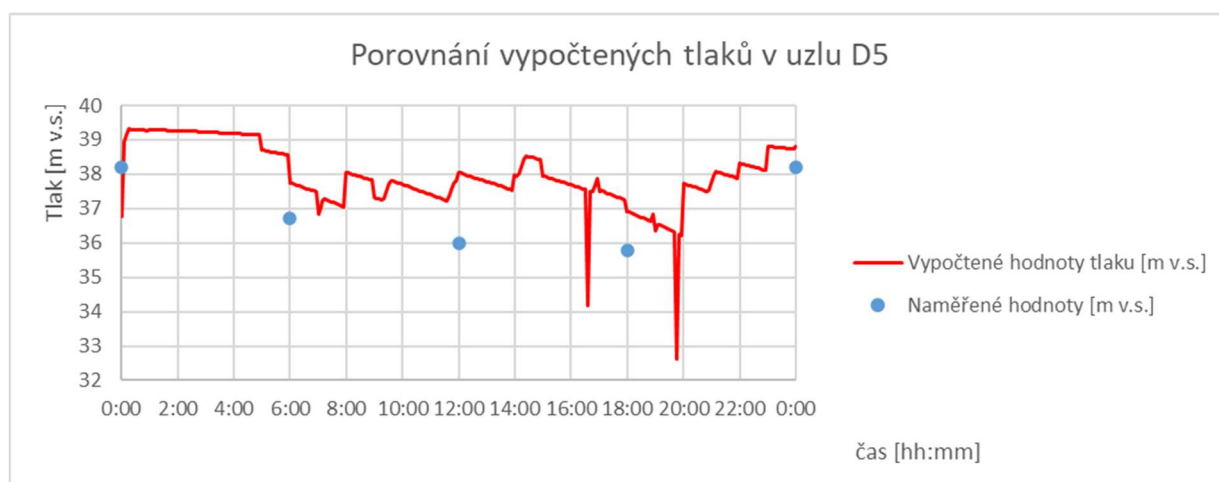
Tabulka 17: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A12



Tabulka 18: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A18



Tabulka 19: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu D2



Tabulka 20: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu D5



Tabulka 21: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu E3

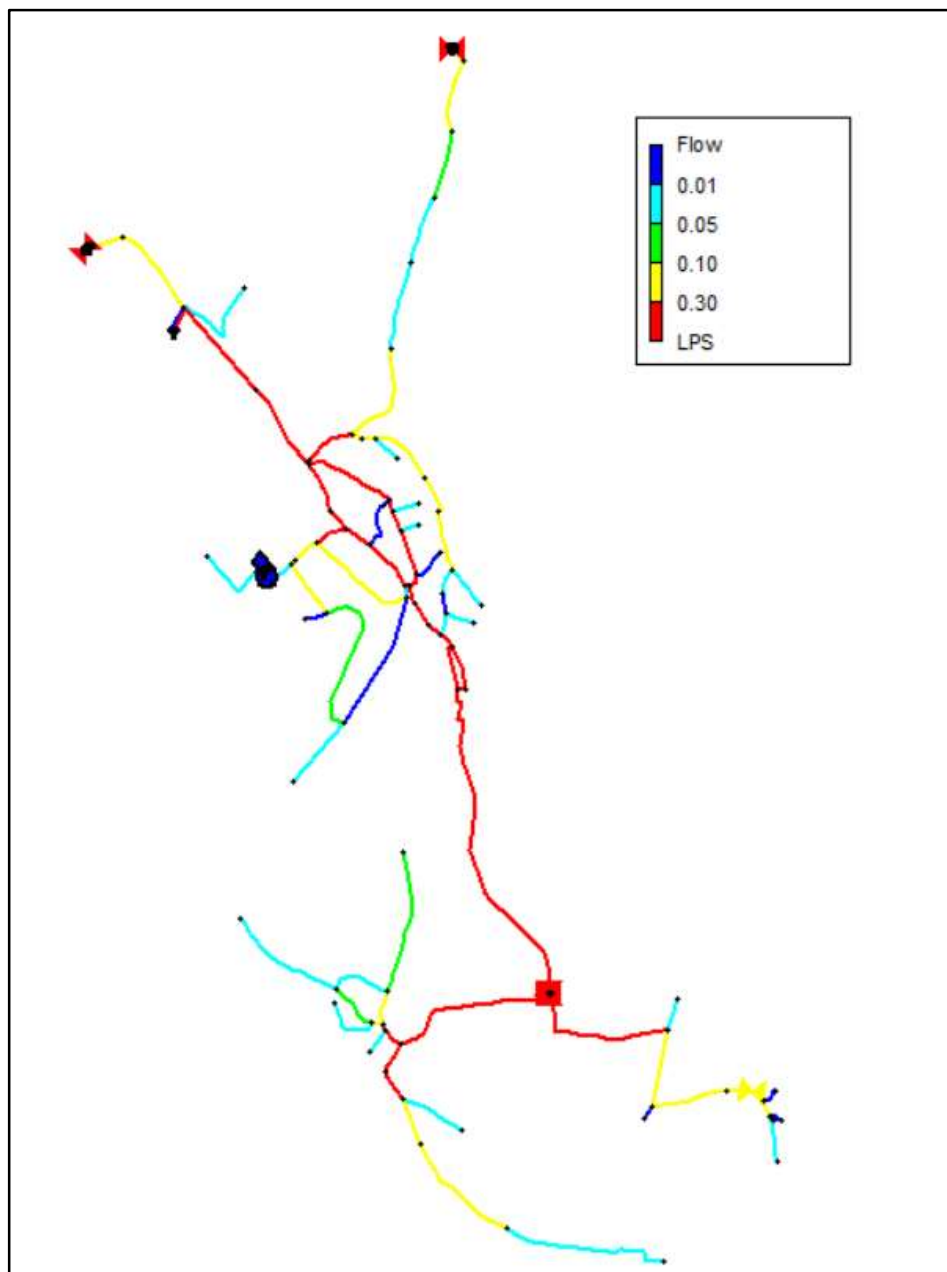
Z porovnání s naměřenými hodnotami v daných uzlech, lze vyvodit že současné nastavení modelu odpovídá v dostatečné míře skutečnosti. Nicméně by bylo vhodné pro případné budoucí použití modelu rozšířit pole měřených bodů do východní oblasti místní části Perštejn, kde měření provedena nebyla. V návaznosti by byla na základě nově naměřených hodnot provedena opětovná kalibrace modelu.

13.2 Výsledky pro stávající stav

Všechny výsledky jsou zobrazeny v čase v intervalu 19. až 20. hodiny, kde dle nastaveného průběhu hodinové nerovnoměrnosti odběrů dochází k nejvyšším odběrům, a tudíž reprezentují časový horizont, kdy hydraulické veličiny nabývají krajních limitujících hodnot v síti.

13.2.1 Průtoky v distribuční síti pro stávající stav

Maximální průtoky se dle výpočtu v převážné části rozvodné sítě nacházejí v intervalu 0,01 až 0,30 l/s. V páteřní síti dosahují maximálních hodnot v rozmezí 0,8 až 1,4 l/s. Jejich rozložení v síti je patrné z obrázku 55.

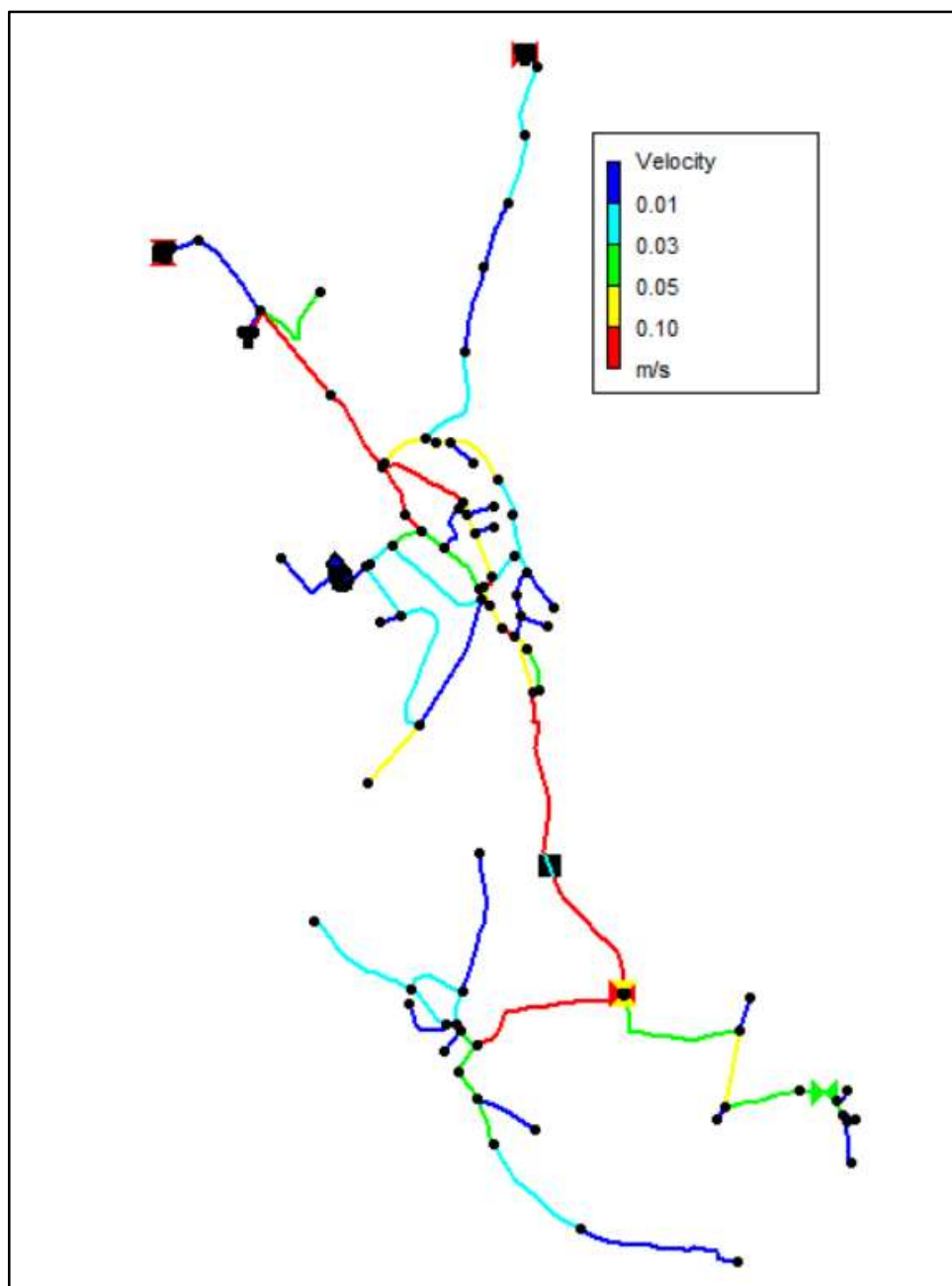


Obrázek 54: Průtoky proudění pro stávající stav

13.2.2 Rychlosti proudění v distribuční síti pro stávající stav

Rychlosti proudění vody v rozvodné síti dosahují i v době největších průtoků velmi nízkých hodnot řádově v intervalu 0,01-0,09 m/s, z čehož lze

vyvodit, že jsou stávající potrubí pro současnou dobu předimenzovaná. V době návrhu se pravděpodobně uvažovalo s jiným výhledovým počtem obyvatel a s jinou specifickou potřebou v té době platnou. Rychlosti jsou znázorněny na obrázku 56 níže.

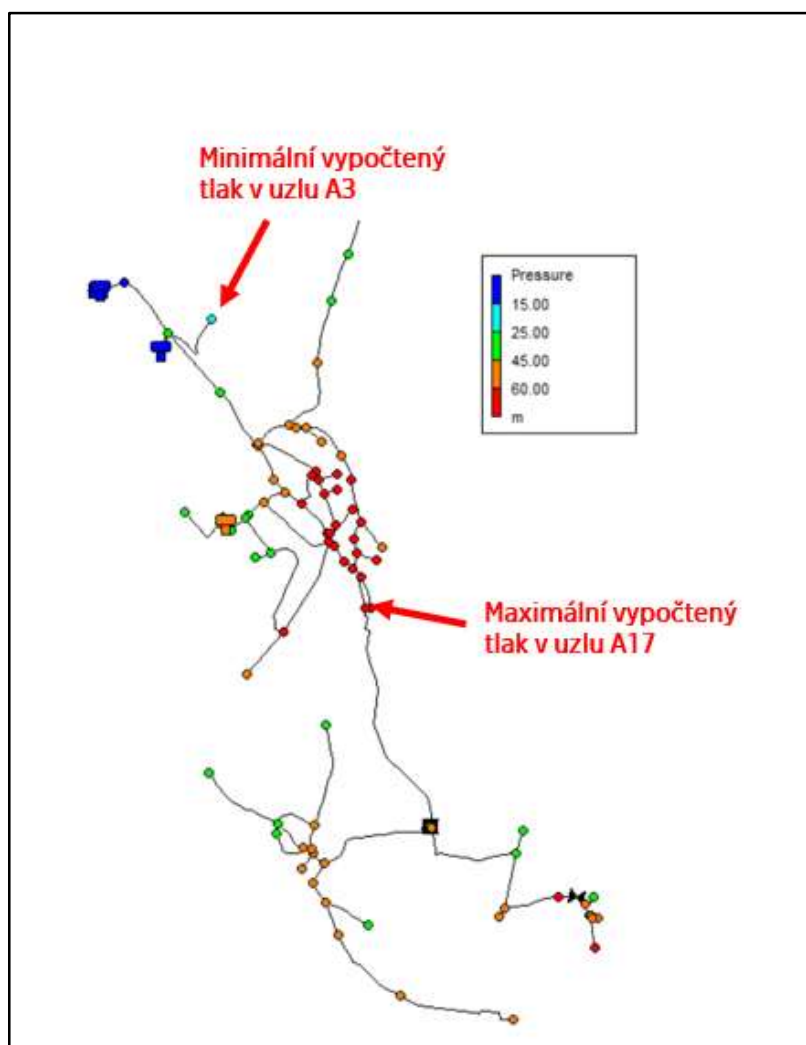


Obrázek 55: Rychlost proudění pro stávající stav

13.2.3 Tlakové poměry v distribuční síti pro stávající stav

Vypočtené hodnoty tlaků splňují ve všech uzlech požadavek na minimální přetlak dle vyhlášky 428/2001 Sb., který se rovná 15 m v. s. pro objekty do dvou podlaží. V jižní oblasti místní části Perštejna a místní části Lužný je však překročena maximální hodnota přetlaku 60 m v. s., a to hned v několika uzlech. Tlakové poměry zde dosahují až 76,08 m v. s.

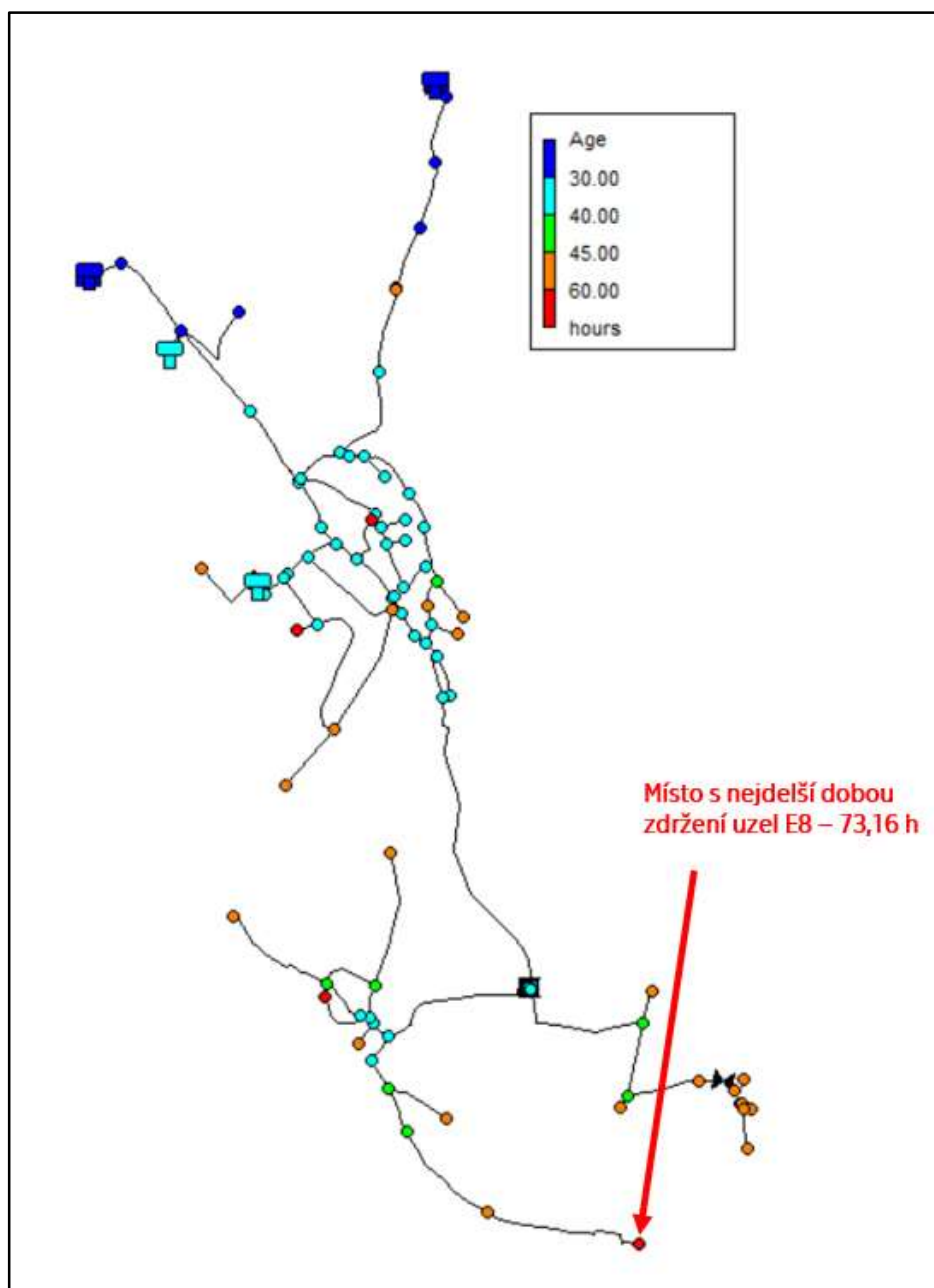
Nejnižší naměřený tlak dosahuje hodnoty 23,98 m v. s. Jejich rozložení v síti je patrné z obrázku 54 níže. Opatření pro snížení tlaků na požadovanou úroveň budou uvedena v navazující kapitole.



Obrázek 56: Tlakové poměry pro stávající stav

13.2.4 Doba zdržení vody pro stávající stav

Vypočtená doba zdržení vody v jednotlivých uzlech se nejčastěji pohybuje v rozmezí hodnot 33 až 39 hodin. K nejdelší době zdržení dochází v koncových uzlech, kde se hodnoty pohybují v intervalu 50 až 70 hodin. K absolutně nejdelšímu zdržení vody dochází ve vyznačeném koncovém uzlu E8 v místní části Černýš, a to o době trvání 73,16 hodin.



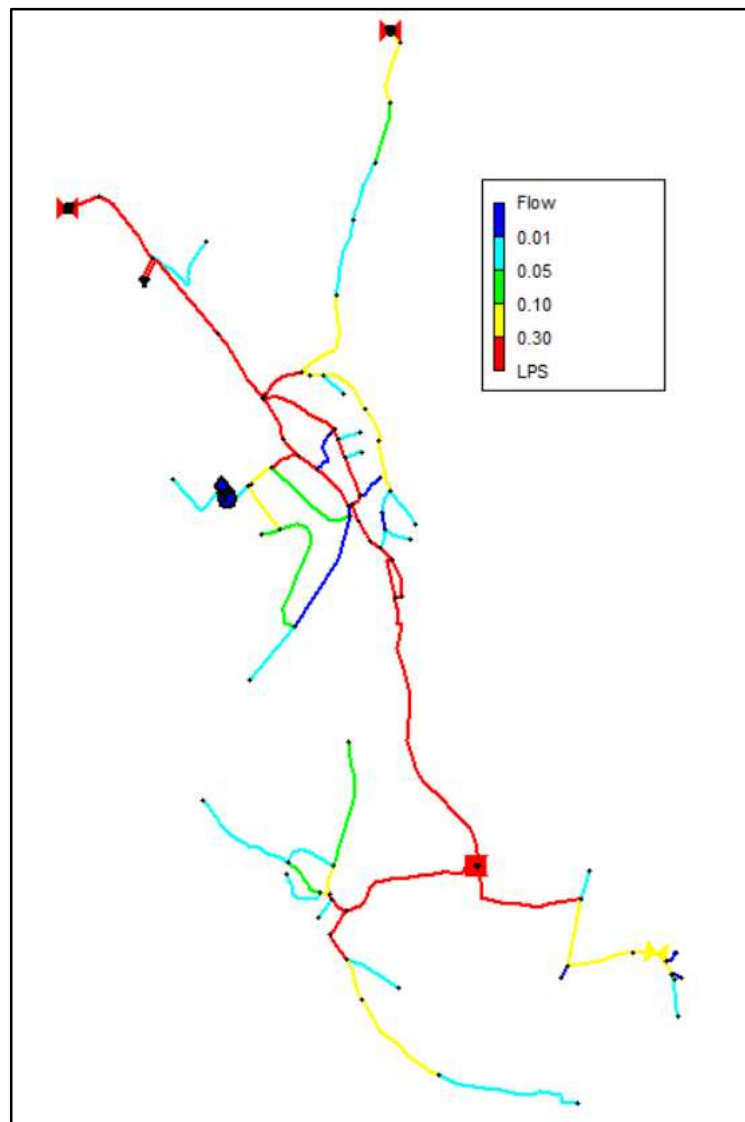
Obrázek 57: Doba zdržení vody

13.3 Výsledky pro výhledový stav

Vzhledem k předdimenzované kapacitě vodovodní sítě a relativně nízkému počtu výhledových objektů vycházejí hodnoty hydraulických podmínek pro výhledový stav téměř totožné, jak pro stav stávající.

13.3.1 Průtoky v distribuční síti pro výhledový stav

Velikosti průtoků zůstávají v celé síti téměř totožné s hodnotami ve stávajícím stavu. Výjimkou je navýšení průtoku v úsecích před uzly, kde se předpokládá výhledové napojení. Před místem napojení D5 dojde nárůstu maximálního průtoku z hodnoty 0,01 na 0,12 l/s. Před místem napojení E1 dojde nárůstu maximálního průtoku z hodnoty 1,99 na 2,16 l/s.



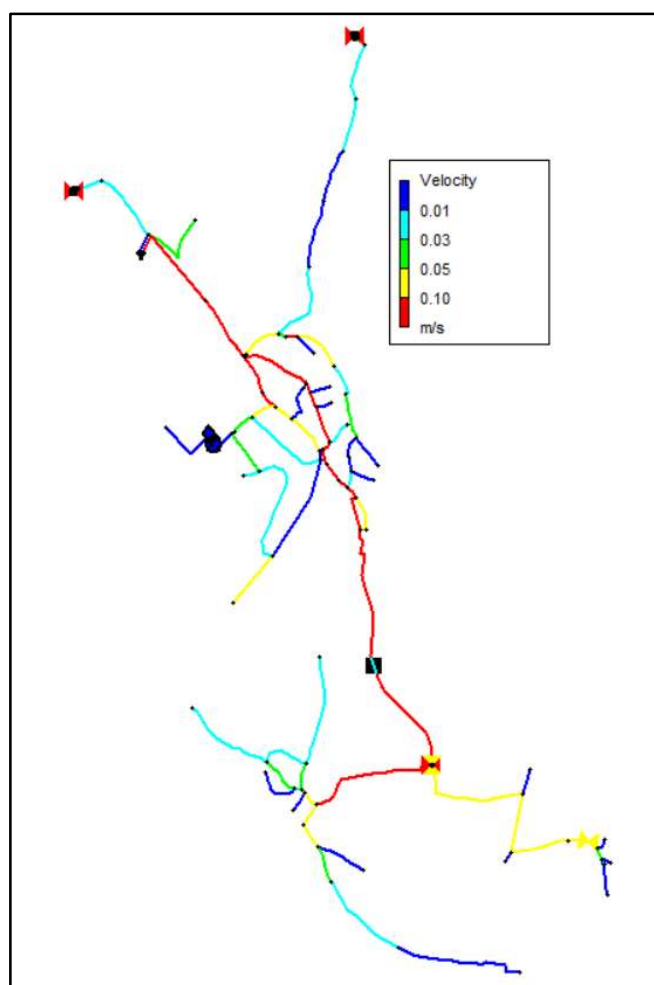
Obrázek 58: Průtoky pro výhledový stav

13.3.2 Rychlosti proudění v distribuční síti pro výhledový stav

Rychlosti proudění vody v rozvodné síti dosahují obdobně jako při stávajícím stavu velmi nízkých hodnot v intervalu 0,01-0,10 m/s, z čehož lze vyvodit, že i po výhledovém napojení je stávající kapacita potrubí i pro výhledový stav předimenzovaná.

Před místem výhledového napojení uzlu D5 dosahuje rychlost proudění hodnoty maximálně 0,01 m/s.

Před místem výhledového napojení uzlu E1 dosahuje rychlost proudění hodnoty maximálně 0,27 m/s oproti původním 0,25 m/s za stávajícího stavu.

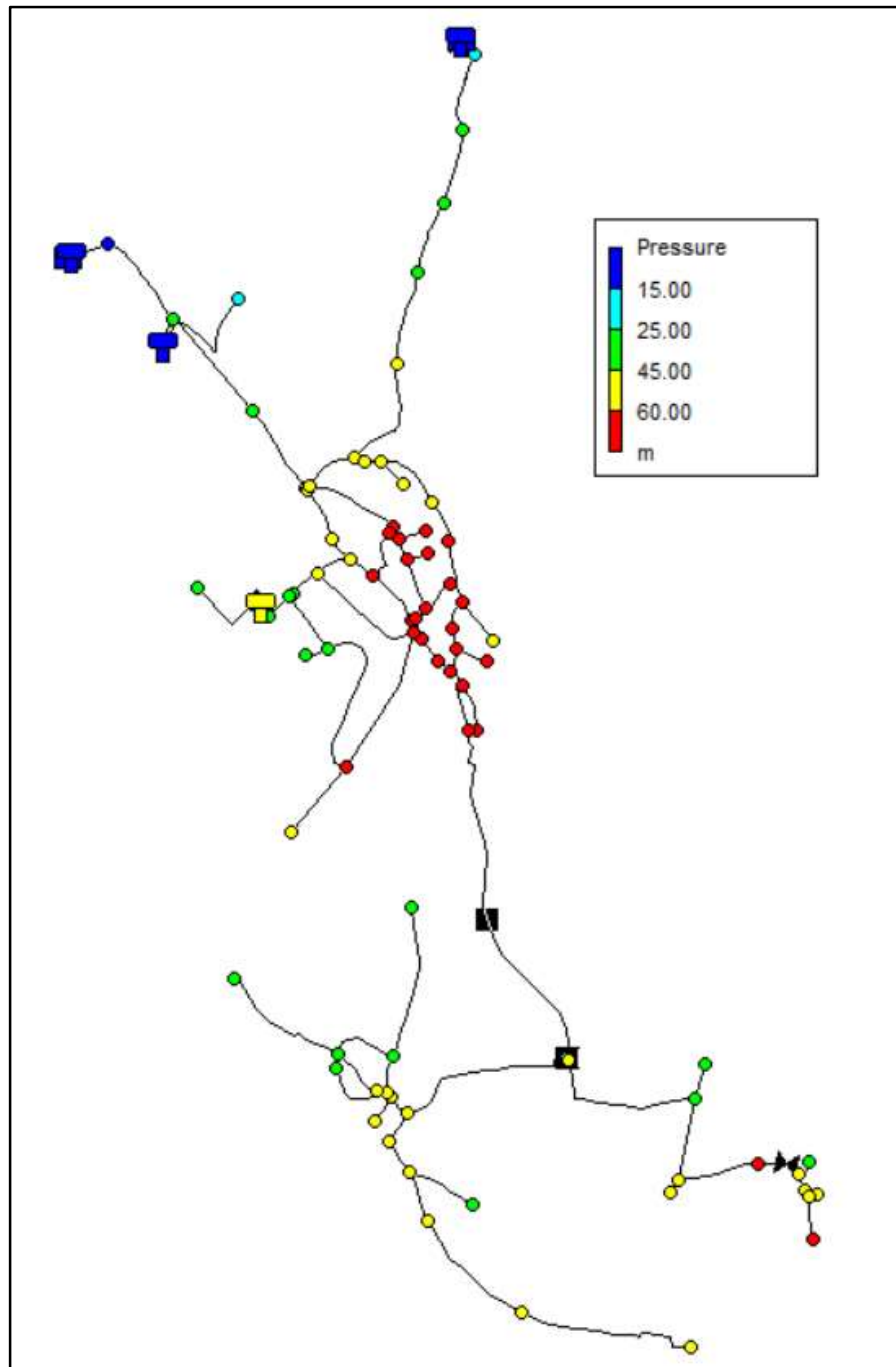


Obrázek 59: Rychlost proudění pro výhledový stav

13.3.3 Tlakové poměry v distribuční síti pro výhledový stav

Tlakové poměry dosahují obdobných hodnot jako při stávajícím stavu. V místě výhledového napojení v uzlu D5 dojde k snížení minimálního tlaku z 36,59 na 36,16 m v. s. Maximální tlak se prakticky nezmění.

V místě výhledového napojení v uzlu E1 nejsou vzhledem k osazeným redukčním ventilům tlakové poměry ovlivněny.



Obrázek 60: Tlakové poměry pro výhledový stav

14 Rekapitulace výsledků výpočtu

Výsledky matematického modelu pro stávající stav

Všechny výsledky byly zobrazeny v časovém v intervalu 19. až 20. hodiny, kde dle nastaveného průběhu hodinového nerovnoměrnosti docházelo k nejvyšším odběrům a pro nás k výskytu nejzajímavějších hydraulických hodnot.

Maximální průtoky se dle výpočtu v převážné části rozvodné sítě pohybovaly v intervalu 0,01 až 0,30 l/s. V páteřní síti dosahovaly maximálních hodnot v rozmezí 0,8 až 1,4 l/s.

Rychlosti proudění vody v rozvodné síti dosahují i v době největších průtoků velmi nízkých hodnot řádově v intervalu 0,01-0,09 m/s, z čehož lze vyvodit, že jsou potrubí v současné době předimenzovaná.

Vypočtené hodnoty tlaku splňují ve všech uzlech požadavek na minimální přetlak dle vyhlášky 428/2001 Sb, který se rovná 15 m v. s. pro objekty do dvou podlaží. V jižní oblasti místní části Perštejna a místní části Lužný jsou však překročena maximální hodnota přetlaku 60 m v. s. Tlakové poměry zde dosahují až 76,08 m v. s.

Nejnižší naměřený tlak dosahuje hodnoty 23,98 m v. v místě uzlu A3.

Vypočtená doba zdržení vody v jednotlivých uzlech se nejčastěji pohybovala v rozmezí hodnot 33 až 39 hodin. K nejdelší době zdržení dochází v koncových uzlech, kde se hodnoty pohybují v intervalu 50 až 70 hodin.

K absolutně nejdelšímu zdržení vody dochází ve vyznačeném koncovém uzlu E8 v místní části Černýš, a to o délce 73,16 hodin

Výsledky matematického modelu pro výhledový stav

Ve výhledovém stavu byla spotřeba navýšena o celkem 13 424 l/den a rozdělena výpočetních uzlů D5 a E1.

Výsledky hydraulických výpočtu pro výhledových stav vycházel téměř totožné, jak pro stav stávající.

Hodnoty průtoků zůstaly v celé síti téměř totožné s hodnotami ve stávajícím stavu. Výjimkou bylo navýšení průtoků před uzly, kde se předpokládá výhledové napojení. Před místem napojení D5 došlo nárůstu maximálního průtoků z hodnoty 0,01 na 0,12 l/s. Před místem napojení E1 došlo k nárůstu

maximálního průtoku z hodnoty 1,99 na 2,16 l/s.

Rychlosti proudění vody v rozvodné síti dosahovaly obdobně jako při stávajícím stavu velmi nízkých hodnot v intervalu 0,01-0,10 m/s, z čehož lze vyvodit, že i po výhledovém napojení je stávající kapacita potrubí stále předimenzovaná. Před místem výhledového napojení uzlu D5 dosahovala rychlost proudění hodnoty maximálně 0,01 m/s.

Před místem výhledového napojení uzlu E1 dosahovala rychlost proudění hodnoty maximálně 0,27 m/s oproti původním 0,25 m/s za stávajícího stavu.

Tlakové poměry dosahovaly obdobných hodnot jako při stávajícím stavu. V místě výhledového napojení v uzlu D5 došlo ke snížení minimálního tlaku z 36,59 na 36,16 m v.s.. Ke změně hodnot maximálních tlaků prakticky nedošlo.

V místě výhledového napojení v uzlu E1 nebyly vzhledem k osazeným redukčním ventilům tlakové poměry ovlivněny.

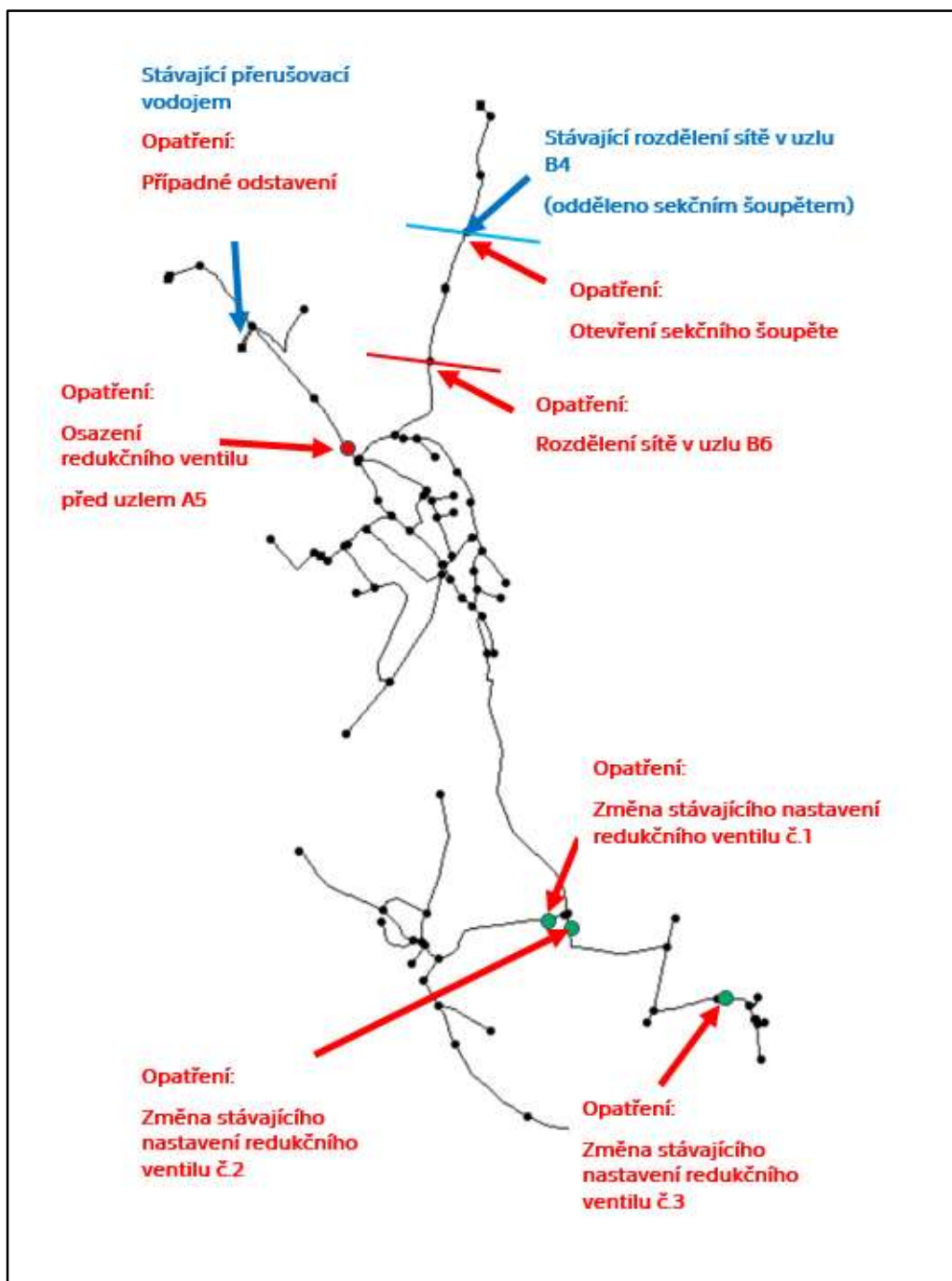
15 Opatření

Zjištěna místa, kde dochází k překročení maximálního přetlaku lze vyřešit osazením redukčního ventilu před uzlem A5 s nastavením výstupního přetlaku na 32 m v. s. Hodnota byla zvolena, tak aby došlo k maximálnímu snížení přetlaků v síti vzhledem kevidovaným ztrátám. Před osazením tohoto ventilu je však nezbytné změnit současné rozdělní zásobování podle místa zdroje a otevřením sekčního šoupete v uzlu B4 a osazením nového sekčního šoupete v místě uzlu B6, tak aby po uzlu B6 byla voda zásobována z vedlejšího vodojemu „Údolíčko“. Vzhledem k posouzení stávajícího objemu vodojemu víme, že se tato změna neprojeví negativně na kapacitní vlastnostech vodojemu „Údolíčko“. Dalším doporučením je změna stávajícího nastavení redukčních ventilů č. 1, 2, 3. První ventil by bylo nutné přenastavit z aktuálních 20 na 17 m v. s. Druhý pak ze 45 na 35 m v. s. A poslední z 45 alespoň na 43 m v. s.

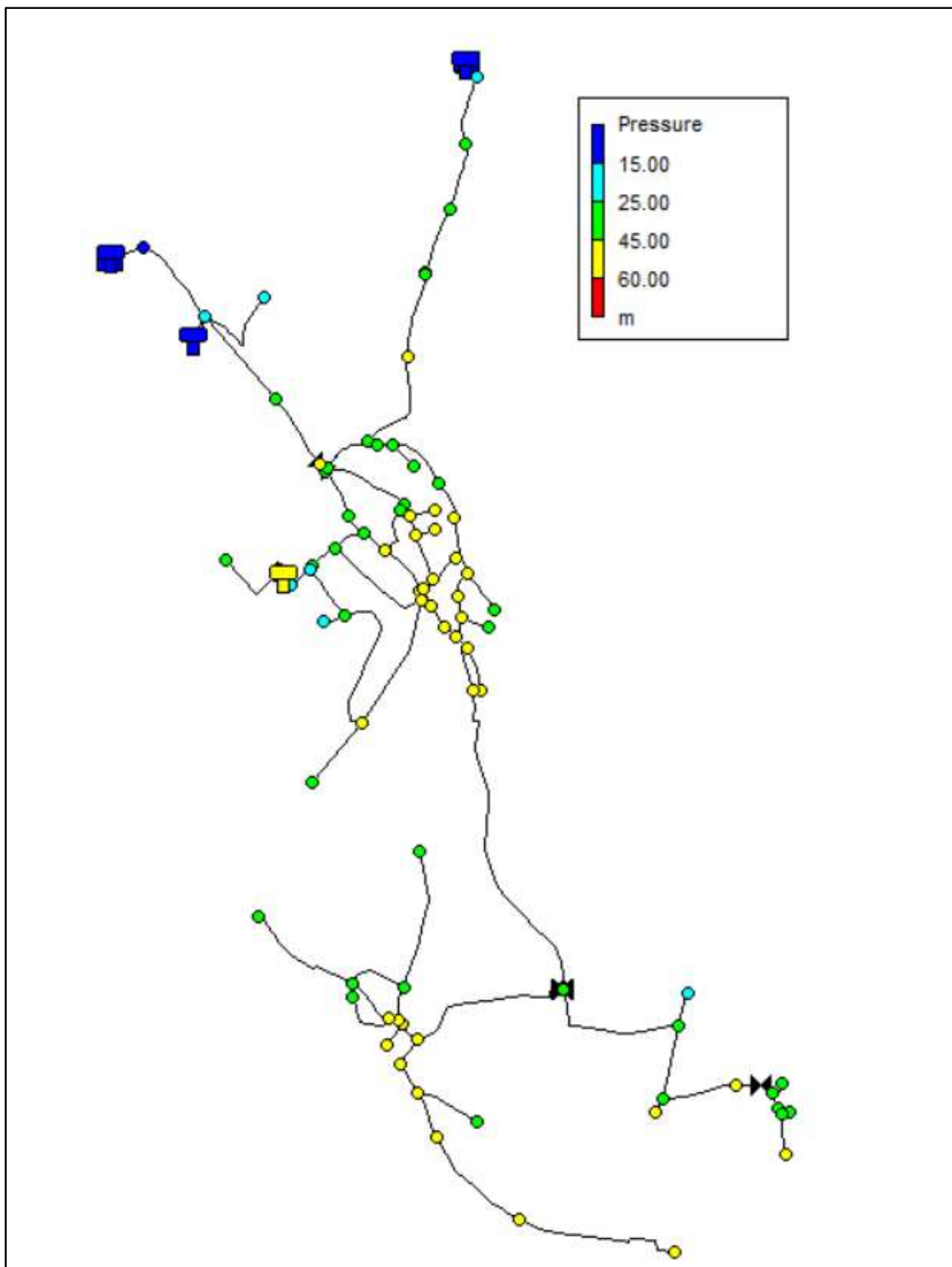
Osazením redukčního ventilu v místě uzlu A5 dojde teoreticky k nahrazení funkce přerušovacího vodojemu, který bychom mohli tím pádem vyřadit z provozu a potrubí propojit napřímo. Výpočtem bylo zjištěno, že případným odstavením přerušovacího vodojemu by došlo ke zkrácení doby zdržení v nejbližších uzlech průměrně o 10 %. Přehledová mapy s vyznačením míst

jednotlivých zásahu do sítě je na obrázku 62 níže. Vliv změn nastavení na redukčních ventilech lze vidět na obrázku 63. Příklad potenciálního odpojení přerušovacího vodojemu na vliv doby zdržení vody můžeme vidět na obrázku 64.

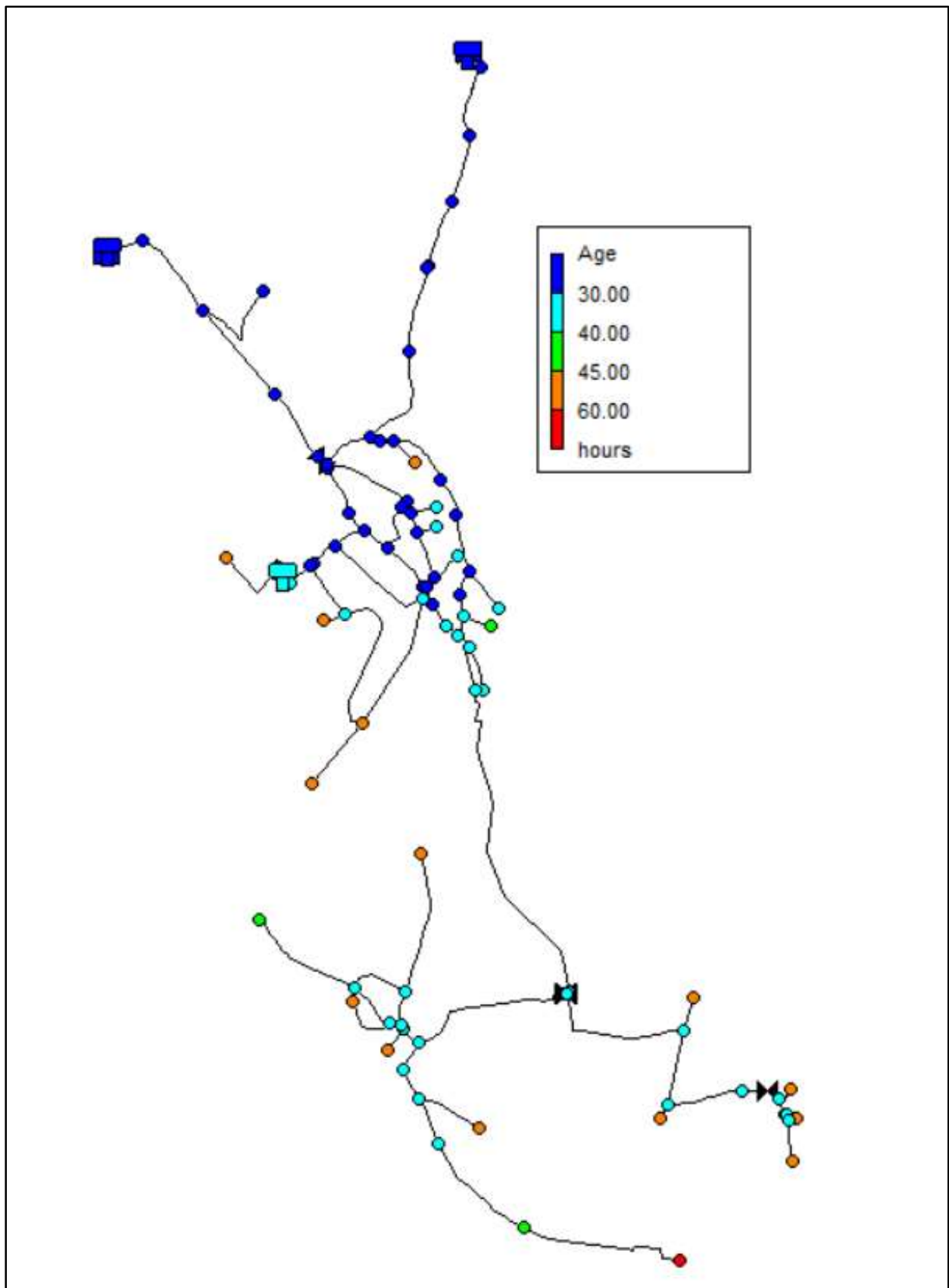
Pro výhledový stav, při kterém nedochází prakticky k výrazným hydraulickým změnám budou opatření obdobná.



Obrázek 61: Přehledová mapa navrhovaných opatření



Obrázek 62: Tlakové poměry v síti po aplikaci opatření



Obrázek 63: Doba zdržení vody v případě odstavení přerušovacího vodojemu

16 Závěry a doporučení

Předmětem diplomové práce bylo posouzení stávající vodovodní sítě vybrané obci s využitím matematického modelování. V teoretické části byla provedena rešerše na téma vodovodních systémů a vytvořen obecný postup práce při vytváření modelu v programovém rozhraní EPANET.

V praktické části byla zkoumána řešená lokalita z hlediska fungování stávajícího systému zásobování pitnou vodou, a to pro stav stávající a výhledový. Z této analýzy vychází vytvořený matematický model v programu EPANET pomocí kterého byly zmapovány tlakové, průtokové, rychlostí poměry a orientační doba zdržení pitné vody v síti.

Vytvořený model se skládá z 90 uzlu propojených 96 úseky potrubí, 2 vodních zdrojů, 4 nádrží, jednoho čerpadla a 5 ventilů. Správnost modelu byla ověřena pomocí poskytnutých dat měření tlaků v síti správcem sítě. Zároveň byla zhodnocena stávající kapacita vodojemů v obci. Jak vodojem „U Papírny“, tak i vodojem „Údolíčko“ jsou dostatečně kapacitní a vyhovují pro plnění své funkce. S tím, že vodojem „Údolíčko“ nevyužívá v současné době plně své kapacity.

Bylo zjištěno, že v rozvodné síti dochází k velmi nízkým rychlostem proudění vody v intervalu 0,01 až 0,1 m/s. Tím může docházet zanášení sítě a je tak doporučeno provádět pravidelné proplachy a kontroly s vyšší četností. Doporučením je při rekonstrukci sítě, která se dá vzhledem k ztrátám v síti očekávat, zmenšit a sjednotit profily potrubí jednotlivých úseků. Pro výhledový stav se hydraulické podmínky nemění a síť je dostatečně kapacitní na připojení všech výhledových objektů.

Dle výsledku výpočtu z modelu v EPANETU bylo navrženo řešení na dosažení optimálních tlaků v síti osazením nového redukčního ventilu před uzlem A5 a za tímto účelem navrženo přepojení stávajícího rozdělení vodovodu. A přenastavením stávajících redukčních ventilů č.1,2 a 3. První ventil se doporučuje přenastavit z aktuálních 20 na 17 m v. s. Druhý pak ze 45 na 35 m v. s. A poslední z 45 alespoň na 43 m v. s. Optimalizace tlaků byla provedena s ohledem na tlakové požadavky na minimální přetlak na vodovodních přípojkách pro objekty do dvou nadzemních podlaží tak, aby jednak byly splněny požadavky dané vyhláškou č. 428/2001 Sb., ale také aby došlo k celkovému snížení tlaků v celé vodovodní síti,

kteřé bude mít pozitivní vliv snížení vysokých úniků vody z vodovodní sítě.

Množství fakturované vody bylo dle databáze VÚME, VÚPE 45 771 m³ v roce 2021. Ve stejném roce bylo dle poskytnutých pokladu do systému dodáno 102 004 m³ upravené vody. Ztráta za 2021 tedy činila 55,13 %, což je přibližně o 40 % víc, než je celorepublikový průměr.

Evidované ztráty představují v současnosti asi zdaleka nejzávažnější problém v souvislosti s obecní vodovodní sítí. K jejich řešení by bylo doporučeno provést měrnou kampaň a postupné odpojování jednotlivých úseků. Data z takto provedené kampaně by bylo zároveň možné použít k další kalibraci modelu, který by mohl pak tvořit významný plánovací nástroj pro obec.

Zároveň by bylo osazením navrženého redukčního ventilu, který nabízí rozsáhlou variabilitu nastavení, teoreticky možné odstavit stávající přerušovací vodojem, a zároveň tím docílit snížení doby zdržení vody o přibližně 10 % a nákladů na provoz a údržbu přerušovacího vodojemu. Před odpojením přerušovacího vodojemu je nezbytné situaci společně s provozovatelem sítě podrobněji posoudit.

17 Seznam tabulek

Tabulka 1: Typické úpravy vody [5]	25
Tabulka 2: Vstupní parametry vodojemu "U Papírny"	57
Tabulka 3: Bilancování vodojemu "U Papírny"	58
Tabulka 4: Výsledky posouzení kapacity vodojemu	58
Tabulka 5: Bilancování vodojemu "Údolíčko"	59
Tabulka 6: Výsledky posouzení kapacity vodojemu	60
Tabulka 7: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	60
Tabulka 8: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	61
Tabulka 9: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	61
Tabulka 10: Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost	61
Tabulka 11: Úsekové potřeby pro stávající stav pro uzly A1-C2	65
Tabulka 12: Úsekové potřeby pro stávající stav pro uzly C1-G9.....	66
Tabulka 13: Uzlové odběry pro stávající stav.....	67
Tabulka 14: Uzlové odběry pro výhledový stav (červeně jsou vyznačeny uzly s výhledovým napojením nových objektů).....	69
Tabulka 15: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A4	79
Tabulka 16: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A7	79
Tabulka 17: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A12.....	80
Tabulka 18: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu A18.....	80
Tabulka 19: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu D2.....	80
Tabulka 20: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu D5.....	81
Tabulka 21: Porovnání vypočtených tlaků v uzlu E3.....	81

18 Seznam obrázků

Obrázek 1 : Místní vodovod s jedním vodním zdrojem [2]	11
Obrázek 2: Místní vodovod s více zdroji [2]	11
Obrázek 3: Skupinový vodovod s hlavním vodojemem [2].....	12
Obrázek 4: Skupinový vodovod s několika místními vodojemy [2].....	12
Obrázek 5: Oblastní vodovod s několika zdroji [2].....	13
Obrázek 6: Gravitační vodovod	14

Obrázek 7: Výtlačný vodovod [3].....	15
Obrázek 8: Větevová síť [2].....	16
Obrázek 9: Okružová síť [2].....	17
Obrázek 10: Schéma pramení jímky [3].....	18
Poznámka k obrázku 11:.....	18
Obrázek 12: Schéma vrtané studny [3].....	19
Obrázek 13: Schéma zářezu [3].....	20
Obrázek 14: Štola pro jímání podzemní vody.....	21
Obrázek 15: Studna s horizontálními jímači.....	22
Obrázek 16: Odběrný věžový objekt [3].....	23
Obrázek 17: Jímací objekt v řečišti [3].....	23
Obrázek 18: Břehový odběrný objekt.....	24
Obrázek 19: Schéma zemního vodojemu [5].....	26
Obrázek 20: Schéma vodovodní přípojky [9].....	27
Obrázek 21: Příklad zapojení automatické tlakové stanice [10].....	29
Obrázek 22: Příklad potrubí z PVC [12].....	30
Obrázek 23: Příklad potrubí z PE [11].....	31
Obrázek 24: Tabulka absolutních drsností potrubí [5].....	34
Obrázek 25: Moodyho diagram [15].....	35
Obrázek 26: Součinitele denní nerovnoměrnosti dle směrnice č.9/1973.....	39
Obrázek 27: Doporučené hodnoty součinitelů hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101.....	40
Obrázek 28: Prvky uživatelského rozhraní.....	42
Obrázek 29: Poloha obce Perštejn [25].....	49
Obrázek 30: Výřez z hlavního výkresu ÚP Perštejn [26].....	51
Obrázek 31: Umístění redukčních šachet.....	53
Obrázek 32: Poloha vodních zdrojů [25].....	55
Obrázek 33: Vstup do štoly.....	55
Obrázek 34: Výchozí nastavení modelu.....	62
Obrázek 35: Nastavení výchozích hodnot délky.....	62
Obrázek 36: Převod geometrie v EpaCAD.....	63
Obrázek 37: Přehledová mapa importované sítě s označením jednotlivých uzlů.....	64

Obrázek 38:Výhledová místa výstavby dle ÚP v místní části Perštejn.....	68
Obrázek 39:Výhledová místa výstavby dle ÚP v místní části Lužný.....	68
Obrázek 40: Rozdělení vodovodní sítě dle zdroje zásobování	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 41: Schematizace hlavního vodního zdroje v EPANETU 2.2.....	70
Obrázek 42: Nastavení vydatnosti zdroje	70
Obrázek 43: Nastavení hlavního vodojemu „U Papírny“	71
Obrázek 44: Nastavení přítoku do vodojemů	71
Obrázek 45: Nastavení vlastností uzlu	72
Obrázek 46: Výškové umístění uzlů.....	73
Obrázek 47: Nastavení vlastností potrubí.....	74
Obrázek 48: Dimenze potrubí ve vodovodní síti.....	74
Obrázek 49: Délky jednotlivých úseků potrubí ve vodovodní síti.....	75
Obrázek 50: Absolutní drsnosti potrubí.....	76
Obrázek 51: Nastavení průběhu hodinových potřeb.....	77
Obrázek 52: Nastavení času	77
Obrázek 53: Přehled míst měření.....	78
Obrázek 54: Průtoky proudění pro stávající stav.....	82
Obrázek 55: Rychlost proudění pro stávající stav.....	83
Obrázek 56: Tlakové poměry pro stávající stav	84
Obrázek 57: Doba zdržení vody	85
Obrázek 58: Průtoky pro výhledový stav	86
Obrázek 59: Rychlost proudění pro výhledový stav.....	87
Obrázek 60: Tlakové poměry pro výhledový stav	88
Obrázek 61: Přehledová mapa navrhovaných opatření	91
Obrázek 62: Tlakové poměry v síti po aplikaci opatření.....	92
Obrázek 63: Doba zdržení vody v případě aplikace opatření.....	93

19 Seznam použité literatury

- [1] *Evropská vodní charta* [online]. Štrasburk, 1968 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://arnika.org/novinky/evropska-vodni-charta>
- [2] NOVÁK, Josef. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. 1. Líbeznice u Prahy: Medim, 2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [3] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství: Státní nakladatelství technické literatury*. 1. Praha, 1987.
- [4] ČSN 75 0150. *Vodní hospodářství - Terminologie vodárenství*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2008.
- [5] GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. 1. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902-4607-9.
- [6] *Vyhláška č. 252/2004 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody* [online]. 2004 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [7] *Zákon č. 258/2000 Sb: Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů* [online]. 2000 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258?text=Z%C3%A1kon+%C4%8D.+258%2F2000+Sb.%3A>
- [8] *Zákon č. 274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)* [online]. 2001 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274?text=vodovodn%C3%AD+p%C5%99%C3%ADpojka>

- [9] *VODOVODNÍ PŘÍPOJKA* [online]. Vodovody a kanalizace Vyškov, a.s. [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.vakvyskov.cz/system/files/story/2019/11/INSTRUKCE.pdf>
- [10] *Automatická tlaková stanice* [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://aqpumpy.cz/reference/automaticka-tlakova-stanice-pro-zasobovani-lazni-jodo-bromovou-vodou>
- [11] *TLAKOVÉ POTRUBÍ PE 100 RC AQUALIN* [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: https://www.pipelife.cz/content/dam/pipelife/czech-republic/ke-stazen%C3%AD/katalogy/Vodovodni_potrubi/PIPELIFE_TLAKOVE_POTRUBI_PE100RC_AQUALINE_6_2022.pdf
- [12] *TLAKOVÉ POTRUBÍ Z PVC* [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: https://www.pipelife.cz/content/dam/pipelife/czech-republic/ke-stazen%C3%AD/katalogy/Vodovodni_potrubi/PIPELIFE_TLAKOVE_POTRUBI_PVC.pdf
- [13] BRATER, Ernst F., James E. LINDELL, C.Y WEI a Horace Williams KING. *Handbook of hydraulics for the solution of hydraulic engineering problems*. 7th ed. Hong Kong: McGraw-Hill, 1996. ISBN 978-007-0072-473.
- [14] KOLÁŘ, Václav. *Hydraulika*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. ISBN 0471883.
- [15] *Moodyho diagram* [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://engineerexcel.com/moody-chart-calculator/>
- [16] *Směrnice 9/1973: Ministerstva lesního a vodního hospodářství ČSR a ministerstva zdravotnictví ČSR - hlavního hygienika ČSR pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů* [online]. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR a ministerstvo zdravotnictví ČSR, 1973 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>

- [17] *Ztráty vody se dlouhodobě daří snižovat* [online]. 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/ztraty-vody-se-dlouhodobedari-snizovat>
- [18] ROSSMAN, Lewis A. EPANET 2.2 User Manual. In: *Https://epanet22.readthedocs.io* [online]. Cincinnati [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: https://epanet22.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/
- [19] *EpaCAD* [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.epacad.com/characteristicas-en.php>
- [20] *Počet obyvatel v obcích - k 1. 1. 2022* [online]. 2022 [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112022>
- [21] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Ústeckého kraje: Perštejn - CZ042.3503.4204.0079.01 (Perštejn)* [online]. 2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://prvk.kr-ustecky.cz/prvk/karty/nahled/246>
- [22] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Ústeckého kraje: Perštejn - CZ042.3503.4204.0079.02 (Černýš)* [online]. 2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://prvk.kr-ustecky.cz/prvk/karty/nahled/247>
- [23] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Ústeckého kraje: Perštejn - CZ042.3503.4204.0079.03 (Lužný)* [online]. 2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://prvk.kr-ustecky.cz/prvk/karty/nahled/248>
- [24] *STRATEGICKÝ PLÁN OBCE PERŠTEJN* [online]. Perštejn: Olivius s.r.o., 2016 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: https://www.obecperstejn.cz/evt_file.php?file=1114
- [25] *Poloha obce Perštejn: mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2022-12-31]. Dostupné z:

<https://mapy.cz/zakladni?l=0&q=per%C5%A1tejn&source=muni&id=1760&ds=2&x=13.0810683&y=50.3893258&z=13>

- [26] *Územní plán Perštejn* [online]. Perštejn: Ladislav Komrská, 2016 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.obec-perstejn.cz/obec-222/uzemni-plan-perstejn/>
- [27] *Portál ČUZK: Nástroj: Analýza výškopisu* [online]. Český úřad zeměměřický a katastrální [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>
- [28] *Osobní a písemné konzultace se správcem vodovodní sítě.*
- [29] PRSKAVEC, František. *Dokumentace pro stavební povolení: Perštejn – Rekonstrukce vodojemu a úpravny vody.* Perštejn – Rekonstrukce vodojemu a úpravny vody. KV ENGINEERING s.r.o. Karlovy Vary, 2012.
- [30] *Jakost pitné vody v ČR se stále zlepšuje, dlouhodobě přibývá lidí napojených na vodovody a kanalizace* [online]. Ministerstvo zemědělství, 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/novinky/jakost-pitne-vody-v-cr-se-stale-zlepsuje.html>