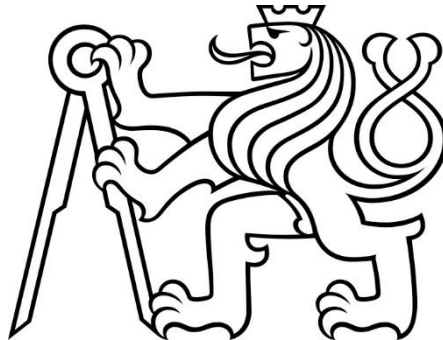


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



**Posouzení zásobování pitnou vodou v obci Brloh**

**Assessment of drinking water supply system in  
village Brloh**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Jiří Švarc**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Filip Horký Ph. D

**květen 2021**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Švarc	Jméno: Jiří	Osobní číslo: 477063
Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Posouzení systému zásobování pitnou vodou v obci Brloh

Název bakalářské práce anglicky: Assessment of the drinking water supply system in the village Brloh

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, ČSN 75 5401, ČSN 75 5355

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Filip Horáký, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 16.02.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 16.05.2021

Údaj

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.*

16.2.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Posouzení zásobování pitnou vodou v obci Brloh zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 16.5.2021



Jméno Příjmení

## Poděkování

Děkuji panu Ing. Filipu Horkému za jeho odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji panu starostovi obce Brloh Martinu Tomanovi za jeho ochotu poskytnutí podkladů ke zpracování bakalářské práce.

## **Anotace:**

Obsahem bakalářské práce je posouzení stávající vodovodní sítě pomocí matematického modelu v programu Epanet v obci Brloh. Bakalářská práce se dělí na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsána funkce, vodovodních soustav. Dále se zde nachází výpočet potřeby vody, posouzení hydraulických vlastností, procesy čištění vody a její akumulace. Dále se věnuje pozornost popisování rozvodů vody vodohospodářských soustav a materiálů vodovodních sítí. Nakonec je zde věnována pozornost matematickému modelování ve vodním hospodářství. Praktická část je věnována výpočtu potřeby vody v obci Brloh pomocí vyhlášky číslo 499/2006 Sb. a porovnáním tohoto výpočtu se skutečnými odběry. Dále byl zpracován matematický model vodovodní sítě obce Brloh.

## **Klíčová slova:**

Zásobování pitnou vodou, Epanet, vodovodní síť, vodovodní systém, potřeba vody

## **Annotation:**

The content of the bachelor thesis is an assessment of an existing water supply system in the mathematical program Epanet in the village Brloh. The bachelor thesis is divided in a theoretical and a practical part. The theoretical part describes function of water supply networks. Additionally, there is a calculation of water supply, an assessment of hydraulics properties, water purification processes and water accumulation. Next the thesis describes the water supply system and the materials used for water supply networks. Eventually there is a chapter about mathematical modelling in water management. In the practical part, water demand in the village Brloh was calculated with the help a notice number 499/2006 Sb and comparison were made to real water abstraction. Finally, was made a mathematical model of water supply network in the village Brloh.

## **Key words**

Drinking water supply, Epanet, water network, water system, need for water

# **Teoretická část**

## **1. Dělení vodohospodářských soustav**

- 1.1. Dělení vodohospodářských soustav dle rozsahu zásobování
- 1.2. Výškové řešení vodohospodářských soustav
- 1.3. Prostorové dělení vodohospodářských soustav

## **2. Prvky vodárenského systému**

- 2.1. Zdroje pitné vody
  - 2.1.1. Podzemní zdroje pitné vody
    - 2.1.1.1. Jímání podzemních vod
  - 2.1.2. Povrchové zdroje pitné vody
  - 2.1.3. Ochranná pásma zdrojů pitné vody
- 2.2. Čerpací stanice
- 2.3. Úprava pitné vody
- 2.4. Přiváděcí řad
- 2.5. Vodojemy
  - 2.5.1. Funkce vodojemu
  - 2.5.2. Dělení vodojemu
- 2.6. Zásobní řad

## **3. Hydraulika vodovodních potrubních sítí**

- 3.1. Bernoulliho rovnice
- 3.2. Rovnice kontinuity
- 3.3. Tlakové ztráty v potrubí
  - 3.3.1. Tlakové ztráty v potrubí Darcy-Waisbachova ztráta
  - 3.3.2. Tlakové ztráty v potrubí Manningová ztráta
- 3.4. Výpočet a návrh ve vodovodní síti

## **4. Potřeby vody**

- 4.1. Druhy potřeby vody
  - 4.1.1. Potřeba vody v domácnosti
  - 4.1.2. Potřeba vody v průmyslu

4.1.3. Potřeba vody v administrativě

4.1.4. Potřeba vody v zemědělství

4.1.5. Ztráty vody

4.2. Vyhláška číslo 428/2001sb. příloha 12

4.3. Výpočet potřeby vody podle směrnice 9/1973

## **5. Doprava vody ve vodovodní síti**

5.1. Násoska

5.2. Čerpadla

5.2.1. Hydrodynamická čerpadla

5.2.2. Hydrostatická čerpadla

5.2.3. Čerpadla ostatních principů

5.2.4. Čerpadla využívána ve vodárenství

5.2.5. Hydraulické charakteristiky vodárenského systému

5.3. Automatické tlakové stanice ATS

## **6. Materiály vodovodních sítí**

6.1. Nekovové materiály vodovodních sítí

6.2. Kovové materiály vodovodních sítí

6.3. Armatury vodovodních sítí

6.4. Životnost potrubí

6.5. Drsnost jednotlivých materiálů potrubí

## **7. Výpočty a modelování vodovodních sítí pomocí**

### **výpočtových programů**

7.1. Kypipe

7.2. Watergames

7.3. Epanet

## **Praktická část**

### **8. Popis vodovodního systému obce Brloh**

### **9. Popis podkladů k bakalářské práci**

### **10. Výpočet potřeby vody**

### **11. Vytvoření matematického modelu vodovodu**

11.1. Vstupní data do modelu

11.2. Postup vytvoření matematického modelu

11.3. Výpočet uzlové potřeby

11.3.1. Výpočet uzlové potřeby stávající stav

11.3.2. Výpočet uzlové potřeby výhledový stav

### **12. Nastavení výpočtu matematického modelu**

### **13. Výsledky matematického modelu**

13.1. Výsledky pro stávající stav

13.2. Problémy s tlaky v obecní části Klondajk

13.3. Výsledky pro výhledový stav

### **14. Shrnutí**

### **15. Doporučení a závěr**



## Úvod

Voda je jednou z nejdůležitějších sloučenin na naší planetě. Lidé využívají vodu nejen pro pití a osobní hygienu, ale také pro vaření, zemědělství a průmysl. V dnešní době se na dodávku pitné vody hledí jako na samozřejmou věc a společnost by už nemohla bez dodávek pitné vody fungovat.

Zásobování pitnou je proces, který obsahuje mnoho komplexní článků, jehož cílem je dostat pitnou vodu k odběrateli. Těchto článků je mnoho a jsou ve variaci od odběru surové vody z vodních zdrojů až po zajištění potřebného množství vody a dostatečného tlaku u spotřebitele. Kromě správného návrhu a výstavby vodovodního systému je nutné vodovodní systém správně provozovat a monitorovat poruchy systému, změnu počtu napojených obyvatel a změnu vydatnosti zdrojů pitné vody.

Bakalářská práce se v praktické části zabývá vyhodnocením a návrhem technického řešení problematiky nedostatečných tlaků na vodovodních přípojkách v části vesnice Brloh jménem Klondajk. Obec Brloh se nachází v Jihočeském kraji 20 kilometrů od Českého Krumlova. V obci Brloh byl vodovod vystavěn v 70 letech 20. století a do budoucna se plánuje výměna stávajícího litinového potrubí, které je již na hranici životnosti.

## Cíle práce

Cílem bakalářské práce je v teoretické části popsat problematiku týkající se zásobování vesnic a měst pitnou vodou a v praktické části je cílem bakalářské práce sestavit matematický model stávajícího vodovodu v obci Brloh a vyhodnotit tuto síť z hlediska tlaků a průtoků.

# **Teoretická část**

## **1. Zásobování pitnou vodou**

Vodovodní sítě lze dělit z mnoha pohledů například podle výškového vedení, prostorového uspořádání.

### **1.1. Dělení vodohospodářských soustav dle rozsahu zásobování**

#### **Místní vodovody**

Místní vodovody jsou budovány pro jednotlivé obce, kde se zdroj nachází nedaleko dané obce [2].

#### **Skupinové vodovody**

Skupinové vodovody jsou budovány pro více obcí. Zásobování je z více zdrojů a nachází se zde jeden nebo více vodojemů [1].

#### **Oblastní vodovody**

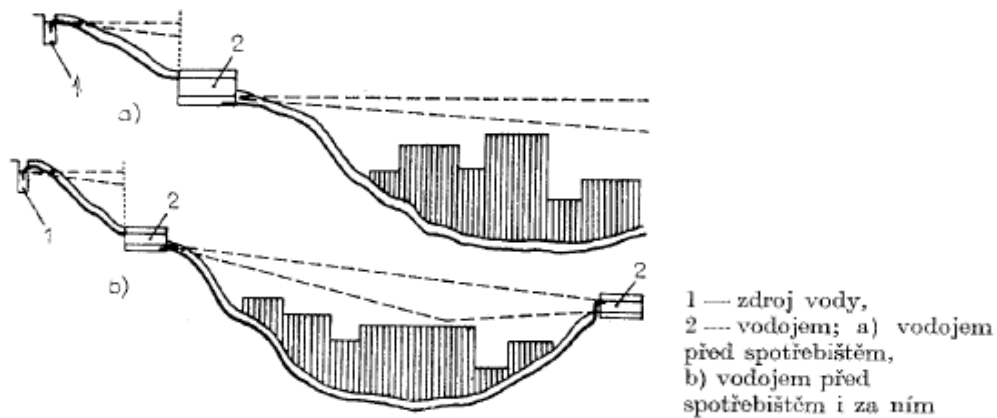
Oblastní vodovody dodávají vodu i do míst, kde se nenachází vhodný vodní zdroj. Vhodný vodní zdroj se zpravidla nachází ve velké vzdálenosti od spotřebiště [1].

### **1.2. Výškové řešení vodohospodářských soustav**

Vodovody z výškového hlediska se dělí na:

#### **Gravitační**

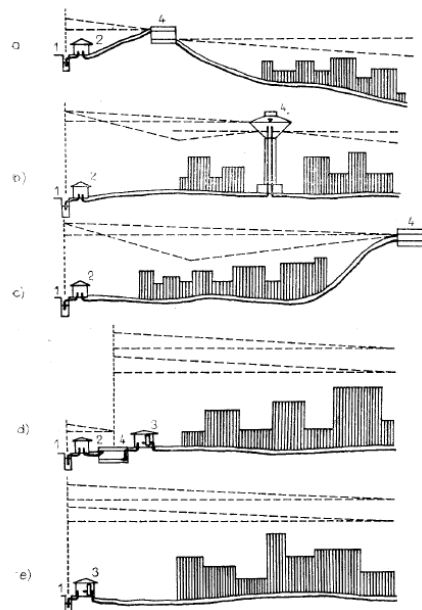
V gravitačních vodovodech je spotřebiště zásobované samospádem (gravitačně) [2].



Obrázek 1 Schéma gravitačního vodovodu [2]

## Výtlačný

Ve výtlačném vodovodu se voda většinou vyčerpá do vodojemu a voda pokračuje do spotřebiště samospádem (gravitačně) [2].



1 — zdroj vody, 2 — čerpací stanice, 3 — automatická tlaková stanice, 4 — vodojem;  
a) vodojem před spotřebištěm, b) věžový vodojem uvnitř spotřebiště, c) vodojem za spotřebištěm, d) automatická tlaková stanice s akumulací, e) automatická tlaková stanice bez akumulace

Obrázek 2 schémata výtlačných vodovodů [2]

### **kombinovaný**

Navrhují se v případech, když zásobujeme větší území, kde se nachází více obcí, je zde více tlakových pásem a více vodojemů [2].

## 1.3. Prostorové dělení vodohospodářských soustav

Vodovodní síť se dělí na:

### **Větvená**

Z vodojemu vede hlavní větev vodovodu, z které vedou vedlejší větve vodovodu, které dodávají vodu ke spotřebiteli.

Výhodou těchto sítí jsou menší náklady na výstavbu a nevýhodou je, že při poruše na vodovodu nemusí být všichni obyvatelé zásobováni vodou z vodovodu [2].

### **Okružová**

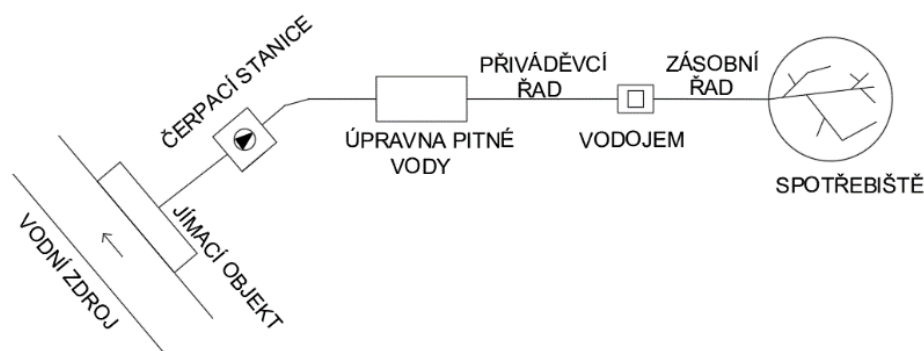
Okružová síť vodovodu je taková, když jsou všechna místa ve spotřebišti zásobovaná ze dvou stran [2].

Výhodou těchto sítí je vyrovnávání tlakových poměrů při poruchách, nevýhodou těchto sítí jsou vysoké pořizovací náklady na stavbu [2].

### **Kombinovaná**

Kombinovaná vodovodní síť kombinuje výhody větvené a okružové sítě [2].

## 2. Prvky vodárenských systémů



Obrázek 3 prvky vodárenského systému [3]

### 2.1. Zdroje pitné vody

Zdroje pitné vody lze obecně dělit na podzemní a povrchové [10]. Výhodou povrchových zdrojů oproti podzemním zdrojům bývá snazší jímání a větší množství než je tomu u povrchových zdrojů. Nevýhodou povrchových vod je značná náročnost na úpravu oproti podzemním zdrojům [2].

#### 2.1.1. Podzemní zdroje pitné vody

Vydatnost podzemních vod závisí ve většině případech na množství dešťové vody, která se vsákne do půdy. Pro určení vydatnosti podzemních zdrojů pitné vody se používají čerpací zkoušky. Tyto zkoušky se obecně dělí na krátkodobé čerpací zkoušky, pomocí kterých zjistíme informace o samotné studni a dlouhodobé čerpací zkoušky, pomocí kterých navíc zjistíme dlouhodobý vliv jímání a průtokové poměry [10].

### 2.1.1.1. Jímání podzemních vod

Pro jímání podzemních vod se využívají jímací objekty, které mají optimálně využívat zásoby podzemních vod, zabezpečovat jejich ochranu a trvale umožňovat odběr stanoveného množství vody [2].

#### Plošné jímací objekty

Plošné jímací objekty slouží k zachycování pramenů a plošných vývěrů vody ze skalních hornin. V současnosti se již budují ojediněle, poněvadž je snaha zachytit podzemní vody ve větších hloubkách vrty [2].

#### Vertikální jímací objekty

Nejrozšířenějším typem jímacích objektů jsou hydrogeologické vrty. Vrty neboli studně se dělí na šachtové, vrtané, vystrojené, zanášené [2].

#### Horizontální jímací objekty

Horizontální jímací objekty se využívají v případech, kdy zachycení vody vertikálními jímacími objekty by bylo nestatečné nebo nevýhodné. Mezi tuto skupinu patří: zářezy, štoly, vodorovné vrty [2].

### 2.1.2. Povrchové zdroje pitné vody

Povrchové zdroje pitné vody se využívají v případech, kdy nejsou dostatečné zásoby podzemních vod [10].

#### Jímání povrchových vod

Jímání povrchových vod se obecně dělí na jímání vody z nádrží, jímání z tekoucích vod (slouží spíše k zásobování průmyslu), břehové jímání a jímání ze dna koryta [2].

#### Odběr vody z nádrží

Pro odběr vody z nádrží se používají věžové objekty. Tyto objekty mohou být součástí tělesa hráze nebo samostatně stojící [10]. Odběrné otvory se nachází v různých výškách objektů tak aby bylo možno čerpat z různých hloubek nádrže [2].

## Jímání z vodních toků

Pro tento druh jímání se musí vybrat v toku místo, které je stabilní nebo lze toto místo výškově upravit [10].

Jímání vody ve vodních tocích lze rozdělit na břehové jímání a jímání přímo v řečišti. Břehové jímání je vhodné pro toky se stabilním dnem, toto jsou zejména dolní a střední toky. Jímání přímo v řečišti se používá u širších toků, kde jsou nestabilní břehy [2].

### 2.1.3. Ochranná pásma zdrojů pitné vody

Ochranná pásma vodních zdrojů slouží k ochraně vydatnosti a zdravotní nezávadnosti vodního zdroje [10].

„Ochranná pásma se dělí na dvě pásma. První pásmo slouží k ochraně bezprostředního okolí jímacího objektu. Ochranné pásmo druhého stupně slouží k ochraně míst, které stanoví vodohospodářský orgán v místech, kde by mohlo dojít k ohrožení zdravotní nezávadnosti a vydatnosti vodního zdroje“ (GRÜNWARD, Alexander. Vodárenství. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902460-7-9)

## 2.2. Čerpací stanice

Vodárenská čerpací stanice je objekt s čerpacím zařízením, která slouží pro zajištění požadovaného tlaku a průtoku ve vodovodní síti. Jsou tři druhy čerpacích stanic

- Hlavní čerpací stanice

Hlavní čerpací stanice se osazují za úpravnu vody nebo za odběrné zařízení.

- Přečerpávací čerpací stanice

Přečerpávací čerpací stanice slouží pro dopravu vody do vodojemu nebo do zásobního pásma.

- Automatická čerpací stanice

Automatická čerpací stanice slouží pro čerpání vody přímo do spotřebiště.

[4]

## 2.3. Úprava pitné vody

Cílem úpravy vody je zlepšení její zkvalitnění s ohledem na její další využívání [10].

### 2.3.1. Úprava povrchových a podzemních vod

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

Obrázek 4 Tabulka typických procesů úpravy povrchových a podzemních vod [10]

U úpravy povrchových vod procesy adsorpce, stabilizace, mikrofiltrace, nanofiltrace a flotace nebývají běžnou součástí úpravy povrchových vod.

U úpravy podzemních vod jsou procesy odstraňování vápníku, hořčíku, deionizace, demineralizace, desorpce a membránové procesy nejsou běžnou součástí úpravy podzemních vod [10].

## 2.4. Příváděcí řad

Vodovodní řad, který propojuje úpravny vody s vodojemy a/nebo zásobovací pásma obvykle bez přímého napojení odběratelů [5,6]



## 2.5. Vodojemy



Obrázek 5 příklad věžového vodojemu [7]

Vodárenský objekt sloužící k akumulaci pitné vody. Akumulace vody může být krátkodobá nebo dlouhodobá. Dlouhodobá akumulace slouží pro zásobování spotřebiště během celého roku. Krátkodobá akumulace vody se vytváří nejčastěji ve vodojemech, jejichž účelem je vyrovnání rovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem, udržovat zásobu vody pro hašení požáru, udržovat zásobu vody pro případ poruch na vodovodních zařízeních, stabilizovat tlakové poměry ve vodovodní síti [2]. Vodojemy mohou mít tři funkce, tyto funkce jsou tlaková, akumuláční, kontaktní funkce [10].

### 2.5.1. Funkce vodojemu

#### **Tlaková funkce**

Tlaková funkce vodojemu je dána polohou vodojemu ke spotřebišti viz kapitola 4.2. Tlaková funkce ve vodojemu musí zajistit přetlak na přípojkách 0,15 MPa pro jednopodlažní budovy a 0,25 MPa pro dvoupodlažní budovy. Ve vodovodní síti musí být zajištěný přetlak 0,6 (0,7) MPa [16]. Stanovení výškového rozdílu.

$$h = H_{max} - H_{min} - \Delta h - \Delta p \quad (1)$$

$H_{max}$  – maximální tlak ve vodovodní síti

$H_{min}$  – minimální tlak ve vodovodní síti

$\Delta h$  - kolísání hladiny ve vodojemu

$\Delta p$  – odhad tlakových ztrát ve vodojemu spotřebiště (0,05 MPa)

[10]

## **Akumulační funkce**

Objem ve vodojemu s dělí na objem provozní, objem požární a objem poruchový (vyrovnávací). Objem provozní slouží k vyrovnávání denní nerovnoměrnosti mezi odběrem a přítokem do vodojemu. Provozní objem se počítá pro dva způsoby plnění. Tyto způsoby jsou gravitační, kde se voda do vodojemu dostává celých 24 hodin denně a čerpání do vodojem, kde se čerpá přibližně 17 hodin denně [10].

Objem požární slouží k zásobování požární vodou.

$$V_{\text{pož}} = 3,6qnt \quad (2)$$

$V_{\text{pož}}$  – požární objem

$q$  – požární spotřeba vody

$n$  – počet odběrných míst

$t$  – doba trvání požáru

[2]

Objem poruchový slouží k zásobování pitné vody při poruše na vodovodu.

$$V_{\text{POR}} = \frac{T}{24} \cdot Q_{\text{max,d}} \quad (3)$$

$V_{\text{POR}}$  – poruchový objem

$T$  – doba poruchy

$Q_{\text{max,d}}$  – maximální denní potřeba vody

[2]

## **Kontaktní funkce**

Kontaktní funkce vodojemu je taková funkce, která zajišťuje dostatečnou dobu zdržení ve vodojemu, aby došlo k dostatečně dlouhé reakční době mezi chemikáliemi a vodou. Toto je např. hygienické zabezpečení vody [10].

## 2.5.2. Dělení vodojemu

### **Dělení vodojemu dle konstrukce**

Zemní vodojemy

Věžové vodojemy

[2]

### **Dělení vodojemu dle funkce**

Zásobní vodojemy – tyto vodojemy slouží k vyrovnání denní nerovnoměrnosti odběrů

Hlavní – tyto vodojem se nachází u skupinových nebo oblastních vodovodů

Přerušovací – tyto vodojemy rozdělují vodovod na tlaková pásma, tak aby výškový rozdíl nebyl vyšší než 0,7 MPa

Vyrovnávací – tyto vodojemy slouží k vyrovnávání malých odběrů a velkých špiček

Provozní – tyto vodojemy slouží k akumulaci vody v oblasti úprav pitné vody

Požární – tyto vodojemy slouží k zásobování požární vodou

[9]

## 2.6. Zásobní řad

Vodovodní potrubí, které slouží k vlastnímu zásobování vodou, jedná se o uliční rozvody, které jsou přímo napojeny na spotřební objekty [5,6].

### 3. Hydraulika vodovodních potrubních sítí

Ve vodárenství se zpravidla jedná o dopravu vody potrubí pod tlakem. Pro hydraulické posouzení potrubí se vychází z Bernoulliho rovnice a rovnice kontinuity.

#### 3.1. Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity vychází ze zjednodušení Eulerových hydrodynamických rovnic, kde předpokládá, že je kapalina v klidu v gravitačním poli a že je kapalina nestlačitelná [11].

$$Q = S \cdot v \quad (4)$$

$v$  – rychlost proudění vody [m/s]

$S$  – průřez průtočného průřezu [m<sup>2</sup>]

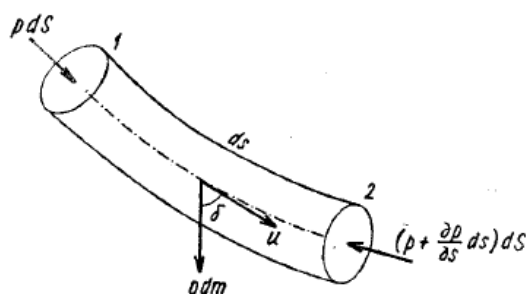
[11]

#### 3.2. Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice neboli rovnice energie se odvozuje integrací Eulerových pohybových rovnic nebo z Newtonova zákona na infinitezimální válec [11].

$$a_x = -\frac{\partial U}{\partial x}; \quad a_y = -\frac{\partial U}{\partial y}; \quad a_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

Obrázek 6 Eulerovy pohybové rovnice [11]



Obrázek 7 infinitezimální válec pro proudění ideální tekutiny [11]

Energetická výška  $h_E$  se skládá:

- polohové výšky  $h$  [m]
- tlakové výšky  $\frac{p}{\rho g}$  [m]
- ztráty  $z$  [m]
- rychlostní výšky  $\frac{u^2}{2g}$  [m/s]
- $p$  – tlak kapaliny
- $\rho$  hustota kapaliny
- $g$  – gravitační zrychlení
- $u$  – rychlost kapaliny

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z \quad (5)$$

[11]

### 3.3. Tlakové ztráty v potrubí

Tlakové ztráty v potrubí se skládají ze ztrát třením  $z_t$  a ztrát místních  $z_m$ . Celkové ztráty se stanovují sečtením ztrát třením a ztrát místních.

$$Z = Z_T + Z_M \quad (6)$$

$Z$  – celkové ztráty

$Z_T$  – ztráty třením

$Z_M$  – ztráty místní

[11]

#### 3.3.1. Ztráty třením

Ztráty třením jsou oproti místním ztrátám při výpočtech vodovodu dominantními. Tyto ztráty vznikají po celé délce proudu. Jsou způsobené vnitřními silami působícími v kapalině na stěnu potrubí [11].

### 3.3.1.1. Darcy-Waisbachova ztráta

$$z_T = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

$z_T$  – ztráty třením [m]

$\lambda$  – součinitel ztrát třením [-]

$L$  – délka potrubí [m]

$D$  – průměr potrubí [m]

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

[11]

Součinitel tření  $\lambda$  (lambda) je funkcí dvou proměnných  $\lambda = f\left(\frac{\Delta}{D}, Re\right)$ , kde  $Re$  je Reynoldsovo číslo a  $\frac{\Delta}{D}$  je poměr drsnosti a průměru potrubí [10].

Součinitel  $\Delta$  vychází z materiálu potrubí, stáří materiálu. Je to výška výstupků nacházející se na potrubí [10]. V nadcházející tabulce jsou drsnosti značené písmenem  $k$ .

Druh potrubí	Stav potrubí	$k$ mm
Azbesto-cementové	nové	0,5
	po použití	1,0
Ocelové bezešvé	nové	0,01 – 0,02
	po použití	0,15
	po delším provozu	0,3
Ocelové svařované	nové	0,03 – 0,1
	mírně zrezivělé	0,3 – 0,7
	silně zrezivělé	2,0 – 4,0
litinové	nové	0,01 – 0,016
	po použití	0,5 – 1,5
	silně zrezivělé	2,0 – 3,0
plastové	nové	0,001 – 0,003
	po delším provozu	0,01 – 0,5
betonové	nové	0,15 – 0,5
	po delším provozu	1,0 – 3,0

Obrázek 8 tabulka drsnosti potrubí [12]

Re – Reynoldsovo číslo se nachází na ose x Moodyho diagramu

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (8)$$

Re – Reynoldsovo číslo

v – rychlost proudění v kapalině

D – průměr potrubí

$\nu$  – viskozita kapaliny

[2]

Koeficient ztrát třením lze stanovit i pomocí řady vzorců. Například podle Colebrook – Whitova vztahu pro turbulentní proudění [10].

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,71d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (9)$$

$\lambda$  – součinitel ztrát třením

k – absolutní drsnost potrubí

Re – Reynoldsovo číslo

d – vnitřní průměr potrubí

Pro laminární proudění je koeficient ztrát třením dán tímto vztahem.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (10)$$

Při použití těchto vztahů se musí ve výpočtu ověřit, zda se výsledky nachází v oblasti Moodyho diagramu, pro který je vzorec platný [10].

### 3.3.1.2. Manningova ztráta

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad (11)$$

C – Chezyho rychlostní součinitel

R – hydraulický poloměr potrubí [m]

n – manningův součinitel drsnosti [-]

[2]

Vyjádřením sklonu energie  $i_E$  z Darcy-Waisbachova rovnice a rovnice dostane vztah mezi C a  $\lambda$  [2].

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{8g}{C^2} \quad (13)$$

[2]

### Ztráty místní

Vznikají v důsledku překážky v potrubí působícím na potrubí. Objekty na potrubí, které způsobují místní ztráty jsou [2]:

- Vtok do potrubí
- Náhlé zúžení a rozšíření průřezu potrubí
- Postupné (kónické) zúžení a rozšíření průřezu
- Změna směru potrubí (ostrá a oblouková kolena)
- Tvarovky (rozdělení a spojení proudů)
- Uzávěrky pro regulaci průtoku (šoupata, klapky, kohouty, ventily)
- Výtok z potrubí do nádrže
- Clony, venturimetry, objemové vodoměry
- Sací koše a jiné speciální objekty

$$z_M = \xi * \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$



$Z_M$  – ztráty místní [m]

$\xi$  – součinitel místní ztráty [-]

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

Součinitel  $\xi$  se získává z tabulek, jeho hodnoty jsou spočítané z Bernoulliho rovnice.

[2]

Armatura	Jmenovitá světlost armatury					
	50	100	150	200	250	300
přímý ventil	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0
šikmý ventil	2,9	2,3	1,8	1,4	1,2	1,0
rohový ventil	3,3	4,1	4,7	5,3	5,8	6,2
zpětný ventil	1,3	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1
šoupátko	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4

Obrázek 9 příklad hodnot místních ztrát v potrubí [2]

$Q_0/Q$		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\xi$ při odbočení	90°	0,95	0,88	0,89	0,95	1,10	1,28
	45°	0,90	0,68	0,50	0,38	0,35	0,48
$\xi$ při přímém průtoku	90°	0,04	—0,08	—0,05	0,07	0,21	0,35
	45°	0,04	—0,06	—0,04	0,07	0,20	0,33

Obrázek 10 příklad hodnot místních ztrát v i potrubí [2]

### 3.4. Výpočet a návrh vodovodní sítě

Prvním krokem ve výpočtu vodovodní sítě je rozdělení vodovodu na úseky a v těchto úsecích spočítat jednotlivé odběry. Termín úseková potřeba vody znamená maximální potřeba vody v daném úseku. Úsekovou potřebu vody lze zjistit několika způsoby. Například lze výpočet provést na základě dvou parametrů, které popisují odběr v daném úseku. Často se výpočet provádí zjednodušeně, kdy rozdělíme maximální spotřebu do jednotlivých úseků. Tímto rozumíme délky úseku, charakteru zástavby, plochy a hustoty osídlení území [10].

$$q_i = \frac{Q_h - \sum Q_{BOD}}{\sum a_i b_i} a_i b_i \quad (15)$$

$Q_h$  – max hodinová potřeba

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

$a_i$  – první parametr (např. koeficient zástavby, zalidnění apod.)

$b_i$  – druhý parametr (např. délka úseku)

$q_i$  – úseková potřeba

[10]

Metoda redukovaných délek je založena na délce úseku a hustotě (charakteru zástavby) [10]

$$q_i = \frac{Q_s}{\sum_{i=1}^m (\varphi_i L_i)} \varphi_i L_i \quad (16)$$

$\varphi_i \cdot L_i$  – redukovaná délka úseku

$q_i$  – úseková potřeba

$Q_s$  – souhrn všech odběrů v síti

[2]

Druhým krokem výpočtu je výpočet uzlové potřeby vody. Úsekovou spotřebu lze zjednodušeným výpočtem rozdělit rovnoměrně do krajních uzlů [10].

$$G_j = \frac{1}{2} \cdot \sum q_{ij} + B_j \quad (17)$$

$G_j$  – Uzlová potřeba vody

$q_{ij}$  – potřeba vody v hlavním úseku uzlu

$B_j$  – bodové odběry z úseku

[10]

Třetím krokem ve výpočtu je určení návrhového úseku průtoku  $Q_n$ . Návrhový průtok zjistíme postupným nasčítáním jednotlivých úsekových potřeb [2].

Čtvrtým krokem ve výpočtu je návrh průměru vodovodního potrubí s ohledem na doporučenou rychlost, která se nachází mezi 0,8 – 1,2 m/s a s ohledem na umístění hydrantů. Po navrhnutí průměru potrubí určíme skutečné rychlosti ve vodovodní síti [10].

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (17)$$

d – průměr potrubí

Q – návrhový průtok

v – rychlost vody v potrubí

[2]

$$v = \frac{Q}{S} \quad (18)$$

v – rychlost vody v potrubí

Q – průtok

S – plocha potrubí [2]

Pátým krokem ve výpočtu je určení ztrát třením podle Darcy-Waisbacha viz kapitola 3.3.1 a následné posouzení tlakových poměrů ve vodovodní síti [2]

## 4. Potřeba vody

V současnosti není ucelená metoda pro určení potřeby, poslední ucelená metoda byla ustanovena ve směrnici 9/1973 Ministerstvem lesního a vodního hospodářství ČSR a Ministerstvem zdravotnictví ČSR. V této vodohospodářské vyhlášce jsou stanoveny hodnoty součinitele denní nerovnoměrnosti, ale současně není již skoro 40 let upravena a její hodnoty jsou již zastaralé. Novější údaje, z nichž lze získat hodnoty specifické potřeby vody jsou v příloze číslo 12 vyhlášky 2001 viz kapitola 4.2. [13].

Dalším místem, kde lze získat hodnoty součinitele denní a hodinové nerovnoměrnosti je kanalizační norma, tato norma není určena pro vodovody, ale mnoho firem tyto hodnoty využívá.

### 4.1. Druhy potřeby vody

Celkové množství spotřebované vody se skládá z vody spotřebované v domácnosti, průmyslu, administrativu, zemědělství a ztrát [10].

#### 4.1.1. Potřeba vody v domácnosti

Pojmem potřebou vody v domácnosti je myšlena voda používána na vaření, umývání, splachování toalet, kropení zahrad atd. [10]

#### 4.1.2. Potřeba vody v průmyslu

Při výpočtu pro průmysl rozlišujeme potřebu vody pro pracovníky a potřebu vody pro samotný provoz průmyslu. Pod potřebu vody pro pracovníky zahrnujeme vodu na pití, vaření a umývání pracovníků [2].

#### 4.1.3. Potřeba vody pro administrativu

Pod pojmem potřeba vody pro administrativu je myšlena voda používána ve školách, školkách, hotelech a ve zdravotnictví [10].

#### 4.1.4. Potřeba vody v zemědělství

Pojmem potřebou vody v zemědělství je myšlena voda, která se používá při živočišné a rostlinné výrobě, zahradnictví [10].

#### 4.1.5. Ztráty ve vodovodní síti

Pojmem ztráty vody v potrubí označujeme vodu, která nebude vyfakturovaná. Když je procento nefakturované vody/fakturované vodě menší než 20 % tak je vodovod ve vyhovujícím stavu [10].

Ztráty ve vodovodní síti se dělí na ztráty způsobované úniky ze zařizovacích předmětů, úniky vody z distribuční sítě, ve zdrojích a akumulace a ztráty které jsou způsobovány chybou měřících přístrojů případně jejich absencí [10].

Příčiny ztrát vody v rozvodné síti jsou: stáří sítě, kvalita uložení potrubí, materiál potrubí. Ztráty v rozvodné síti se v průběhu let snižují, díky výměnám a modernizaci potrubí ve vodovodních sítích viz tabulka vývoj ztráty vody na vodovodní síti v Ostravě [14].

**Vývoj ztráty vody na vodovodní síti v Ostravě**

	2010	2015	2019
délka sítě	1 015 km	1 065 km	1 066 km
ztráty vody	16,9 %	12,1 %	10,2 %

*Obrázek 11 Vývoj ztrát vody na vodovodní síti v Ostravě*

#### 4.2. Vyhláška č.428/2001 sb. příloha č.12

Tato vyhláška udává potřeby vody v příloze číslo 12. Tato příloha slouží k výpočtu potřeby vody ve vodovodu, udává hodnoty potřeby vody.

##### **Směrná čísla roční potřeby**

Byty.

1. na jednu osobu bytu s tekoucí studenou vodou mimo byt za rok 15 m<sup>3</sup>
2. na jednu osobu bytu bez tekoucí teplé vody (teplé vody na kohoutku) za rok 25 m<sup>3</sup>
3. na jednu osobu bytu s tekoucí teplou vodou (teplá voda na kohoutku) za rok 35 m<sup>3</sup>

*Obrázek 12 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]*

## II. VEŘEJNÉ BUDOVY, ŠKOLY

a) je uvedena základní potřeba vody - ostatní potřeba vody (zahrada, mytí aut apod.) se připočítá podle dalšího vybavení budov, které uvedené samostatně se směrnými čísly;

b) v případě stravování pro konkrétní situaci se připočítají směrná čísla uvedená podle položek č. 18, 19 a 20;

c) ve veřejných budovách, kde jsou byty, se připočte roční směrné číslo podle vybavení bytu.

kancelářské budovy

(bez stravování)

na jednu osobu při průměru 250 pracovních dnů za rok		
4.	WC, umyvadla	8 m <sup>3</sup>
5.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	14 m <sup>3</sup>
6.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda s možností sprchování	18 m <sup>3</sup>

školy

(bez stravování)

na jednu osobu (žáka, učitele, pracovníka) při průměru 200 pracovních dnů za rok		
7.	WC, umyvadla	3 m <sup>3</sup>
8.	WC a tekoucí teplá voda	5 m <sup>3</sup>

mateřské školy a jesle s celodenním provozem

(bez stravování)

na jednu osobu (učitele, pracovníka, dítě) při průměru 200 pracovních dnů za rok		
9.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	8 m <sup>3</sup>
10.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda s možností sprchování	16 m <sup>3</sup>

Obrázek 13 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

## III. HOTELY, UBYTOVNY, INTERNÁTY

(směrná čísla pouze pro ubytování)

na jedno lůžko za rok		
hotely a penziony		
11.	většina pokojů má WC a koupelnu s tekoucí teplou vodou	45 m <sup>3</sup>
12.	většina pokojů je bez koupelny (sprch), WC na chodbě	23 m <sup>3</sup>
13.	restaurace v hotelu, penzionu podle položek č. 18, 19 a 20 +39,40 a 41+42 a 43.	
14.	pro doplňující vybavení hotelů se přičítá:	
	denní připouštění bazénu	10 m <sup>3</sup>
	sauna, wellness	10 m <sup>3</sup>
V případě vlastní prádely se použije směrné číslo pro prádely.		
internáty, učňovské domovy, studentské koleje, ubytovny		
15.	většina pokojů má WC a koupelnu s tekoucí teplou vodou	25 m <sup>3</sup>
16.	v budovách, kde jsou koupelny (sprchy), WC na chodbě	15 m <sup>3</sup>
17.	stravování podle položek č. 18, 19, 20, 39, 40 a 41.	
stravování - kuchyně, jídelna (bezobslužné)		
na 1 strážníka a 1 pracovníka na jednu směnu za rok		
18.	dovoz jídla, mytí nádobí, vybavení WC, umyvadla	3 m <sup>3</sup>
19.	vaření jídla, mytí nádobí, vybavení WC, umyvadla	8 m <sup>3</sup>
20.	bufet, občerstvení	1 m <sup>3</sup>

Obrázek 14 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

#### IV. ZDRAVOTNICKÁ A SOCIÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

Vybavení: WC, umyvadla a tekoucí teplá voda

		na 1 pracovníka v denním průměru za rok
zdravotnická střediska, ambulatoria, ordinace		
21.	na jednoho pracovníka	18 m <sup>3</sup>
lékárny, hygienicko-epidemiologické stanice		
22.	na jednoho pracovníka	18 m <sup>3</sup>
zubní střediska s celoročním provozem, ordinace		
23.	na jednoho pracovníka	20 m <sup>3</sup>
ošetřovaná osoba		
24.	na 1 vyšetřovanou osobu v denním průměru za rok	2 m <sup>3</sup>
rehabilitace, rehabilitační bazén, sauna		
25.	na jednotlivá rehabilitační zařízení se určí potřeba množství podle příslušné normy pro provoz využívaného zařízení	
26.	na jednoho pracovníka	18 m <sup>3</sup>
		na jedno lůžko za rok
nemocnice (včetně stravování, kuchyně, bez léčebných zařízení)		
27.	na jedno lůžko	50 m <sup>3</sup>
léčebny dlouhodobě nemocných, domovy důchodců (včetně stravování, kuchyně, bez léčebných zařízení)		
28.	na jedno lůžko	45 m <sup>3</sup>

Obrázek 15 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

#### V. KULTURNÍ A OSVĚTOVÉ PODNIKY, SPORTOVNÍ ZAŘÍZENÍ

multikina, samostatná kina a divadla s celoročním provozem (vybavení WC, umyvadla)		
		při plné obsazenosti za rok
29.	najedno sedadlo a jedno představení denně	1 m <sup>3</sup>
přednáškové sítě, knihovny, čítárny, studovny a muzea (vybavení WC, umyvadla)		
		na jednoho stálého pracovníka za rok
30.		14 m <sup>3</sup>
		na jednoho návštěvníka v denním průměru za rok
31.	na jednoho návštěvníka	2 m <sup>3</sup>
tělocvična, sportoviště, fitness centrum (vybavení WC, umyvadla, možnost sprchování s teplou vodou)		
		na jednoho návštěvníka v denním průměru za rok
32.	na jednoho návštěvníka	20 m <sup>3</sup>
		na 1 hřiště za rok
33.	kropení antukových hřišť krytých	230 m <sup>3</sup>
34.	kropení antukových hřišť nekrytých	460 m <sup>3</sup>
		na 100 m <sup>2</sup> za provozní den
35.	kropení travnatých hřišť	20 m <sup>3</sup>
		za rok
36.	golfové hřiště 18 ti jamkové se zavlažováním greenu, odpališť a ferveje	22500 m <sup>3</sup>
		na 1 návštěvníka - diváka v denním průměru (365 dnů) za rok
37.	WC, umyvadla	1 m <sup>3</sup>
	Poznámka: v případě neprokázání počtu návštěvníků se jejich počet stanoví jako desetina kapacity zařízení pro návštěvníky - diváky.	
zimní stadion		
38.	pro jednotlivá zařízení se určí potřeba množství vody podle příslušné normy nebo technického návodu pro provoz (tvorba a úprava ledové plochy, relaxační zařízení apod.)	

Obrázek 16 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

## VI. RESTAURACE, VINÁRNÝ

(vybavení WC, umyvadla, tekoucí teplá voda)

Restaurace, vinárny, kavárny		
		na jednoho pracovníka v jedné směně (365 dnů) za rok (zahrnuje i zákazníky bez mytí skla)
39.	pouze výčep	50 m <sup>3</sup>
40.	výčep, podávání studených jídel	60 m <sup>3</sup>
41.	výčep, podávání studených jídel a teplých jídel	80 m <sup>3</sup>
Vybavení na mytí skla: (připočítává se k položkám č. 39, 40 a 41)		
42.	výčepní stolice s trvalým průtokem 3 l/min. za jednu směnu	450 m <sup>3</sup>
43.	mytí skla bez trvalého průtoku nebo myčka skla za jednu směnu	60 m <sup>3</sup>

Obrázek 17 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

## VII. PROVOZOVNY

provozovny místního významu, kde se vody neužívá k výrobě		na jednoho pracovníka v jedné směně za rok
44.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	18 m <sup>3</sup>
45.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda s možností sprchování	26 m <sup>3</sup>
46.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda s možností sprchování v provozovnách s nečistým provozem nebo potřebou vyšší hygieny	30 m <sup>3</sup>
holičství a kadeřnictví		
		na jednoho pracovníka v jedné směně v průměru za rok (zahrnuje i zákazníky)
47.	v pánské a dámské provozovně WC, umyvadla s tekoucí teplou vodou	50 m <sup>3</sup>
samostatné prádelny (zakázkové)		
48.	na 1 q vypraného prádla (tzv. technická voda)	1 m <sup>3</sup>
49.	na jednoho zaměstnance v jedné směně podle položek č. 44, 45 a 46	

## VIII. PRODEJNY

prodejny s čistým provozem, včetně obchodních domů, supermarketů		na jednoho pracovníka v jedné směně v průměru za rok
50.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	18 m <sup>3</sup>
prodejna ryb, drůbeže a zvěřiny		
		na jednoho pracovníka v jedné směně v průměru za rok
51.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	20 m <sup>3</sup>
52.	na 100 kg prodaných živých ryb (připočítává se k položce č. 51)	34 m <sup>3</sup>
		na 100 kg živých ryb
53.	prodej ryb v sádce na volném prostranství na 100 kg prodaných živých ryb	6 m <sup>3</sup>
potravinářské výroby místního významu (např. řeznictví, výroba uzenin, salátů, pečiva apod., WC, umyvadla)		
		na jednoho pracovníka v jedné směně v průměru za rok
54.	WC, umyvadla a tekoucí teplá voda s možností sprchování	26 m <sup>3</sup>
	Poznámka: spotřeba vody k výrobě se vypočte podle technologie výroby a vybavení prodejny.	

Obrázek 18 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]



#### IX. HOSPODÁŘSKÁ ZVÍŘATA A DRŮBEŽ

hospodářská zvířata		
		na jeden kus v průměru za rok
55.	dojnice včetně ošetřování mléka a oplachů	36 m <sup>3</sup>
56.	býk	18 m <sup>3</sup>
57.	tele, ovce, koza, vepř	6 m <sup>3</sup>
58.	prasnice	8 m <sup>3</sup>
59.	kůň	14 m <sup>3</sup>
60.	pes - chovná stanice (pouze nad 2 kusy)	1 m <sup>3</sup>
drůbež		
		na 100 kusů v průměru za rok
61.	slepice, perličky	11 m <sup>3</sup>
62.	husy, kachny, krůty	36 m <sup>3</sup>

#### X. ZAHRADY

		v průměru za rok
63.	venkovní zahrady okrasné (trávníky, květiny) nebo osázené zeleninou na 100 m <sup>2</sup>	16 m <sup>3</sup>
64.	sady osázené ovocnými stromy nebo jinak využívané na 100 m <sup>2</sup>	3 m <sup>3</sup>
65.	pro automatizované zalévání zahrad s pěstováním květin, zeleniny podle čidel na určení vlhkosti	12 m <sup>3</sup>
66.	průmyslové a skleníkové pěstování zeleniny, květin - pro jednotlivá zařízení (automatizované kropení) se určí potřeba množství podle příslušného technického návodu pro provoz využívaného objektu	

Obrázek 19 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

#### XI. MYTÍ AUTOMOBILŮ

		v průměru za rok
67.	osobní automobil užívaný pro domácnost (stříkání a umývání) - předpokládá se mytí 10 x ročně	1 m <sup>3</sup>
Poznámka: v odůvodněných případech může vlastník vodovodu nebo kanalizace, popřípadě jejich provozovatel, pokud je k tomu vlastníkem zmocněn, výše uvedená směrná čísla roční potřeby v částech I. až XI. snížit.		

Obrázek 20 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15]

### 4.3. Výpočet potřeby vody podle směrnice 9/1973

$$Q_0 = Q_B + Q_{0V} \quad (19)$$

$Q_{0V}$  – Potřeba vody pro občanskou vybavenost

$Q_B$  – Potřeba vody pro bytoví fond

[10]

#### **Potřeba vody pro občanskou vybavenost**

Pod potřebou vody pro občanskou vybavenost zahrnujeme základní a vyšší občanskou vybavenost  $q_{0V}$ . Velikost  $q_{0V}$  závisí na velikosti obce [10].

$$Q_{0V} = PO \cdot q_0 \quad (20)$$

PO – počet obyvatel

$q_{0V}$  – občanská vybavenost

[10]

#### **Potřeba vody pro bytový fond**

Do počtu obyvatel PO pro určení potřeby vody pro bytový fond se uvažují obyvatelé s trvalým bydlištěm v obci [6].

$$Q_B = PO \cdot q_B \quad (21)$$

$Q_B$  – potřeba vody pro bytový fond

PO – počet obyvatel

$q_B$  – specifická spotřeba vody na jednoho obyvatele

[10].

#### **Výpočet maximální denní potřeby vody pro obyvatelstva**

$$Q_{max,d} = Q_0 \cdot k_d \quad (22)$$

$Q_{\max, d}$  – maximální denní potřeba vody

$Q_0$  – specifická potřeba vody

$k_d$  – koeficient denní nerovnoměrnosti

[10]

Součinitel denní nerovnoměrnosti lze získat směrnice 9/1973 nebo lze využít hodnoty z ČSN 75 6101.

počet obyvatel	$k_d$
do 1 000	1,5
1 000 – 5 000	1,4
5 000 – 20 000	1,35
20 000 – 100 000	1,25
nad 100 000	1,15

Obrázek 21 součinitele  $k_d$  dle směrnice 9/1973 [13]

### **Výpočet maximální hodinové potřeby vody pro obyvatelstvo**

$$Q_{\max, h} = Q_{\max, d} * k_h \quad (23)$$

$Q_{\max, d}$  – maximální denní spotřeba vody

$k_h$  – součinitel hodinové nerovnoměrnosti,

[10]

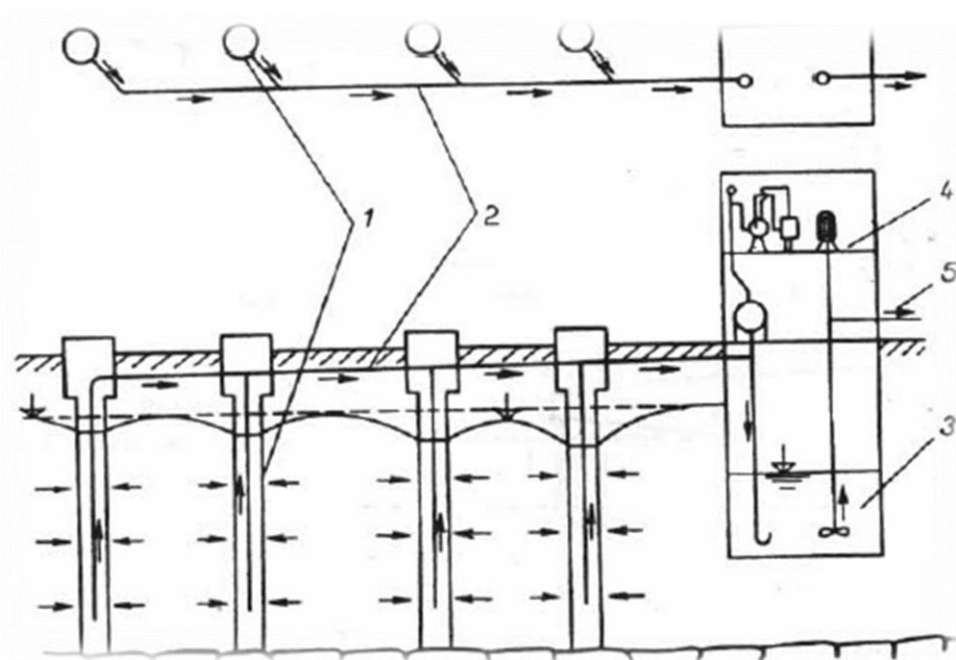
Součinitel hodinové nerovnoměrnosti je podle směrnice 9/1973 1,8, 2,1 nebo lze pro menší spotřebišť teoreticky využít hodnoty z ČSN 75 6101.

Počet připojených obyvatel <sup>1)</sup>	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 <sup>1) 2)</sup>	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								
<sup>1)</sup> Počet připojených obyvatel se uvažuje podle počtu obyvatel v příslušné sběrné ploše povodí stoky. <sup>2)</sup> 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 22 příklady součinitelů  $k_d$  z ČSN 75 6101 [16]

## 5. Doprava vody ve vodovodních systémech

### 5.1. Násoska



1 – jímací studny, 2 – sběrné – násoskové potrubí, 3 – sběrná studna, 4 – čerpací stanice, 5 – výtlak

Obrázek 23 Schéma násoskového řadu [10]

Násosky se používají hlavně u odběru vody z prameniště, které se skládá ze dvou a více studní. Pro vodárenství se používají násosky vzestupné. Násoska funguje díky rozdílu výšky hladin v jímací a sběrné studni, voda proudí pod tlakem ke sběrné studni. Násoskové potrubí se dělí na dlouhé a krátké. Krátké násoskové potrubí se ukládá ve sklonu 0,5 – 1 % a dlouhé násoskové potrubí se ukládá ve sklonu 0,1 – 0,2 % [10].

### 5.2. Čerpadla

Čerpadla se obecně dělí na hydrostatická a hydrodynamická a čerpadla jiných principů [17].

### 5.2.1. Hydrodynamická čerpadla

Hydrodynamická čerpadla slouží k dopravě kapalin, tyto čerpadla nepřímo přeměňují mechanickou energii na energii kinetickou a potencionální energii kapaliny. Tato změna probíhá nejčastěji pomocí difuzoru nebo ve spirálové skříni [17].

Hydrodynamická čerpadla se používají v čerpacích stanicích, na zahradách, v chemickém průmyslu [17].

#### **Rozdělení hydrodynamických čerpadel:**

Odstředivá – radiální

– diagonální

Axiální

Obvodová

Labyrintová

Kombinovaná

[17]

### 5.2.2. Hydrostatická čerpadla

Hydrostatická čerpadla neboli objemová čerpadla přeměňují přímo energii mechanickou energii na energii hydraulickou, hydrostatická čerpadla mají při stejných otáčkách téměř konstantní průtok [18].

Hydrostatická čerpadla se používají např. k čerpání vody ze studně [18].

#### **Dělení hydrostatických čerpadel**

Rotační čerpadla

Rotační čerpadla se dále dělí na čerpadla zubová, lamelová, vřetenová, s rotujícími písty, s odvalujícími pístem

Peristaltická čerpadla neboli hadicová čerpadla

Čerpadla s kmitavým pohybem

Čerpadla s kmitavým pohybem se dále dělí na čerpadla pístová, křídlová, plunžrová, membránová

Kombinovaná čerpadla

[18]

### 5.2.3. Čerpadla ostatních principů

Mezi tyto čerpadla patří čerpadla zdvižná, proudová, plynotlaká, mamutová, elektromagnetická [19].

### 5.2.4. Čerpadla využívaná ve vodárenství

#### **Pístová čerpadla**

Pístová čerpadla se ve vodárenství používají jako dávkovací čerpadla [20].

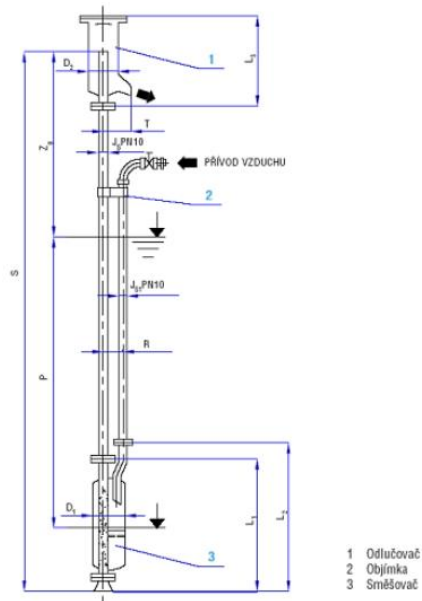
Model 53702



Obrázek 24 Pístové čerpadlo [21]

#### **Mamutky**

Mamutky se ve vodárenství používají pro čerpání vody ze studní a odčerpávání sedimentů, čerpání vody s pískem [22].



Obrázek 25 mamutkové čerpadlo [22]

**Ejektory pro hydraulickou dopravu filtračního písku**



Obrázek 26 ejektor pro hydraulickou dopravu filtračního písku [23]



## Pneumatická doprava vody se stlačeným vzduchem

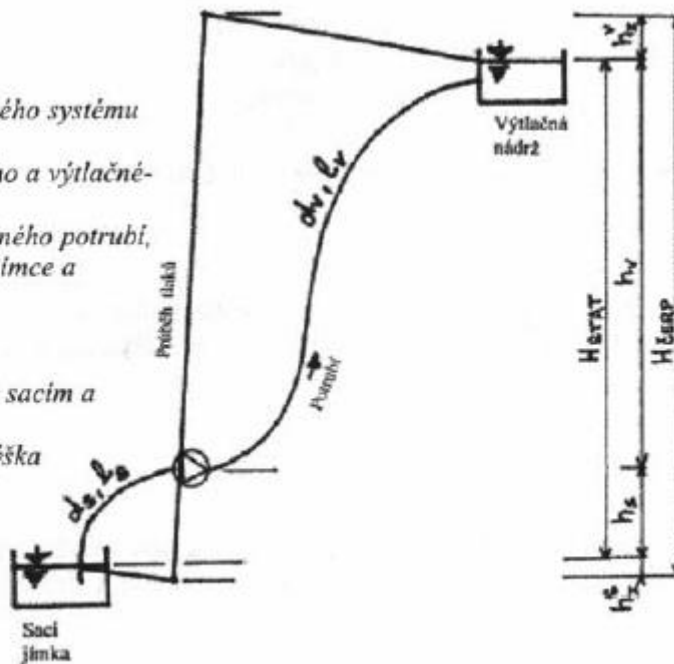


Obrázek 27 příklad přístroje pro pneumatickou dopravu vody pomocí stlačeného vzduchu [24]

### 5.2.5. Hydraulické charakteristiky vodárenského systému

Obr. 7.4. Schéma hydraulického systému potrubí – čerpadlo.

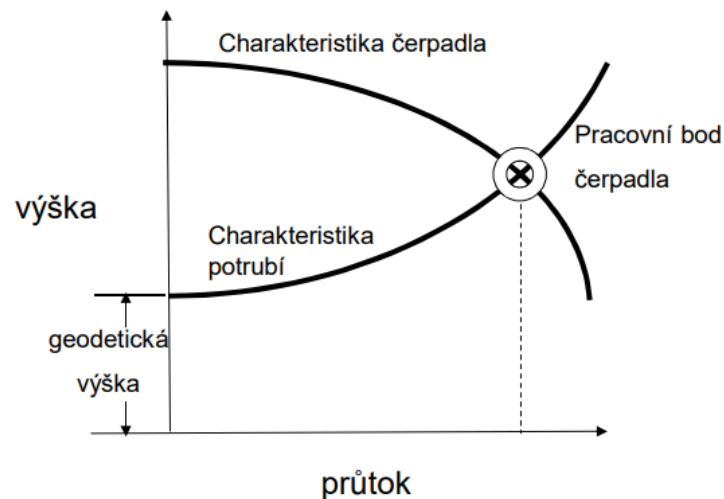
$d_s, d_v$  – vnitřní průměr sacího a výtlačného potrubí,  
 $l_s, l_v$  – délka sacího a výtlačného potrubí,  
 $H_{STAT}$  – rozdíl hladin v sací jímce a výtlačné nádrži,  
 $h_s$  – sací výška,  
 $h_v$  – výtlačná výška,  
 $h'_s, h'_v$  – hydraulické ztráty v sacím a výtlačném potrubí,  
 $H_{ČERP}$  – celková dopravní výška



Obrázek 28 Hydraulický systém čerpadla [10]

Hydraulický systém je tvořen z potrubí a čerpadla. Vlastní potrubí se dělí na sací a výtlačné. Sací potrubí začíná v sací jímce a končí v tělese čerpadla. Výtlačné potrubí začíná v tělese čerpadla a končí ve výtlačné nádrži [10].

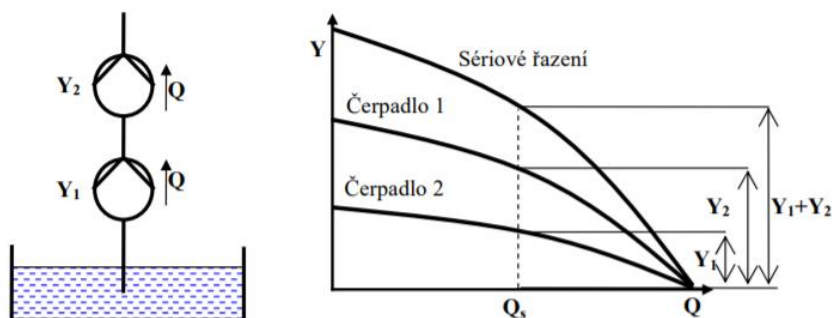
### Pracovní bod čerpadla



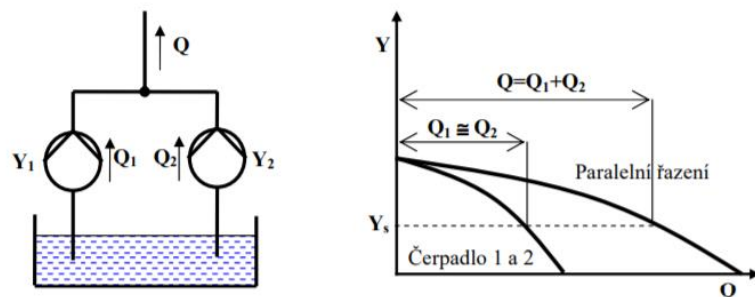
Obrázek 29 pracovní bod čerpadla [25]

Na místě, kde se protne charakteristika čerpadla a charakteristika potrubí se nachází pracovní bod čerpadla, který představuje optimální průtok a optimální výtlačnou výšku pro daný systém [10].

Ve vodárenském systému lze využít sériové nebo paralelní zapojení čerpadel. Paralelní zapojení čerpadel zajišťuje zvětšený čerpaný průtok, ale do stejné výšky. U sériového zapojení čerpadel dosáhneme čerpání stejného průtoku do větších výšek [10].



Obrázek 30 ukázka sériového zapojení čerpadel [26]



Obrázek 31 ukázka paralelního zapojení čerpadel [26]

### 5.3. Automatické tlakové stanice (ATS)

Automatické tlakové stanice mohou v některých případech nahradit vodojem. Fungují na principu stlačeného vzduchu v tlakové nádobě, který vytlačuje vodu ke spotřebiteli. Pořizovací náklady jsou menší než u vodojemů, ale provozní náklady mohou být v podstatě větší [10].



Obrázek 32 příklad automatické čerpací stanice [27]

## 6. Materiály vodovodních sítí

Návrh materiálu vodovodní sítě je důležitou součástí navrhování vodovodní sítě. Při výběru materiálu vodovodních sítí nás zajímají jeho vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou například:

- Vlastnosti zajišťující funkce trubního vedení. Mezi tyto vlastnosti řadíme hodnoty ovlivňující součinitel tření  $\lambda$  viz kapitola 3.3.1.1, mechanickou pevnost materiálu.
- Vlastnosti související s minimalizací nákladů při instalaci tak provozování.
- Vlastnosti snadného provádění a manipulace při vlastní stavbě potrubí.
- Vlastnosti garantující snadnou dopravu na místo stavby.
- Vlastnosti, které zajišťují odolnost materiálu vůči vlivům prostředí.
- Vlastnosti zajišťující celkovou spolehlivost provedení.
- Vlastnosti zajišťující ideální řízení provozu. Mezi tyto vlastnosti patří snadná zjistitelnost úniků a havárií na vodovodním řadu.
- Vlastnosti zajišťující dostatečně rychlou a nepracnou výměnu materiálu.
- Vlastnosti, které zajišťují dostatečně ekologickou a snadnou výrobu materiálu.
- Vlastnosti, které zaručují snadné odstranění, efektivní a ekologickou likvidaci.

[10]

### 6.1. Nekovové materiály

Největší výhodou nekovových materiálů vodovodních sítí je, že tyto materiály nepodléhají korozi.



Obrázek 33 příklad polyethylenového potrubí [26]

## Polyetylén

Polyetylén je nejčastěji využívaným materiálem pro stavbu vodovodních sítí [29]. Polyethylén se nevyužívá jen pro rozvody vodovodů, ale i pro kanalizace a plyny. [30]. Zásadně lze využít jen HDPE. V Praze lze využít pouze potrubí z vysoce hustotního lineárního polyethylenu PE-HD 100 nebo vyšší pevnosti [31].

## PE 100RC

Zkratka RC znamená resitence to crack. Tento materiál se používá na místech, kde jsou náročné podmínky pro uložení potrubí [32].

## PVC

PVC se používá pouze při opravách a rekonstrukcích stávajících vodovodních sítí [29].

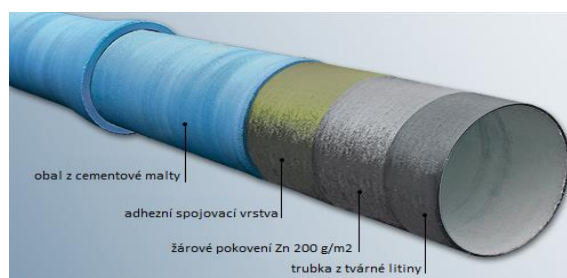
## Azbestocementové potrubí

Azbestocementové potrubí se hojně využívalo v minulé éře. V dnešní době se na našem území vyskytuje cca 3000 km azbestocementového potrubí. Když je azbestocementové potrubí ještě v dobrém mechanickém stavu tak se nepovažuje za zdravotní riziko [33].

## 6.2. Kovové materiály



Obrázek 34 příklad ocelové trouby [34]



Obrázek 35 příklad litinové trouby [35]

## Ocelové

Výhodou ocelových trub je, že jsou pevné a pružné. Ocelové trouby mohou být bezešvé nebo svařované [36]. V dnešní době se ocelové trouby používají již ojedinelé jako přeložky v rámci stavby [32]. Výhodou ocelových trub oproti litinovým je větší pevnost a odolnost proti namáhání působící na potrubí [2].

## Litinové

Pro stavbu vodovodních potrubí se používá litina tvárná (TLT) nebo šedá litina. Šedá litina se již na vodovodní potrubí nenavrhuje [32]. Litina je nejdéle používaným materiálem pro výrobu vodovodních trubek. Litinové trouby odolávají korozi lépe než trouby ocelové [2].

### 6.3. Životnost potrubí ve vodovodních sítích

Životnost vodovodního potrubí je doba, po kterou je potrubí schopno plnit svou funkci. Tato funkce záleží na materiálu, ze kterého je potrubí vyrobeno [37].

<b>Vodovody - materiál potrubí</b>	<b>udávaná životnost</b>
Ocel	40
Litina	90
tvárná litina	110
azbestocement	35
plast (PE,PVC,sklolaminát...)	60

Obrázek 36 ukázka životnosti vodovodního potrubí [37]

Stáří kovového potrubí úzce souvisí s vlivem materiálu na součinitel tření  $\lambda$ . Tento součinitel vychází z hodnoty  $\Delta$ , která přímo souvisí se stářím potrubí viz kapitola 3.3.1.1.

### 6.4. Armatury vodovodních sítí

Armatury na vodovodních sítích slouží k regulaci, přerušení průtoku, ochraně potrubí proti zvýšeným tlakům kontrolním měřením atd. [38].

## Šoupata

Šoupata slouží k regulaci a uzavírání průtoku. Dělí se dle konstrukce, mohou být například vřetenová, nožová, měkkotěsnící klínové a šoupátka pro domovní přípojky [2, 38]

## Regulační ventily

Regulační ventily slouží k regulaci průtoků ve vodovodní síti [38, 39]

## **Navrtávací pasy**

Navrtávací pasy umožní osazení odbočky [38]

## **Montážní vložky**

Díky montážním vložkám lze snadno umožnit montáž a demontáž armatur ve vodovodní síti [38].

## **Klapky**

Ve vodárenství se používá více druhů klapek. Tyto klapky jsou uzavírací, koncové a zpětné. Klapky jsou používány k zabránění zpětnému vniknutí vody [38]

## **Hydranty**

Hydranty mají ve vodárenství velký rozsah použití. Tato použití jsou zásobování obyvatelstva požární vodou, odkalování řadu, odvzdušnění řadu, proplachy, měření tlaku v síti [38].

## 6.5. Tvarovky ve vodovodní síti

Ve vodovodní síti se používá mnoho druhů tvarovek, které slouží ke změna směru, profilu trubního vedení.

- Kolena (45,90)
- Oblouky (11 ¼ ,22)
- T kus
- TT kus
- Přesuvky
- F kus
- Zátky do hrdlových trub
- Zaslepování příruby

[2]

U litinového a polyethylenového potrubí se používají litinové tvarovky. Tvarovky lze také využít na napojení přípojek [40].

## 7. Výpočty a modelování vodovodních sítí pomocí výpočtových programů

Matematické modelování a výpočty vodovodních sítí je stále častějším. Většina měst již v České republice již má model své vodovodní sítě. Rozborem hydraulických výsledků jsme schopni identifikovat slabá místa v systému a tím navrhnout efektivní opatření a změn v systému, které zlepší jeho účinnost [41]. Používané programy jsou například kypipe, watergems nebo epanet.

### 7.1. Kypipe

Kypipe byl vyvinut v USA na univerzitě Kentucky v roce 1981. Tento program může být využitý k modelování vodovodních potrubí, kanalizací, rozvody ropy, chemikálií, kontrole kvality vody, apod [42].

### 7.2. Watergems

Watergemes se používá pro modelování a výpočty vodovodních sítí. Pomocí tohoto softwaru můžeme využít k modelování kapacit průtoku protipožárních zařízení, tvorbu a správu hydraulických zařízení, analýzy spotřeby energie, detekce ztrát vody apod. [43].

### 7.3. Epanet

Epanet je software, používaný k analýze pohybu vody v distribučním systému. Epanet se používá k hydraulickému modelování, monitoringu kvality vody a zabezpečení vody [45].

V programu lze nastavit jednotky podle uživatelského výběru. Do programu lze vložit podklad obce, kde chceme modelovat vodovod, tento podklad lze upravit nastavit na skutečné rozměry. Program předpokládá, že všechny vodojemy jsou kruhové a nelze toto nastavení změnit. Výpočty ztrát lze namodelovat podle třech rovnic, v této práci je použit výpočet ztrát pomocí Darcy-Waisbachova rovnice viz kapitola 3.3.1.



Pro vytvoření modelu v Epanetu je nutné znát:

- Polohopis a výškopis vodovodních řadů
- Materiál, profil DN a drsnost potrubí jednotlivých řadů
- Polohopisné a výškopisné umístění vodojemů
- Nadmožské výšky provozních hladin ve vodojemech
- Odběry vody ve spotřebišti
- Umístění čerpacích stanic a parametry čerpadel
- Nastavení a umístění redukčních a regulačních armatur na potrubí
- Vzájemné vazby jednotlivých prvků vodovodu s ohledem řízení celého systému
- Kolísání hladin ve vodojemu

[45.49]

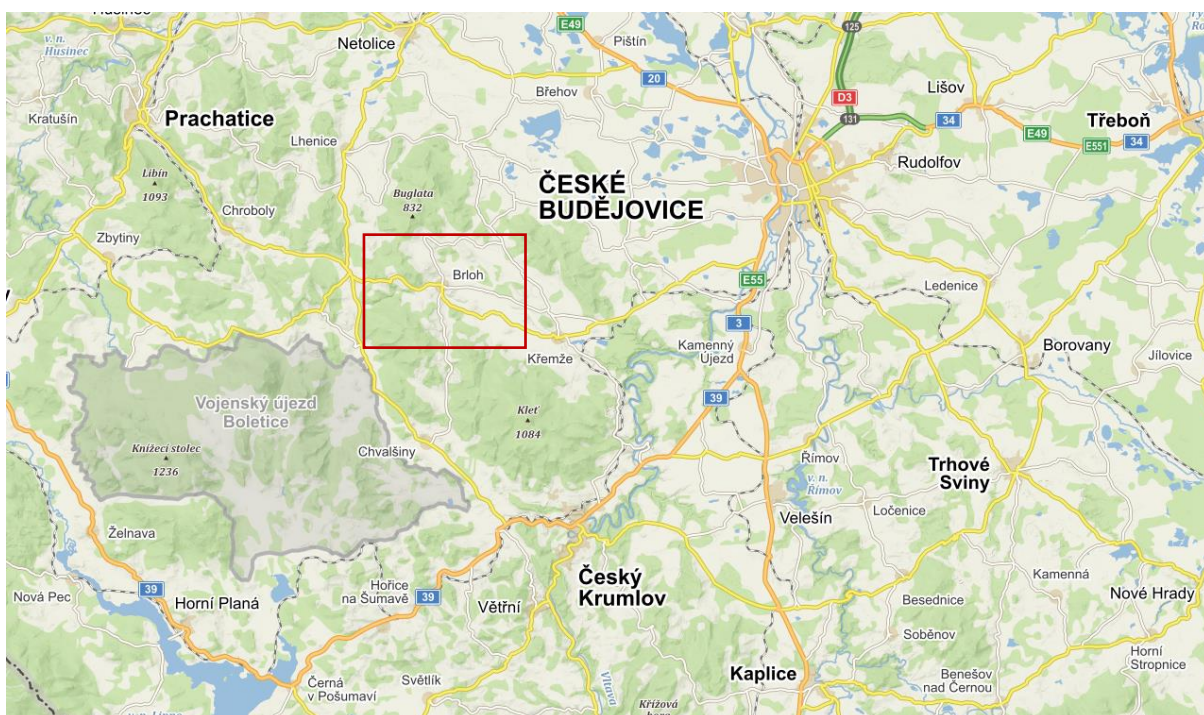
## Praktická část

Praktická část této bakalářské práce se zabývá vytvořením matematického modelu vodovodní sítě v obci Brloh v programu Epanet.

Obec Brloh se nachází na jihu Čech 20 kilometrů od Českého Krumlova a 25 kilometrů od Českých Budějovic. Jedná se o obec s rozšířenou působností s počtem obyvatel pohybujícím se mezi 700 a 800. Z podkladů byly napočítány objekty v obci a je předpokládáno, že na jeden objekt připadá 3,5 obyvatel a celkový počet obyvatel byl stanoven na 786.

Zásobování obce Brloh je prováděno ze dvou vodojemů U Křížku a U Ondřeje.

Dle informací od odběratelů se v části obce Klondajk vyskytují nedostatečné tlaky na vodovodních přípojkách. Jedním z cílů této práce bylo pomocí matematického modelu ověřit tyto skutečnosti a případně navrhnout vhodná opatření pro řešení tohoto stavu.



Obrázek 37 poloha obce Brloh [44]

## 8. Popis vodovodního systému v obci Brloh

Vodovod v obci Brloh je litinový a byl vybudován v 70. letech dvacátého století etapově. Dle podkladů jsou hlavní řady vodovodu jsou DN 100 a vedlejší jsou DN 50. Nadmožská výška v obci je 560–590 m n. m. Obec Brloh je napájena ze dvou vodojemů “U Křížku“ a “U Ondřeje”. Vodojem “U Křížku” se nachází na jihozápad od obce směrem na obec Jánské Údolí a vodojem “ a” U Ondřeje” se nachází na západ od obce Brloh směrem na obec Kuklov viz obrázek 44.

Projektová dokumentace k vodovodu nebyla nikdy vypracována.

## 9. Popis podkladů k bakalářské práci

Podklady pro bakalářskou práci mi poskytl starosta obce Brloh Martin Toman a tyto podklady obsahují odběry z obou vodojemů zásobující obec Brloh. Dalším podkladem byl výškopis z aplikace Q-Gis a zakreslený vodovod obce Brloh.

## 10. Výpočet potřeby vody

Pro první výpočet potřeby vody jsem použil hodnoty z vyhlášky 428/2001 pro bytovou potřebu vody je tato hodnota 35 m<sup>3</sup>/rok viz kapitola 4.2. Z podkladů byly napočítány objekty v obci a je předpokládáno, že na jeden objekt připadá 3,5 obyvatel z těchto dat jsme vypočítali  $Q_b$  pomocí rovnice číslo (21). Poté byla počítaná potřeba vody pro občanskou vybavenost.

Tabulka 1 Výpočet potřeby vody pro bytový fond

počet obyvatel	786	
$q_b$	95,89	l/den
$Q_b$	90443,84	l/den
$Q_o$	131258,49	l/den

Tabulka 2 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Základní škola		
počet žáků	130	
počet pracovníků	20	
potřeba vody na 1 pracovníka/žáka	5	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	3750,00	l/den

Tabulka 3 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Mateřská škola		
počet žáků	50	
počet pracovníků	4	
potřeba vody na 1 pracovníka/žáka	16	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	4320,00	l/den

Tabulka 4 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Jídelna pro mateřskou a základní školu		
počet pracovníků	6	
počet strážníků	300	
potřeba vody na 1 pracovníka a 1 strážníka za rok	8	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	6706,85	l/den

Tabulka 5 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Jednota Brloh		
počet pracovníků v jedné směně	3	
potřeba vody na 1 pracovníka v jedné směně za rok	18	m <sup>3</sup> /rok
počet směn	2	
potřeba vody celkem	295,89	l/den

Tabulka 6 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Restaurace u zemědělského družstva Brloh		
počet zaměstnanců	6	
výčep podávání studených i teplých jídel	80	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	1479,45	l/den

Tabulka 7 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Hostinec v kulturním domě		
počet zaměstnanců	4	
výčep podávání studených i teplých jídel	80	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	1041,10	l/den

Tabulka 8 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Soukromý klub u hřiště		
počet zaměstnanců	3	
výčep podávání studených i teplých jídel	80	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	821,92	l/den

Tabulka 9 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Zemědělské družstvo		
počet zaměstnanců	20	
dojnice	80	kusů
potřeba vody dojnice včetně ošetřování mléka a oplachů na jeden kus	36	m <sup>3</sup> /rok
býk	10	kusů
potřeba vody býk na jeden kus	18	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	10995,51	l/den

Tabulka 10 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Hostinec u Beneše		
počet zaměstnanců	2	
výčep podávání studených i teplých jídel	60	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	246,58	l/os./den

Tabulka 11 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Dětská ordinace		
počet pracovníků	2	
potřeba vody na jednoho pracovníka	18	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	98,63	l/os./den

Tabulka 12 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Pečovatelství dům		
počet lůžek	25	
potřeba vody na jedno lůžko	45	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	3160,11	l/os./den

Tabulka 13 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Ordinace		
počet pracovníků	2	
potřeba vody na jednoho pracovníka	18	m <sup>3</sup> /rok
potřeba vody celkem	98,63	l/os./den

Tabulka 14 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Jakešova pila		
počet pracovníků	5	
potřeba vody na jednoho pracovníka	120	l/os./směnu
počet směn	1	
potřeba vody celkem	600	l/os./směnu

Tabulka 15 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost

Firma pokorný sítě		
počet pracovníků	30	
potřeba vody na jednoho pracovníka	120	l/os./směnu
počet směn	2	
potřeba vody celkem	7200	l/os./směnu

Porovnáním spočtených hodnot s odběry z obou vodojemů tak bylo zjištěno, že výsledky odběr 35 m<sup>3</sup>/rok na obyvatele neodpovídá skutečnosti viz tabulka 16 a 17, proto bylo předpokládáno, že se v obci Brloh s vodou šetří, a navíc mnoho obyvatel odebírá vodu ještě z dalšího zdroje. Například vodu z vlastní studny na zalévání. Pro výpočet uzlových potřeb byla použita poskytnutá data ohledně odběrů vody z vodojemů, kdy potřeba vody na jednoho obyvatele činí 62,94 l/den. S touto hodnotou je ve výpočtu pokračováno dále.

Tabulka 16 odběry z vodojemů

Maximální odběry z vodojemů		
maximální. denní spotřeba U Křížku	82,13	m <sup>3</sup> /den
maximální. denní spotřeba U Ondřeje	68,14	m <sup>3</sup> /den
celková spotřeba	150,27	m <sup>3</sup> /den

Tabulka 17 vypočtená úseková potřeba

Porovnání s uzlovou potřebou		
průměr. denní spotřeba U Křížku	102,30	m <sup>3</sup> /den
průměr. denní spotřeba U Ondřeje	94,59	m <sup>3</sup> /den
celková potřeba Q <sub>max,d</sub>	196,89	m <sup>3</sup> /den

# 11. Vytvoření matematického modelu vodovodu

## 11.1. Vstupní data do modelu

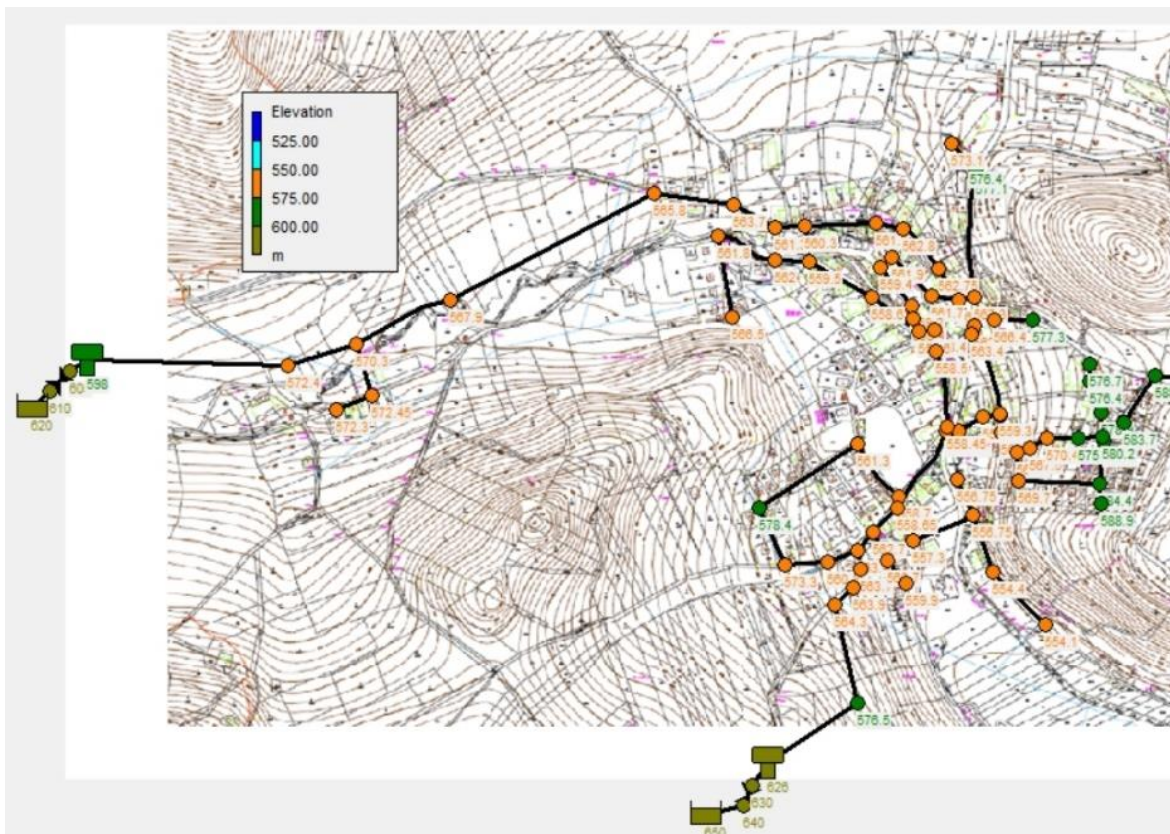
Od provozovatele vodovodního systému byly získány následující podklady a data:

- Orientační umístění vodovodních řadů ve spotřebišti
- Informace ohledně materiálu a DN jednotlivých vodovodních řadů
- Polohopis a výškové umístění provozních hladin ve vodojemech
- Data ohledně odtoků vody do spotřebišť z jednotlivých vodojemů
- Informace ohledně rozdělení vodovodní sítě z hlediska zásobení vodou z jednotlivých vodojemů
- Tlak změřený na vodovodní přípojce (U hřiště)

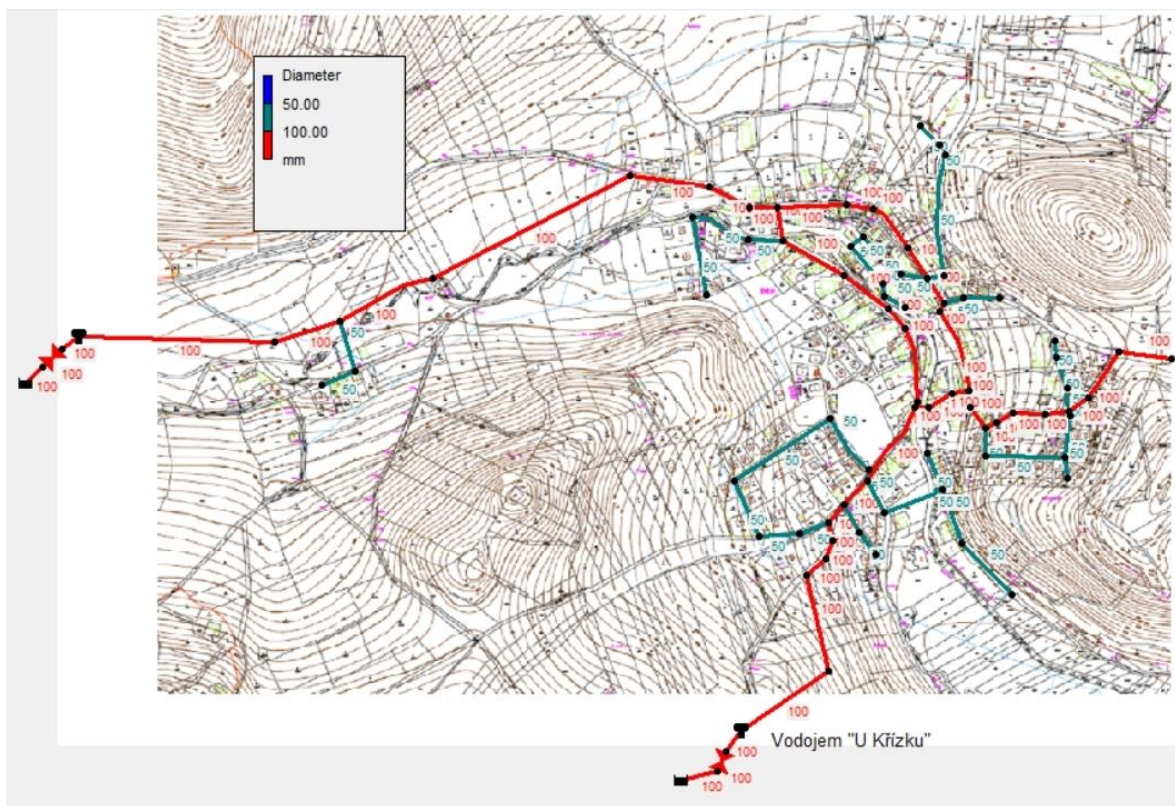
## 11.2. Postup vytvoření modelu

- Nejprve byly vytvořeny uzly s nadmořskou výškou, které byly převzaty z poskytnutých podkladů.
- Vytvořené uzly byly spojeny litinovým potrubím o DN 50 a DN 100
- Délky potrubí byly odměřeny z internetového portálu mapy.cz a ověřovány v mapových podkladech
- Absolutní drsnost potrubí byla uvažována  $\Delta=1,5\text{mm}$ .
- Mezi jednotlivé zakreslené uzly v modelu byla rozdělena  $Q_{\max, d}$
- Pro simulaci kolísání odběrů během dne byla do modelu přidána křivka hodinových nerovnoměrností v odběru na základě  $k_h = 1,8$  pomocí funkce `paterns`
- Z důvodu chybějících podkladů ohledně odběrů vody z podzemních vodních zdrojů bylo simulováno kontinuální dopouštění jednotlivých vodojemů.



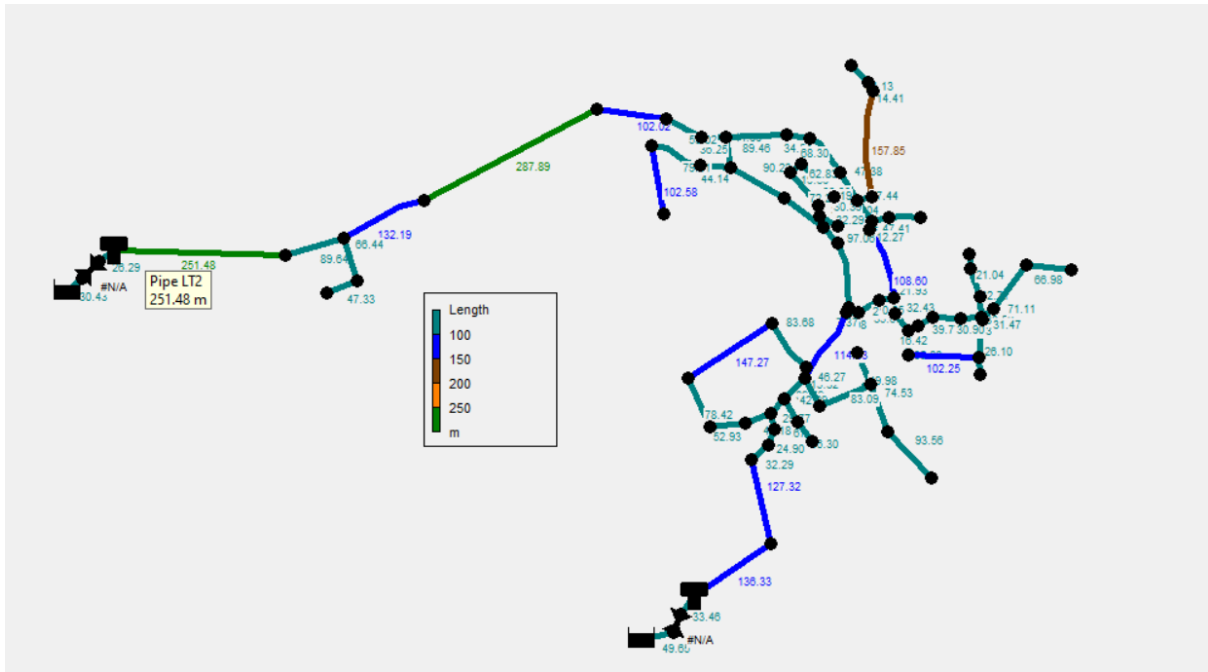


Obrázek 38 nadmořské výšky uzlů

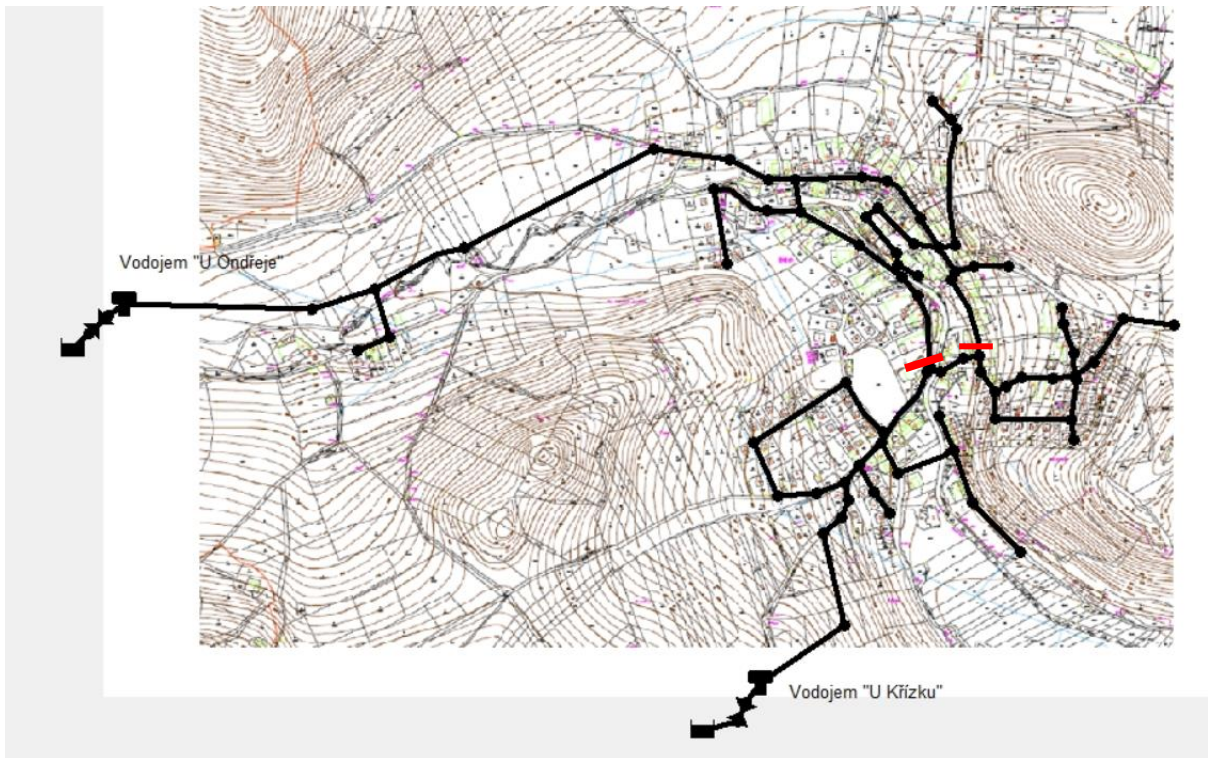


Obrázek 39 Průměry potrubí na vodovodní síti





Obrázek 40 Délky potrubí na vodovodní síti



Obrázek 41 Rozdělení vodovodní sítě z hlediska zásobování vodou z jednotlivých vodojemů

— Rozdělení vodovodní sítě z hlediska zásobování vodou z jednotlivých vodojemů

### 11.3. Uzlové potřeby

Pro zprovoznění matematického modelu je nutné do jednotlivých uzlů modelu zadat uzlové potřeby vody. Pro výpočet uzlových potřeb je nejprve nutné vypočítat úsekové potřeby vody. Úsekové potřeby byly vypočítány podle počtu přípojek a rozděleny na jednotlivé úseky. Z podkladů byly napočítány objekty v obci a je předpokládáno, že na jeden objekt připadá 3,5 obyvatel z těchto dat jsem vypočítal  $Q_b$  pomocí rovnice číslo (21). Úseková potřeba  $Q_{OÚSEK}$  byla potom spočítána sečtením  $Q_b$  a bodového odběru z objektů a maximální denní potřeba byla spočítána pomocí rovnice (22) a hodnota  $k_d$  byla uvažována jako 1,5 podle počtu obyvatel viz obrázek 23.

Poté byly úsekové potřeby rozděleny do krajních uzlů úseku a tyto hodnoty byly vloženy do matematického modelu.

#### 11.3.1. Výpočet uzlové potřeby stávající stav

Pro výpočet uzlové potřeby stávajícího stavu byla jako podklad použita mapa obce Brloh z aplikace QGIS.

Tabulka 18 úsekové potřeby stávající stav - vodojem u „Křížku“

Výpočet úsekové potřeby – vodojem „U Křížku“ $q_b=62,94$ l/s						
ÚSEK	POČET OBYVATEL	$Q_b$ (l/s)	OBJEKTY	BODOVÝ ODBĚR OBJEKTY [l/s]	$Q_{OÚSEK}$ [l/s]	$Q_{MAX,D}$ [l/s]
VODOJEM; A	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
A; B	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
B; C	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
C; D	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
D; E	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
E; F	0	0,00000	ZŠ A MŠ BRLOH, jídelna ZŠ a MŠ BRLOH	0,1710	0,17103	0,25654
F; G	3,5	0,00306	HOSPODA U BENEŠE	0,0029	0,00591	0,00887
G; H	24,5	0,02142	-----	-----	0,02142	0,03213
H; I	28	0,02448	-----	-----	0,02448	0,03672

ÚSEK	POČET OBYVATEL	Q <sub>b</sub> (l/s)	OBJEKTY	BODOVÝ ODBĚR OBJEKTY [l/s]	Q <sub>OÚSEK</sub> [l/s]	Q <sub>MAX,D</sub> [l/s]
I; J	17,5	0,01530	SOUKROMÝ KLUB MILAN U HŘIŠTĚ	0,0095	0,02481	0,03722
J; K	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
K; L	17,5	0,01530	-----	-----	0,01530	0,02295
L; N	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
N; O	35	0,03060	-----	-----	0,03060	0,04589
N; P	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
P; Q	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
E; R	21	0,01836	-----	-----	0,01836	0,02754
R; S	35	0,03060	-----	-----	0,03060	0,04589
S; T	42	0,03672	-----	-----	0,03672	0,05507
R; K	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
K; U	28	0,02448	-----	-----	0,02448	0,03672
U; V	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
V; W	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
W; X	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
X; Y	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
Y; Z	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
Z; AA	21	0,01836	-----	-----	0,01836	0,02754
AA; AB	24,5	0,02142	-----	-----	0,02142	0,03213
AB; AC	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
Z; AD	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
AD; AE	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AE; AF	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
AF; AG	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AG; AH	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AB; AH	24,5	0,02142	-----	-----	0,02142	0,03213
AG; AI	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
AI; AJ	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
AJ; AK	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
AG; AL	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
AL; AM	24,5	0,02142	-----	-----	0,02142	0,03213
AM; AN	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000

Tabulka 19 uzlové potřeby stávající stav – vodojem „u Křížku“

Uzlové potřeby	
UZEL	Q <sub>OUZEL</sub> [l/s]
A	0,00000
B	0,00000
C	0,00229
D	0,00459
E	0,13057
F	0,13271
G	0,13271
H	0,03442
I	0,03697
J	0,01861
K	0,03901
L	0,01147
N	0,02524
O	0,02295
P	0,00459
Q	0,00229
R	0,04589
S	0,05048
T	0,02754
U	0,01836
V	0,00918
W	0,01377
X	0,00459
Y	0,00229
Z	0,01836
AA	0,02983
AB	0,04130
AC	0,00918
AD	0,00229
AE	0,00459
AF	0,00459
AG	0,00688
AH	0,01606
AI	0,01147
AJ	0,01377
AK	0,00459
AL	0,02065
AM	0,01606
AN	0,00000

Tabulka 20 úsekové potřeby – stávající stav vodojem „u Ondřeje“

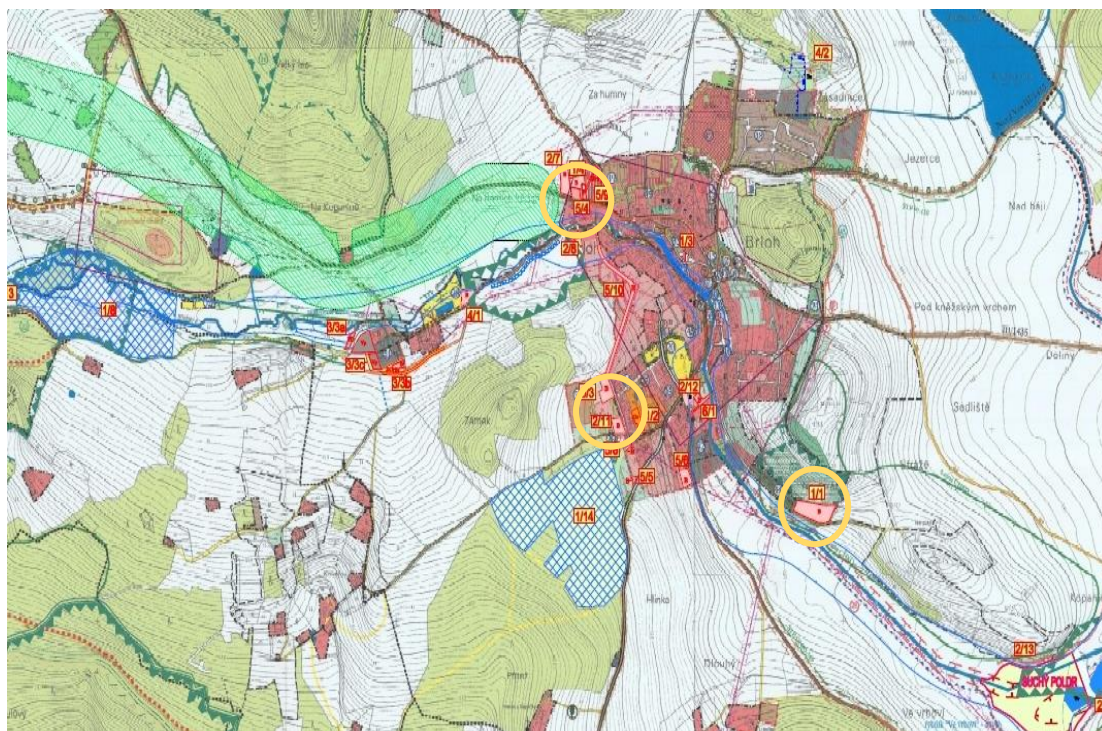
Výpočet úsekové potřeby – vodojem „U Ondřeje“ $q_b=62,94$ l/s						
ÚSEK	POČET OBYVATEL	$Q_b$ (l/s)	OBJEKTY	BODOVÝ ODBĚR OBJEKTY [l/s]	$Q_{OÚSEK}$ [l/s]	$Q_{MAX,D}$ [l/s]
VODOJEM; AAA	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AAA; AAB	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AAB; AAC	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AAC; AAD	21	0,01836	Jakešova pila	0,00694	0,02530	0,03795
AAB; AAE	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AAE; AAF	0,00	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AAF; AAG	17,50	0,01530	-----	-----	0,01530	0,02295
AAG; AAH	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
AAH; AAI	17,5	0,01530	-----	-----	0,01530	0,02295
AAI; AAJ	7,00	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
AAJ; AAK	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
AAK; AAL	58	0,05070	-----	-----	0,05070	0,07605
AAL; AAM	21	0,01836	-----	-----	0,01836	0,02754
AAI; AAN	17,5	0,01530	-----	-----	0,01530	0,02295
AAN; AAO	17,5	0,01530	-----	-----	0,01530	0,02295
AAO; AAP	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
AAP; AAQ	7,00	0,00612	Dům s pečovatelskou službou, ordinace, dětská ordinace	0,03886	0,04498	0,06747
AAQ; AAR	3,50	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
AAQ; AAZ	7,00	0,00612	Jednota Brloh	0,00342	0,00954	0,01432
AAR; AAS	3,50	0,00306	Restaurace v ZD Brloh	0,01712	0,02018	0,03027
AAS; AAT	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
AAT; AAU	0,00	0,00000	Zemědělské družstvo	0,12726	0,12726	0,19089
AAJ; AAV	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
AAV; AAW	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
AAW; AAX	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
AAX; AAY	3,5	0,00306	Pokorný sítě	0,08333	0,08639	0,12959
AAZ; ABA	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
ABA; ABB	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
AAZ; ABC	0	0,00000	-----	-----	0,00000	0,00000
ABC; ABD	28,00	0,02448	Restaurace v Kulturním domě	0,01205	0,03653	0,05479
AAQ; ABE	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
ABE; ABF	14	0,01224	-----	-----	0,01224	0,01836
ABF; ABG	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
ABG; ABH	7	0,00612	-----	-----	0,00612	0,00918
ABH; ABI	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459
ABI; ABJ	3,5	0,00306	-----	-----	0,00306	0,00459

Tabulka 21 uzlové potřeby – stávající stav vodojem u Ondřeje

Uzlové potřeby	
UZEL	Q <sub>OUZEL</sub> [l/s]
AAA	0,00000
AAB	0,00000
AAC	0,01898
AAD	0,01898
AAE	0,00000
AAF	0,01147
AAG	0,01377
AAH	0,01377
AAI	0,01606
AAJ	0,00688
AAK	0,04032
AAL	0,05179
AAM	0,01377
AAN	0,02295
AAO	0,02065
AAP	0,04291
AAQ	0,04319
AAR	0,01743
AAS	0,00716
AAT	0,09545
AAU	0,09545
AAV	0,00918
AAW	0,01377
AAX	0,07397
AAZ	0,06479
AAZ	0,00945
ABA	0,00688
ABB	0,00459
ABC	0,01224
ABD	0,00229
ABE	0,01147
ABF	0,01147
ABG	0,00688
ABH	0,00688
ABI	0,00459
ABJ	0,00229

## 11.2.2. Výpočet uzlové potřeby-výhledový stav

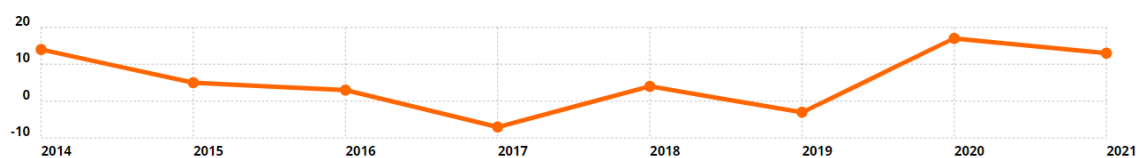
Do výpočtu výhledového stavu byl použit jako podklad pro určení počtu přípojek územní plán obce Brloh. Pro nově napojené obyvatele se uvažuje potřeba vody 35 m<sup>3</sup>/rok. Podle územního plánu lze přidat 7 nemovitostí. Tyto nemovitosti jsou na uzlech H, Q, T, AAF a AAG. S ohledem na dlouhodobý vývoj počtu obyvatel se nepředpokládá další rozvoj obce.



Obrázek 42 Územní plán obce Brloh [39]

○ Místa, kde se uvažovalo napojením nových přípojek

Do platnosti přijde zanedlouho nový územní plán, ale dle populačního růstu lze předpokládat, že se počty obyvatel nebudou nadále výrazně měnit viz obrázek 45.



Obrázek 43 vývoj počtu obyvatel v obci Brloh [46]



Tabulka 22 úsekové potřeby – výhledový stav vodojem u Křížku

Výpočet úsekové potřeby výhledový stav – vodojem „U Křížku“							
ÚSEK	POČET OBYVATEL	Q <sub>b</sub> (l/s)	Q <sub>ov</sub> (l/s)	OBJEKTY	BODOVÝ ODBĚR OBJEKTY [l/s]	Q <sub>oÚSEK</sub> [l/s]	Q <sub>MAX,D</sub> [l/s]
G; H	24,5	0,03074	0	-----		0,03074	0,04611
H; I	28	0,02448	0	-----		0,02448	0,03672
I; J	17,5	0,01530	0	SOUKROMÝ KLUB MILAN U HRÍŠTĚ	0,0095	0,02481	0,03722
J; K	0	0,00000	0	-----	-----	0,00000	0,00000
K; L	17,5	0,01530	0	-----	-----	0,01530	0,02295
L; N	0	0,00000	0	-----	-----	0,00000	0,00000
N; O	35	0,03060	0	-----	-----	0,03060	0,04589
N; P	3,5	0,00306	0	-----	-----	0,00306	0,00459
P; Q	3,5	0,00772	0	-----	-----	0,00772	0,01158
E; R	21	0,01836	0	-----	-----	0,01836	0,02754
R; S	35	0,03060	0	-----	-----	0,03060	0,04589
S; T	42	0,04138	0	-----	-----	0,04138	0,06206

Tabulka 23 uzlové potřeby – výhledový stav vodojem u Křížku

Uzlové potřeby	
UZEL	Q <sub>OUZEL</sub> [l/s]
H	0,04141
I	0,03697
J	0,01861
K	0,03901
L	0,01147
N	0,02524
O	0,02295
P	0,00809
Q	0,00579
R	0,04589
S	0,05398
T	0,03103

Tabulka 24 úsekové potřeby – výhledový stav vodojem u Ondřeje

Výpočet úsekové potřeby výhledový stav – vodojem „U Křížku“							
ÚSEK	POČET OBYVATEL	$Q_b$ (l/s)	$Q_{ov}$ (l/s)	OBJEKTY	BODOVÝ ODBĚR OBJEKTY [l/s]	$Q_{oÚSEK}$ [l/s]	$Q_{MAX,D}$ [l/s]
AAE; AAF	0,00	0,00466		-----	-----	0,00466	0,00699
AAF; AAG	17,50	0,02307		-----	-----	0,02307	0,03460

Tabulka 25 uzlové potřeby - výhledový stav vodojem u Ondřeje

Uzlové potřeby	
UZEL	$Q_{OUZEL}$ [l/s]
AAF	0,02080
AAG	0,01959

..

## 12. Nastavení výpočtu matematického modelu

Na výpočet hydraulických ztrát byla použita Darcy-Waisbachova rovnice. Výpočet byl nastaven na 24 hodin v časovém kroku jedné hodny.

Pro simulaci hodinové nerovnoměrnosti odběrů ve spotřebišti byly použity hodnoty součinitele  $k_h$  viz tabulka 32. Tyto hodnoty vycházejí z procentuálního rozdělení odběrů vody v jednotlivých hodinách v průběhu dne dle směrnice č. 9/1973, křivka hodinové nerovnoměrnosti  $k_{h1,8}$  [47].

Tabulka 26 součinitele hodinové potřeby  $k_h$

hodina	%	$k_h$
1	1	0,24
2	0,7	0,168
3	0,7	0,168
4	0,7	0,168
5	2	0,48
6	3	0,72
7	5	1,2
8	6,4	1,536
9	4,5	1,08
10	5,5	1,32
11	5,5	1,32
12	5,5	1,32
13	5	1,2
14	5	1,2
15	4	0,96
16	5	1,2
17	5	1,2
18	6	1,44
19	6,5	1,56
20	7,5	1,8
21	5	1,2
22	5	1,2
23	4	0,96
24	1,5	0,36

## 13. Výsledky matematického modelu

### 13.1. Kalibrace matematického modelu

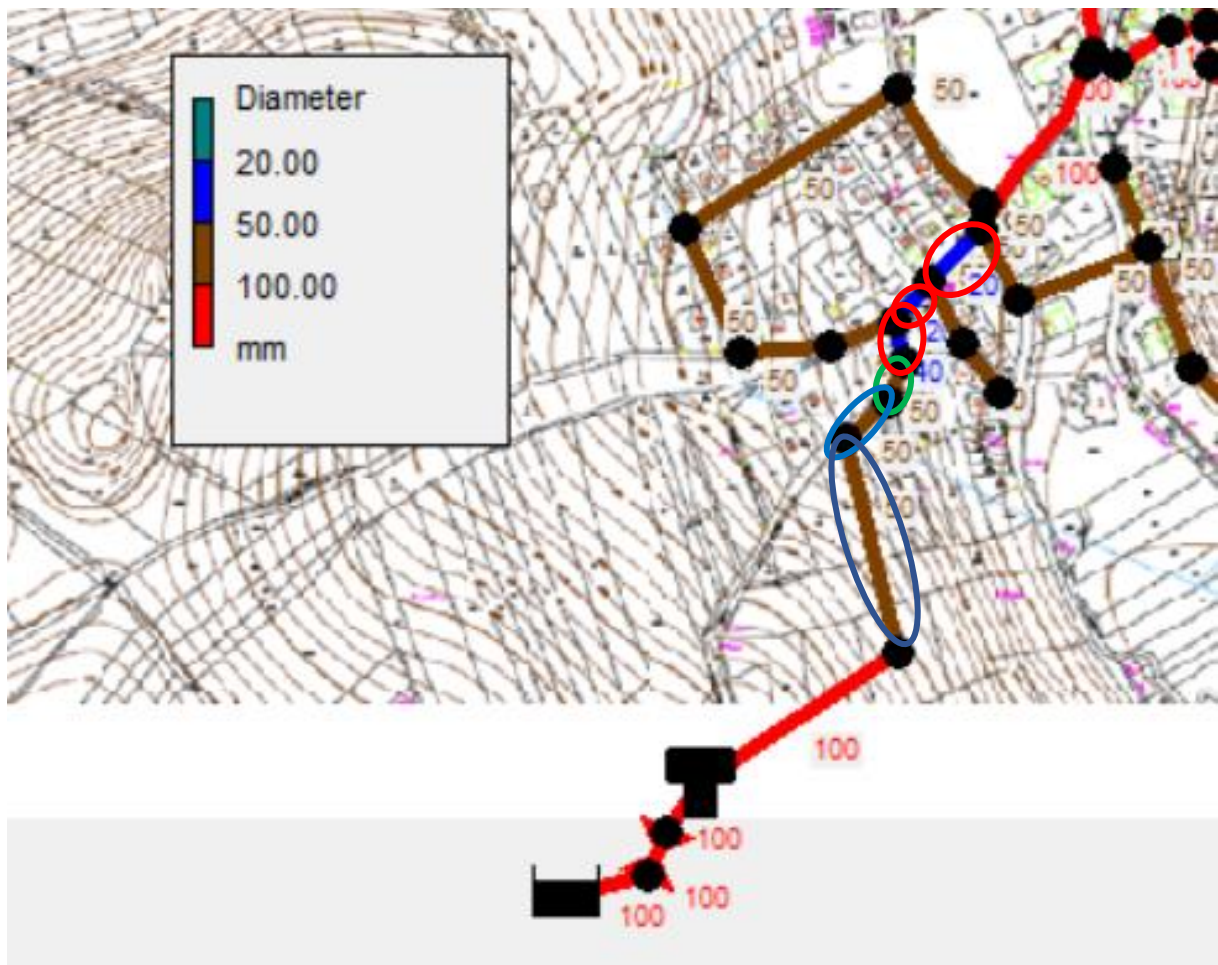
Výpočet byl proveden pro dva stavy, stávající a výhledový. Po výpočtu stávajícího stavu bylo zjištěno, že výsledky modelu neodpovídají skutečnosti. Na základě porovnání hodnoty naměřeného tlaku na přípojce „u hřiště“ (55 m v.sl.) s vypočtenou hodnotou v odpovídajícím uzlu modelu (71,6 m v.sl.) viz obrázek 44, byl zjištěn tlakový rozdíl cca 16,6 m v. sl. Z časových důvodů a nedostatku dat nebyl matematický model z hlediska drsnosti potrubí kalibrován. Rychlost proudění vody v potrubí je ale minimální viz kapitola 13, proto změna drsnosti potrubí měla na výsledném tlaku na přípojce minimální vliv. Předpokládám, že rozdíl v tlakových podmínkách je pravděpodobně způsoben přiškrcením průtoku v některých místech vodovodní sítě v důsledku přivřeného šoupěte, zaneseného potrubí nebo kombinace obou zmíněných.



Obrázek 44 Prvotní výpočet modelu

○ Místo, kde je naměřený tlak 55 m v. sl.

Pro dosažení tlakových podmínek změřených na vodovodní přípojce „u hřiště“ byly v modelu na vytipovaných místech provedeny různé zásahy na vodovodní síti (uzavření potrubí, nebo zmenšení profilu). Výsledky těchto kombinací jednotlivých zásahů jsou zobrazeny viz obr. 45. Snížení tlaku na vodovodní přípojce u hřiště bylo na modelu dosaženo zmenšením průměrů potrubí z DN 100 na DN 20 na místech označených červeně, zmenšením z DN 100 na DN 50 označeno modře a zmenšením z DN 100 na DN 40 označeno zeleně. S těmito zásahy je pak dále počítáno při posouzení stávajícího a výhledového stavu vodovodní sítě.



Obrázek 45 změny průměrů potrubí

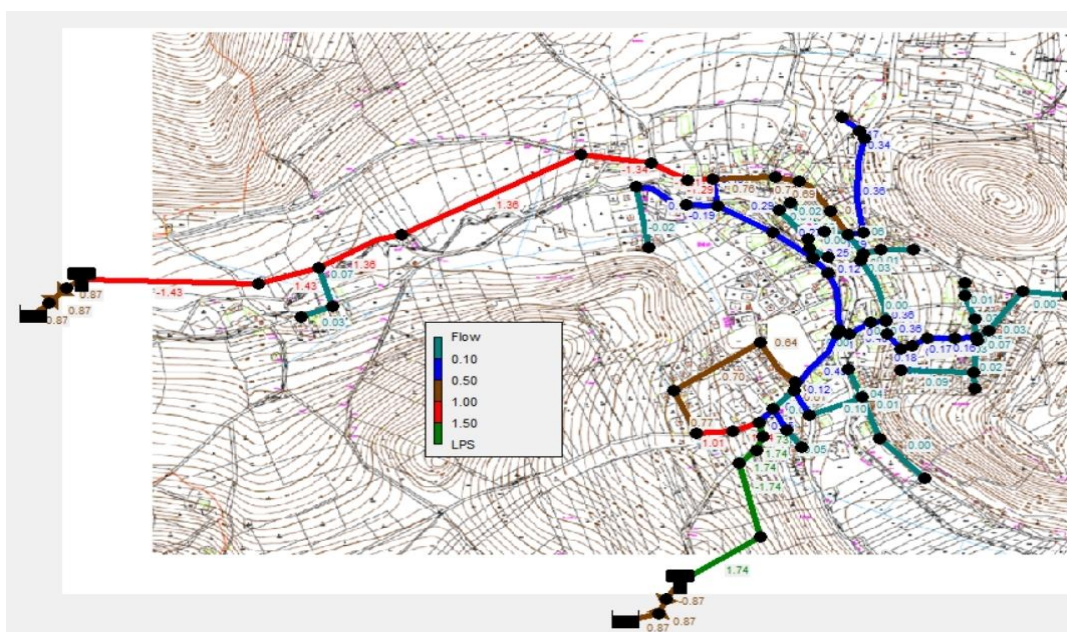


## 13.2. Výsledky pro stávající stav

Výsledky jsou zobrazeny pro čas mezi 19. a 20. hodinou, pro kterou byly modelovány maximální odběry ve spotřebišti.

### Průtoky ve vodovodní síti – stávající stav

Průtoky v jednotlivých potrubích vodovodní sítě jsou vyobrazeny na obr.49. Celkově hodnoty průtoků nepřesahují 1,74 l/s.



Obrázek 46 průtoky ve vodovodní síti – stávající stav

### Rychlosti proudění vody ve vodovodní síti – stávající stav

Rychlosti proudění vody ve vodovodní síti se pohybují v rozmezí od 0,1 do 0,89 m/s viz obrázek 50. Rychlosti 0,89 m/s se objevují jen v 19 hodině, kdy je ve spotřebišti největší odběr vody. V ostatních hodinách rychlosti proudění v jednotlivých úsecích dosahují doporučených hodnot 0,5-2,0 m/s [4] jen v úsecích, kde byl zmenšen profil potrubí. S ohledem na relativně nízké rychlosti proudění lze konstatovat, že vodovodní síť je dostatečně kapacitní.



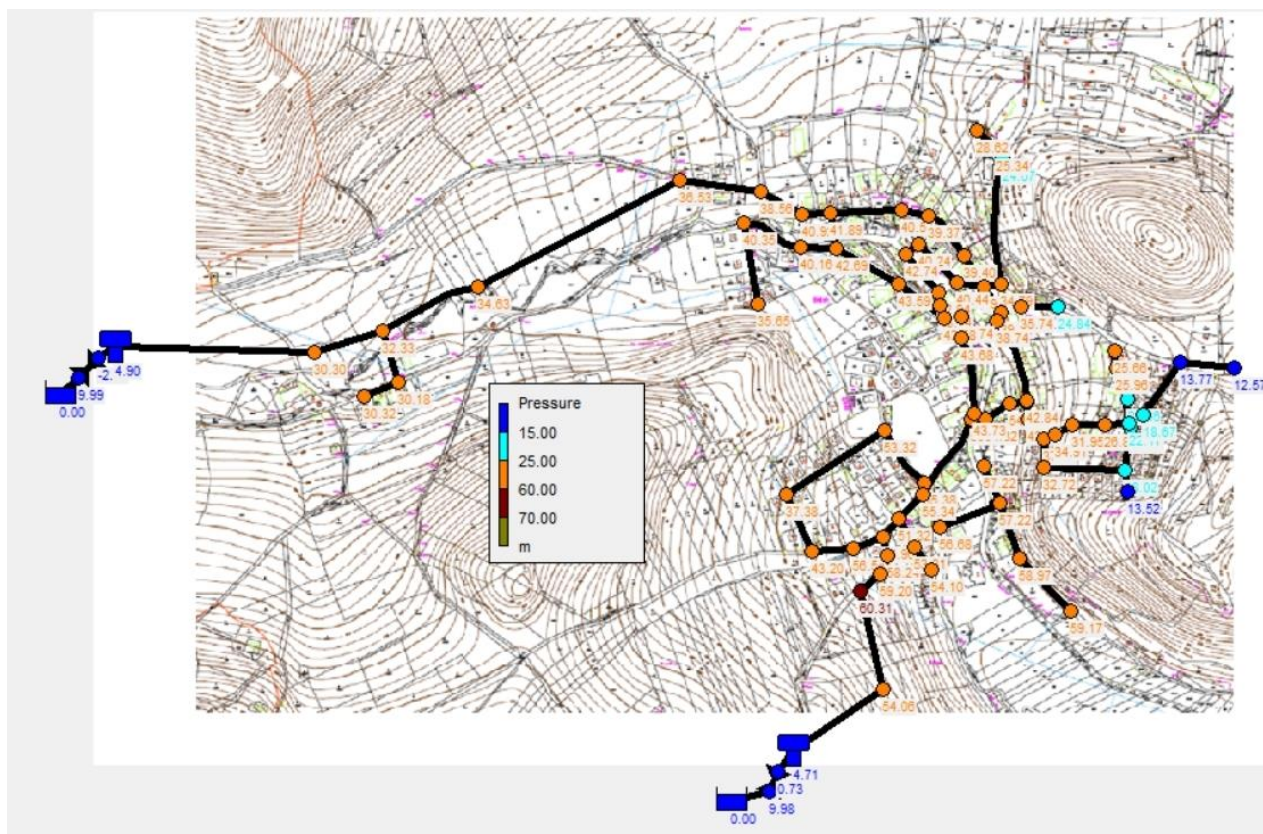
Dle výsledků jsou ve všech uzlech splněny tlakové požadavky dané vyhláškou č. 428/2001 Sb. tedy minimální tlak 15 m v sl. na vodovodních přípojkách objektů do dvou nadzemních podlaží a maximální tlak 60 m v. sl.

Tyto výsledky, ale nevypovídají o skutečnosti, která je taková, že v obecní části „Klondajk“ jsou dlouhodobé stížnosti odběratelů na nízké tlaky na vodovodních přípojkách. Data ohledně skutečně naměřených tlacích v této lokalitě bohužel nebyla k dispozici, proto nebylo možné výsledky modelu s čím porovnat. Pro ověření splnění či případného nesplnění tlakových podmínek na vodovodních přípojkách předepsaných vyhláškou č. 428/2001 Sb. je tedy nutné co nejdříve provést měření na vodovodní síti v této lokalitě.

Pro případ, že by naměřené tlaky na vodovodních přípojkách skutečně nesplňovaly vyhlášku č. 428/2001 Sb. byla dále provedena analýza možných problematických úseků na vodovodní síti. Byl vytypován úsek vyznačeným na obrázku 48, ve kterém bylo předpokládáno, že zde může být např: zanesené potrubí, přivřené šoupátko, kombinace obou předchozí zmíněných nebo jiný profil potrubí. Na modelu tak byl zmenšen profil tohoto potrubí z DN 100 na DN 20 a po této úpravě již bylo z výsledku matematického modelu patrné viz obrázek 49, že hodnoty v obecní části Klondajk mohou být nižší než 15 m v sl. Dokonce na konci modelu byly hodnoty 12,57 m v. sl. Toto, ale není problém, protože v tomto místě se nachází hřbitov a vodovod pokračuje dál na samoty blízko obce, ale tyto samoty jsou výškově o dost níže položené než samotná obec, proto zde nejsou tlakové problémy. Touto změnou stoupne rychlost vody ve vyznačeném profilu v 19. hodině na hodnotu 1,14 m/s, což dokazuje, že tento úsek je stále dostatečně kapacitní.

S touto úpravou, ale není dále počítáno ve výhledovém stavu, protože tento předpoklad nebyl ověřen.





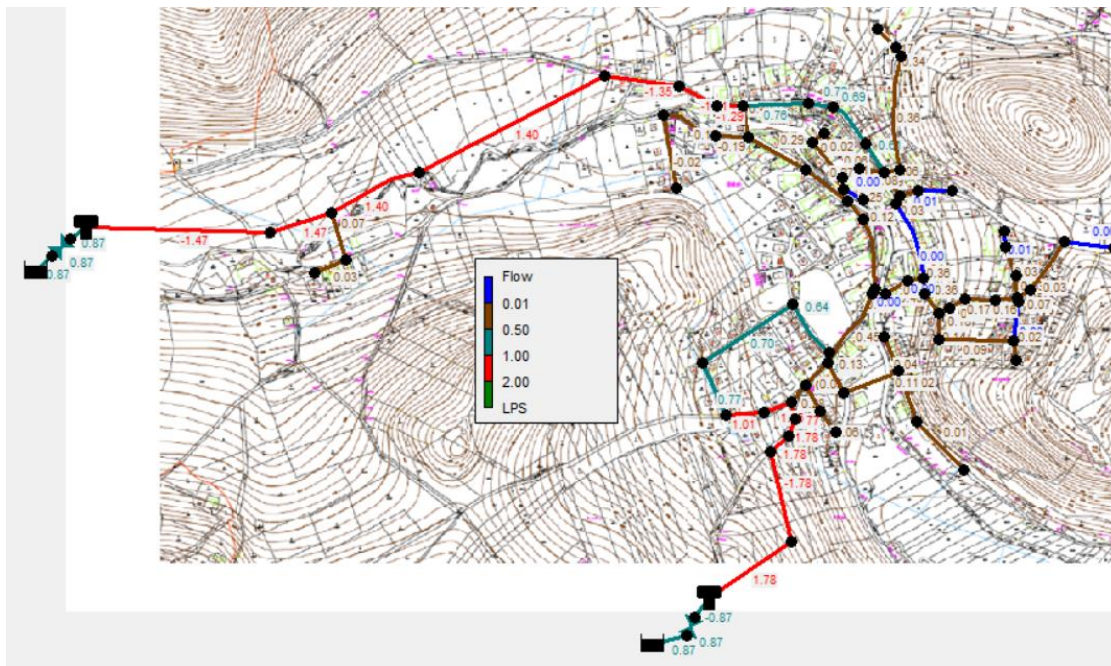
Obrázek 49 tlakové poměry ve vodovodní síti po změně vyznačeného profilu – stávající stav

### 13.3. Výsledky pro výhledový stav

Dle stávajícího územního plánu obce Brloh není mnoho stavebních parcel na rozvoj obce viz kapitola 11.2.2. Z tohoto vyplývá, že vypočtené hodnoty ve výhledovém stavu jsou podobné jako ve stávajícím stavu.

#### **Průtoky ve vodovodní síti – výhledový stav**

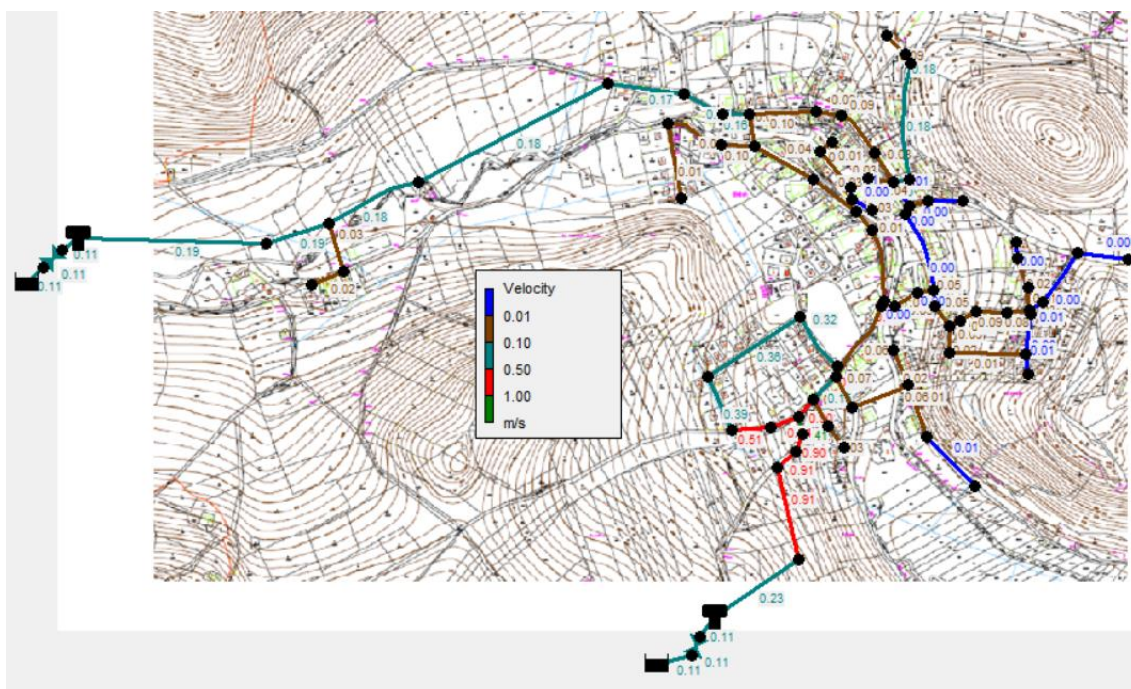
Hodnoty průtoků se oproti stávajícímu stavu příliš nezvedají. Nejvyšší spočítaný průtok je 1,78 l/s viz obrázek 53.



Obrázek 50 průtoky ve vodovodní síti – výhledový stav

### **Rychlosti proudění vody ve vodovodní síti – výhledový stav**

Rychlosti proudění vody v potrubí se ve výhledovém stavu výrazně nemění. Rychlosti na vodovodní síti se pohybují do 0,9 m/s, ale jen v 19. hodině při maximálních odběrech z vodovodní sítě. V ostatních hodinách se hodnoty rychlostí nepohybují v doporučených hodnotách 0,8 – 1,2 m/s viz obrázek 51.

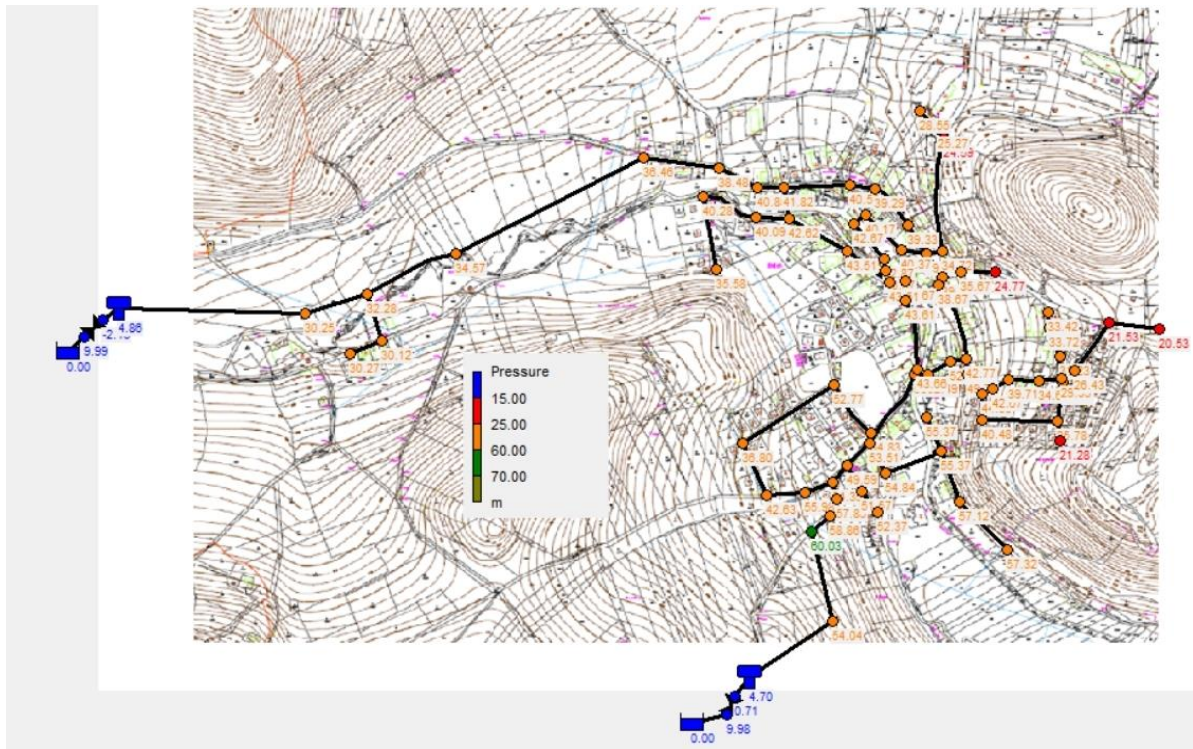


Obrázek 51 rychlosti ve vodovodní síti – výhledový stav



## Tlakové poměry ve vodovodní síti – výhledový stav

Tlakové poměry ve vodovodní síti jsou vyobrazeny na obrázku 52. Tlakové poměry se ve výhledovém stavu v obecní části „Klondajk“ se zmenší cca o 1,5 m v.sl.



Obrázek 52 tlakové poměry ve vodovodní síti – výhledový stav

## 14. Shrnutí výsledků

### Výpočet potřeby vody

Potřeba vody v obci Brloh byla nejprve vypočtena s uvažováním hodnot z vyhlášky č. 428/2001Sb. příloha č.12. Celková potřeba vody pro stávající stav vyšla  $Q_{\max d}=196,89$  m<sup>3</sup>/den (95 l/os.den). Dále byla na základě získaných dat od provozovatele vodovodní sítě vyhodnocena spotřeba vody, která činila  $Q_{\max d}=150,27$  m<sup>3</sup>/den. Z porovnání těchto hodnot vychází skutečná spotřeba vody o cca 50 m<sup>3</sup>/den nižší oproti vypočtené potřebě vody. Z výsledků je patrné, že mnoho obyvatel obce Brloh odebírá vodu ještě z dalšího vodního zdroje (vlastní studny).

Výpočet uzlových potřeb pro matematický model vodovodní sítě byl proveden na základě poskytnutých dat ohledně odběrů vody z vodojemů, kdy potřeba vody na jednoho obyvatele činí 62,94 l/den.

### Výsledky matematického modelu – stávající stav

Výsledné průtoky ve stávajícím stavu nepřekračují hodnotu 1,74 l/s viz obrázek 46.

Rychlosti na vodovodní síti v obci Brloh nepřekračují v nejméně vytížené hodině hodnoty 0,89 m/s viz obrázek 47.

Tlakové podmínky na vodovodních přípojkách v obci Brloh jsou dle výpočtu v souladu s vyhláškou č. 428 Sb., ale na základě stížnosti obyvatel v obecní části Brlohu „Klondajk“ tomu tak pravděpodobně ve skutečnosti není. Lze proto předpokládat, že některé části vodovodní sítě jsou buď zaneseny, nebo jsou zde přivřená šoupata či se zde nachází potrubí o jiném profilu. Na základě těchto předpokladů byla pomocí modelu nalezena pravděpodobná místa na vodovodní síti s problémovými úseky.

Ale tyto samotné úpravy byly nedostatečné, protože výsledné tlaky v obecní části „Klondajk“ byly stále v rozsahu 22–28 m. v. sl. a tím pádem neodpovídaly skutečnosti.

Proto byl proveden další předpoklad, že další místa ve vodovodní síti v obci Brloh jsou buďto zanesená, jsou zde přivřená šoupátka nebo kombinace obou zmíněných viz obrázek 50.

Po výpočtu matematického modelu s tímto předpokladem výsledné tlaky v 19. hodině jsou v obci vyhovující až na předem zmíněnou obecní část Klondajk, kde tlaky

dosahují hodnot menších než 15 m v. sl. Nejnižší hodnota tlaku je 12,57 m u obecního hřbitova viz obrázek 49. Tento předpoklad nebylo možné, ale ověřit, protože nebyly naměřeny konkrétní tlaky v obecní části „Klondajk“.

### **Výsledky matematického modelu – výhledový stav**

Výsledné hodnoty výhledového stavu se příliš neliší od stávajícího stavu.

Průtoky se v 19. hodině zvětšily o 0,14 l/s oproti stávajícímu stavu, ale celkově hodnoty průtoků nepřekračují 2 l/s viz obrázek 50.

Rychlosti se v průměru zvětšily o 0,02 m/s a nejvyšší rychlost potrubí v 19. hodině zůstává stejná viz obrázek 51.

Tlakové poměry ve vodovodní síti jsou ve větší části obce velmi obdobné. Výjimkou jsou tlakové hodnoty v obecní části Klondajk, kde se tlakové hodnoty liší o 1,83 m viz obrázek 52.

## 15. Závěry a doporučení

Tato bakalářská práce je svým obsahem zaměřena na problematiku hydraulického posouzení vodovodních sítí. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zaměřuje na obecnou problematiku navrhování a posuzování vodovodních sítí. Přesněji se teoretická část zaměřuje na dělení vodárenských systémů, prvky vodárenského systému, hydrauliku vodovodních sítí, problematiku výpočtu potřeby vody, materiály vodovodních sítí a tvorbu modelů vodovodních sítí.

V praktické části se bakalářská práce zaměřuje na vytvoření matematického modelu v obci Brloh v programu Epanet. Nejprve byla v praktické části provedena analýza území a poskytnutých dat a na základě těchto výsledků byl vytvořen matematický model. Výpočet byl proveden pro dva stavy, stávající a výhledový. Po výpočtu stávajícího stavu byl zjištěn nesouhlas naměřené hodnoty tlaku na přípojce u hřiště (55 m v. sl.) s vypočtenou hodnotou v odpovídajícím uzlu, která byla (71,6 m v. sl.). S ohledem na nízké rychlosti proudění vody v potrubí jednotlivých úseků vodovodní sítě (nižší než 1 m/s) a uvažovanou vysokou absolutní drsnost litinového potrubí ( $\Delta=1,5$  mm) lze předpokládat, že tyto velmi hrubé nesrovnalosti jsou pravděpodobně způsobené přiškrcením průtoku v některých místech vodovodní sítě v důsledku přivřeného šoupěte, zaneseného potrubí či menším profilem potrubí, než bylo uvedeno v poskytnutých podkladech. Pro dosažení tlakových podmínek změřených na vodovodní přípojce „u hřiště“ byly v modelu vodovodní sítě na vytipovaných místech provedeny různé zásahy (uzavření potrubí, či zmenšení profilu). Výsledky konečné kombinace jednotlivých zásahů na vodovodní síti jsou zobrazeny na obr. 45 a 48. Snížení tlaku na vodovodní přípojce u hřiště bylo na modelu dosaženo zmenšením průměrů potrubí z DN 100 na DN 20 na 4 místech, zmenšením z DN 100 na DN 50 na 2 místech a zmenšením z DN 100 na DN 40 na 1 místě.

Cílem hydraulického posouzení vodovodní sítě v obci Brloh bylo pomocí matematického modelu ověřit tlakové podmínky na vodovodní síti v obecní části „Klondajk“. V této části obce byly totiž v minulosti zaznamenány stížnosti odběratelů na nízké tlaky na vodovodních přípojkách. Výsledky matematického modelu ukázaly, že tlakové podmínky v celé vodovodní síti jsou z hlediska vyhlášky č.428/2001 Sb.

vyhovující, a to včetně zmiňované části obce „Klondajk“. Pro ověření splnění či nesplnění tlakových podmínek na vodovodních přípojkách předepsaných vyhláškou č. 428/2001 Sb. je tedy nutné co nejdříve provést měření na vodovodní síti v této lokalitě. Pro případ, že by naměřené tlaky na vodovodních přípojkách skutečně nesplňovaly vyhlášku č. 428/2001 Sb. byla měla být dále provedena analýza možných problematických úseků na vodovodní síti. Vytipován byl úsek potrubí, ve kterém bylo předpokládáno, že zde může např. být zanesené potrubí, přivřené šoupátko či jiný profil potrubí. V modelu tak byl v tomto úseku zmenšen profil tohoto potrubí z DN 100 na DN 20 a po této úpravě již bylo z výsledku matematického modelu patrné, že hodnoty v obecní části Klondajk mohou být nižší než 15 m v sl. Z časových důvodů bohužel nebyly tyto hodnoty ověřeny. V ideálním případě by bylo vhodné provést ověření tlakových podmínek na celé vodovodní síti, ale doporučuji se zaměřit alespoň na vytipované úseky v modelu označené jako problematické a na tlaky v obecní části „Klondajk“. Pro kalibraci modelu by také bylo vhodné provést hydrantové zkoušky. Změřené hodnoty poté doporučuji porovnat s vytvořeným matematickým modelem a model případně patřičně opravit.

Z výsledků matematického modelu sestaveného na základě poskytnutých podkladů je patrné, že dimenze potrubí vodovodní sítě v obci Brloh je dostatečná pro současný i pro výhledový stav a dalo by se říci, že kapacita sítě je lehce naddimenzovaná. V případě kompletní rekonstrukce vodovodní sítě bych doporučil zvážit a prověřit zmenšení některých úseků vodovodní sítě například na profil De 63.

Na základě získaných zkušeností při vypracovávání bakalářské práce mohu říct, že matematický model vodovodní sítě je dle mého názoru vhodným nástrojem pro vyhodnocení a posouzení průtokových, rychlostních a tlakových podmínek na vodovodní síti za standardních i nestandardních podmínek.

## Seznam použité literatury

- [1] VODOHOSPODÁŘSKÉ SDRUŽENÍ OBCÍ ZÁPADNÍCH ČECH: Pitná voda. Vsozc [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <http://www.vsozc.cz/cs/infrastruktura/pitna-voda.html>
- [2] TESAŘÍK, Igor. Vodárenství. Praha: SNTL, 1987.
- [3] *Docplayer* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/109944700-Prz-pozarni-represe-a-zivotni-prostredi-pitna-voda-od-zdroje-ke-spotrebiteli-zdroje-vody-schema-zasobovani-pitnou-vodou.html>
- [4] norma ČSN EN 805 75 0150. Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti. ICS 13.060; 01;23.040.01, Praha: ÚNMZ, srpen 2001.
- [5] norma ČSN 75 0150. Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství. ICS 01.040.13; 13;060.01, Praha: ÚNMZ, květen 2008
- [6] *STANDARDY PRO VEŘEJNÉ VODOVODY VAK KROMĚŘÍŽ* [online]. Červen 2018. 2018 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [https://www.vak-km.cz/wcd/dokumenty/standardy-spolecnosti-vak-km/vak\\_kromeriz\\_standardy\\_vodovod.pdf](https://www.vak-km.cz/wcd/dokumenty/standardy-spolecnosti-vak-km/vak_kromeriz_standardy_vodovod.pdf)
- [7] Petr Brandejský. Unikátní věžový dokument. In: *TZB info* [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/architektura-staveb/19880-unikatni-vezovy-vodojem>
- [8] norma ČSN 75 5401. Navrhování vodovodního potrubí ICS 13.060.20; 93.025, Praha: ÚNMZ, březen 2020
- [9] ] Stavebniskolakv. *Stavebniskolakv* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: [http://www.stavebniskolakv.cz/DUM/instalater/VY\\_32\\_INOVACE\\_06\\_VODARNY\\_I1-3.pdf](http://www.stavebniskolakv.cz/DUM/instalater/VY_32_INOVACE_06_VODARNY_I1-3.pdf)
- [10] GRÜNWARD, Alexander. Vodárenství. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902460-7- 9.
- [11] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Praha: Nakladatelství technické literatury Alfa, 1983.



- [12] *Ipotrubi* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.ipotrubi.cz/clanky/6.-hydrodynamicke-a-termodynamicke-vypocty/2.-vypocet-tlakovych-ztrat/2.-tlakova-ztrata-v-trubce.html>
- [13] Tomáš, KUČERA a Dušan KADULA. *Stanovení potřeby vody v případě malých spotřebišť* [online]. 2012, [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8156-stanoveni-potreby-vody-v-pripade-malych-spotrebist>
- [14] *Wavin* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.wavin.com/cs-cz/novinky/novinky/snizovani-zraty-vody-na-vodovodni-siti>
- [15] Vyhláška č. 428/2001 Sb.- Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), [online]. 2001 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [16] norma ČSN 75 6101. Stokové sítě a kanalizační přípojky ICS 13.060.30; 93.030, Praha: ÚNMZ, duben 201
- [17] *Druhy-cerpadel* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://druhy-cerpadel.cz/hydrodynamicka/>
- [18] *Druhy-cerpadel* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://druhy-cerpadel.cz/hydrostaticka/>
- [19] *Druhy-cerpadel* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://druhy-cerpadel.cz/ostatm9/>
- [20] Čerpadla multimediální učební pomůcka. *Druhy-cerpadel* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://katedry.osu.cz/kpv/cerpadla-jh/Jan\\_Hruska\\_MUC\\_soubory/page0004.htm](https://katedry.osu.cz/kpv/cerpadla-jh/Jan_Hruska_MUC_soubory/page0004.htm)
- [21] HYP01-2014 Hypro-SHURflo Catalog. *Druhy-cerpadel* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [http://prumyslove-trysky.cz/wp-content/uploads/2015/03/Piston\\_pumps1.pdf](http://prumyslove-trysky.cz/wp-content/uploads/2015/03/Piston_pumps1.pdf)

- [22] Automatizace.hw.cz. *Druhy-cerpadel* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-10dil-mamutkova-cerpadla>
- [23] RICHTER, Miroslav a Otakar SÖHNEL. *Průmyslové technologie III Stroje a zařízení chemického průmyslu* [online]. Ústí nad Labem, 2013 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/skripta/2e\\_final\\_tisk.pdf](http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/skripta/2e_final_tisk.pdf). Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Fakulta životního prostředí.
- [24] Sklenář: *Technologie pro manipulaci se sypkými materiály* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.sklenar-technologie.cz/cs/m-53-pneumaticka-doprava>
- [25] VÍTĚZ, Tomáš. *Mechanika tekutin: Čerpadla* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://uzpet.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uzpet/soubory-ke-stazeni/cerpadla.pdf>
- [26] BLEJCHAŘ, Tomáš a Sylva DRÁBKOVÁ. *ČERPACÍ TECHNIKA A POTRUBÍ: NÁVODY DO CVIČENÍ* [online]. OSTRAVA, 2010 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Blechar-Drabkova-CTaPNDc.pdf>
- [27] *Tamifex* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://nabidky.edb.cz/Nabídka-22249-Automaticke-tlakove-stanice>
- [28] *Helísek stavební s.r.o* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.helisek.cz/pe-trubky/pe-trubka-40x3-7-4m-rovna/>
- [29] VODOHOSPODÁŘSKÁ OBCHODNÍ SPOLEČNOST A.S. *Standardy pro vodovodní síť* [online]. 2016 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.vosjicin.cz/uploads/4/e9100ccba6e018ace6162f32fa139fce.pdf>
- [30] *Tlakové rozvody vody, plynu a kanalizace KATALOG VÝROBKŮ A TECHNICKÝ MANUÁL* [online]. [cit. 2021-03]. Dostupné z: [https://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/08/wavin\\_-katalog\\_inzenyrske-site\\_PE-potrubi.pdf](https://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/08/wavin_-katalog_inzenyrske-site_PE-potrubi.pdf)
- [31] *MĚSTSKÉ STANDARDY VODOVODŮ A KANALIZACÍ NA ÚZEMÍ HL. M. PRAHY VODÁRENSKÁ ČÁST 6.* aktualizace. 2020.

- [32] Vodovody a kanalizace a.s. Hodonínské *standardy pro vodovodní síť* [online]. 2016 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [https://www.vak-hod.cz/vak/zakaznickeCentrum/technicke/standardy\\_vodovodni.pdf](https://www.vak-hod.cz/vak/zakaznickeCentrum/technicke/standardy_vodovodni.pdf)
- [33] KOŽÍŠEK, František a Petr PUMANN. *Stanovisko NRC pro pitnou vodu k používání azbestocementových potrubí pro dopravu pitné vody* [online]. 2014, 5.2.2014 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/materialy-voda-kanalizace/4586-stanovisko-nrc-pro-pitnou-vodu-k-pouzivani-azbestocementovych-potrubu-pro-dopravu-pitne-vody>
- [34] Trubka ocelová svařovaná. In: *Vaše topení* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.vasetopeni.cz/trubka-ocelova-svarovana-5-4-42-4x3-2-tyc-6m-5080cz/>
- [35] Pam: Saint Gobain. In: *Vaše topení* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.pamlinecz.cz/cs/zmu>
- [36] *Učební text pro obor instalatér* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/170/Cover.html>
- [37] *Životnost, opotřebení* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: [http://www.vstab.cz/ftp2/provoz/PFO\\_09\\_18.pdf](http://www.vstab.cz/ftp2/provoz/PFO_09_18.pdf)
- [38] *Technoma* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.technoma.cz/vodovody/armatury>
- [39] *Corex Pardubice s.r.o* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://corex-pardubice.cy/rortiment/ventiliz-regulacni>
- [40] *Technické standardy pro vodohospodářský majetek. Svazek obcí pro vodovody a kanalizace Příbram* [online]. 2016 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: [https://www.svazekpb.cz/img/dokumenty/technicke\\_standardy/technicke\\_standard](https://www.svazekpb.cz/img/dokumenty/technicke_standardy/technicke_standard)
- [41] *VRV a.s.* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.vrv.cz/sluzby-matematicke-modelovani-uniky>
- [42] *KYPIPE* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://kypipe.com/pipe-2018-features/>

[43] *Bentley* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z:  
<https://www.bentley.com/cs/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>

[44] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/zakladni?x=14.2796744&y=48.9061825&z=11>

[45] *EPA: United States Environmental Protection Agency* [online]. USA,  
<https://www.epa.gov/water-research/epanet> [cit. 2021-4-25].

[46] *Místopisy. Místopisy* [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z:  
<https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/6472/brloh/pocet-obyvatel/>

[47] *Epravo.cz. Epravo.cz* [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z:  
<https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>

---

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Schéma gravitačního vodovodu [2].....	11
Obrázek 2 schémata výtlačných vodovodů [2].....	11
Obrázek 3 prvky vodárenského systému [3].....	13
Obrázek 4 Tabulka typických procesů úpravy povrchových a podzemních vod [10].....	16
Obrázek 5 příklad věžového vodojemu [7].....	17
Obrázek 6 Eulerovy pohybové rovnice [11].....	20
Obrázek 7 infinitezimální válec pro proudění ideální tekutiny [11].....	20
Obrázek 8 tabulka drsnosti potrubí [12].....	22
Obrázek 9 příklad hodnot místních ztrát v potrubí [2].....	25
Obrázek 10 příklad hodnot místních ztrát v potrubí [2].....	25
Obrázek 11 Vývoj ztrát vody na vodovodní síti v Ostravě.....	29
Obrázek 12 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	29
Obrázek 13 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	30
Obrázek 14 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	30
Obrázek 15 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	31
Obrázek 16 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	31
Obrázek 17 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	32
Obrázek 18 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	32
Obrázek 19 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	33
Obrázek 20 Vyhláška č. 428/2001 sb. příloha č.12 [15].....	33
Obrázek 21 součinitele kd dle směrnice 9/1973 [13].....	35

Obrázek 22 příklady součinitelů $k_d$ z ČSN 75 6101 [16].....	36
Obrázek 23 Schéma násoskového řadu [10].....	37
Obrázek 24 Pístové čerpadlo [21].....	39
Obrázek 25 mamutkové čerpadlo [22].....	40
Obrázek 26 ejektor pro hydraulickou dopravu filtračního písku [22] .....	40
Obrázek 27 příklad přístroje pro pneumatickou dopravu vody pomocí stlačeného vzduchu [24].....	41
Obrázek 28 Hydraulický systém čerpadla [10].....	41
Obrázek 29 pracovní bod čerpadla [25].....	42
Obrázek 30 ukázka sériového zapojení čerpadel [26].....	42
Obrázek 31 ukázka paralelního zapojení čerpadel [26].....	43
Obrázek 32 příklad automatické čerpací stanice [27].....	43
Obrázek 33 příklad polyethylenového potrubí [26].....	44
Obrázek 34 příklad ocelové trouby [34].....	45
Obrázek 35 příklad litinové trouby [34].....	45
Obrázek 36 ukázka životnosti vodovodního potrubí [37].....	46
Obrázek 37 poloha obce Brloh [44].....	50
Obrázek 38 nadmořské výšky uzlů v obci Brloh .....	57
Obrázek 39 průměry potrubí na vodovodní síti.....	57
Obrázek 40 délky potrubí na vodovodní síti.....	58
Obrázek 41 rozdělení vodovodní sítě z hlediska zásobování vodou z jednotlivých vodojemů.....	58
Obrázek 42 územní plán obce Brloh .....	64

Obrázek 43 vývoj počtu obyvatel obce Brloh.....	64
Obrázek 44 prvotní výpočet modelu.....	68
Obrázek 45 změny průměrů potrubí.....	69
Obrázek 46 průtoky ve vodovodní síti – stávající stav.....	70
Obrázek 47 rychlosti ve vodovodní síti – stávající stav.....	71
Obrázek 48 tlakové poměry ve vodovodní síti před změnou profilu potrubí ve vyznačeném profilu – stávající stav.....	71
Obrázek 49 tlakové poměry ve vodovodní síti po změně vyznačeného profilu - stávající stav.....	73
Obrázek 50 průtoky ve vodovodní síti – výhledový stav .....	74
Obrázek 51 rychlosti ve vodovodní síti – výhledový stav .....	74
Obrázek 52 tlakové poměry ve vodovodní síti stávající stav .....	75

## Seznam tabulek

Tabulka 1 výpočet potřeby vody pro bytový fond.....	51
Tabulka 2 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	52
Tabulka 3 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	52
Tabulka 4 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	52
Tabulka 5 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	52
Tabulka 6 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	53
Tabulka 7 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	53
Tabulka 8 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	53
Tabulka 9 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	53
Tabulka 10 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	54
Tabulka 11 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	54
Tabulka 12 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	54
Tabulka 13 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	54
Tabulka 14 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	54
Tabulka 15 výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost.....	55
Tabulka 16 odběry z vodojemů.....	55
Tabulka 17 vypočtená úseková potřeba.....	55
Tabulka 18 úsekové potřeby – stávající stav vodojem u „Křížku“ .....	59
Tabulka 19 uzlové potřeby stávající stav – vodojem „u Křížku“ .....	61
Tabulka 20 úsekové potřeby stávající stav vodojem „u Ondřeje“ .....	62
Tabulka 21 uzlové potřeby stávající stav – vodojem „u Ondřeje“ .....	63
Tabulka 22 úsekové potřeby – výhledový stav vodojem „u Křížku“ .....	65



Tabulka 23 uzlové potřeby výhledový stav vodojem „u Křížku“ .....	65
Tabulka 24 úsekové potřeby - výhledový stav vodojem „u Ondřeje“ .....	66
Tabulka 25 uzlové potřeby – výhledový stav vodojem u Ondřeje.....	66
Tabulka 26 součinitele hodinové potřeby $k_h$ .....	67