

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



**Návrh systému zásobování pitnou vodou  
ve vybrané obci**

**Design of drinking water supply system in selected  
municipality**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Adam Šimůnek**

Studijní program: **Stavební inženýrství**

Studijní obor: **Vodní hospodářství a vodní stavby**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Filip Horký, Ph.D.**

**Praha 2021**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šimůnek Jméno: Adam Osobní číslo: 477489  
Zadávací 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: Návrh systému zásobování pitnou vodou ve vybrané obci

Název bakalářské práce anglicky: Design of drinking water supply system in selected municipality

Pokyny pro vypracování:


Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Variantní návrh systému zásobování pitnou vodou. 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 5301, ČSN 75 5355

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

Datum zadání bakalářské práce: 17.02.2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16.05.2021  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

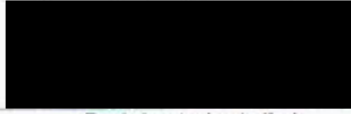
  
Podpis vedoucího práce

  
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“.*

17.2.2021  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 11. 5. 2021

.....

Adam Šimůnek

## **Poděkování**

Mé hlavní poděkování patří Ing. Filipovi Horkému, Ph.D. za odborný dohled a velmi vstřícné vedení předkládané bakalářské práce. Dále děkuji svým kolegům v zaměstnání za jejich praktické rady a postřehy, které mi řešení dané problematiky zjednodušily. V neposlední řadě bych chtěl velmi poděkovat své rodině za obrovskou podporu po celou dobu trvání mého dosavadního studia, jmenovitě mé mamince, která mi mimo jiné pomáhala s korekturou předkládané práce

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je strukturována do dvou hlavních částí, tj. teoretické a praktické části. Část teoretická má za cíl přiblížení vodárenské problematiky formou literární rešerše. Konkrétně se věnuje obecnému významu vody jakožto suroviny, historickému vývoji vodárenství či popisuje vodárenské soustavy a jejich jednotlivé technické objekty. Dalšími, v teoretické části řešenými, tématy jsou základní hydraulika proudění v potrubí nebo princip výpočtu potřeby vody. Závěr je věnován teorii matematického modelování ve vodárenství.

Tématem teoretické části předkládané bakalářské práce je návrh variantních řešení zásobení vybrané lokality, konkrétně tedy obce Borovničky nacházející se v okrese Trutnov, pitnou vodou na úrovni studie proveditelnosti, včetně následného hydraulického posouzení vhodných variant pomocí matematického modelu. Uvažovalo se celkem 6 variant, z nichž 3 byly na základě prvotního přezkoumání zavrženy a zbylé tři detailněji zpracovány. Po závěrečném shrnutí a vzájemném porovnání zpracovaných variant se jako nejvhodnější řešení jeví varianta č. 1, která zásobení obce Borovnička pitnou vodou řeší návrhem nových podzemních jímacích vrtů v katastru obce.

**Klíčová slova:** zásobení pitnou vodou, matematické modelování, variantní řešení, distribuční síť, vodárenství

## **Abstract**

The presented bachelor thesis is composed of a theoretical part and practical part. The aim of the theoretical part is to present the overview of theoretical findings about drinking water supply. Concretely, it analyses the history of drinking water supply, introduces types of drinking water supply systems and describes basic hydraulic principles of the flow in a pipe.

The purpose of the practical part is to design a variant solution of drinking water supply in a selected small municipality called Borovnička, including hydraulic verification made by a mathematical model. In total, 6 options have been considered and 3 of them have been chosen to be designed. According to current aspects, the best solution to supply Borovnička municipality with drinking water seems to be a local water source, which would be build up in the Borovnička cadaster.

**Keywords:** drinking water supply, mathematical model, variant solution, distribution net, waterworks engineering

# Obsah

Úvod .....	8
Cíle práce .....	9
A. Teoretická část .....	10
1. Historie vodárenství v ČR .....	10
1.1. Praha.....	10
2. Vodárenské soustavy .....	11
2.1. Územní působnost vodárenských soustav .....	11
2.2. Výškové uspořádání vodárenské soustavy .....	12
2.3. Vodárenské prvky.....	14
2.3.1. Zdroj vody.....	14
2.3.1.1. Podzemní zdroje .....	15
2.3.1.2. Povrchové zdroje.....	16
2.3.1.3. Ochranná pásma.....	16
2.3.2. Doprava vody .....	17
2.3.2.1. Čerpací stanice .....	17
2.3.2.2. Automatická tlaková stanice.....	18
2.3.3. Úprava vody .....	19
2.3.3.1. Principy návrhu úpravny vody .....	19
2.3.3.2. Způsoby úpravy vody .....	20
2.3.4. Akumulace.....	21
2.3.4.1. Vodojemy .....	21
2.3.4.1.1. Funkce vodojemů.....	22
2.3.4.1.2. Typy vodojemů.....	25
2.3.5. Rozvod vody.....	25
2.3.5.1. Tvar rozvodné sítě.....	26
2.3.5.2. Zásady trasování.....	27
2.3.5.3. Trubní materiály .....	28
3. Navrhování trubních systémů .....	30
3.1. Rovnice kontinuity .....	30
3.2. Bernoulliho rovnice.....	31
3.3. Hydraulické ztráty při proudění v potrubí.....	32
3.4. Hydraulika čerpadel.....	35
3.5. Výpočet potřeby vody.....	37
3.6. Rozdělení odběrů .....	39

4.	Základní teorie matematického modelování ve vodárenství .....	42
4.1.	Matematický model .....	42
4.2.	Matematické modelování vodárenských systémů .....	43
4.3.	Software pro matematické modelování ve vodárenství .....	44
4.3.1.	Epanet 2.0 .....	44
4.3.2.	InfoWater .....	44
B.	Praktická část .....	45
1.	Výchozí podklady.....	45
1.1.	Popis řešeného území.....	45
1.2.	Současný stav zásobení obce pitnou vodou .....	46
1.3.	Územní plánování v zájmovém území.....	48
2.	Stanovení potřeby vody .....	48
3.	Uvažované varianty řešení vodovodního systému v obci .....	52
3.1.	Návrh rozváděcích řadů .....	54
3.2.	Návrh vodojemu .....	55
3.3.	Varianta 1 – vybudování lokálního zdroje vody .....	61
3.4.	Varianta 3 – napojení na vodovod v obci Borovnice .....	63
3.5.	Varianta 4 – napojení na skupinový vodovod Hostinné přímým přivaděčem 66	
4.	Orientační investiční náklady .....	67
5.	Porovnání navrhovaných variant řešení .....	72
6.	Matematické modelování .....	72
6.1.	Model varianty č. 1 .....	73
6.2.	Model varianty č. 3b .....	76
	Závěr .....	79
	Použité zdroje .....	80
	Seznam obrázků.....	83
	Seznam tabulek.....	85
	Seznam Příloh .....	86

## Úvod

Na planetě Zemi je voda nejrozšířenější látkou. Nejen, že dostupnost vody je sama o sobě nutnou podmínkou pro existenci života, ale zároveň představuje významný společenskovědní faktor. S civilizačním a ekonomickým rozvojem rostou ruku v ruce také požadavky na množství a kvalitu dodávané vody. [2]

Důvodem požadavku na větší množství dodávané vody je především rychle se zvětšující počet obyvatel. [2] Dalším závažným problémem se zdá být rostoucí sucho a to nejen u nás, ale i v globálním měřítku. Některé predikce v tomto ohledu nejsou optimistické. Například Výbor pro zpravodajské služby USA (anglická zkratka NIC) vydal v roce 2012 souhrnnou zprávu, dle které je svět na pokraji vodní krize. Zpráva předpokládá, že postupem času bude suchem zasaženo až 60 % zemského povrchu a zbylé regiony postihne sucho nepřímo. Ať už po ekonomické stránce, či v horším případě válečným konfliktem způsobeným nedostatkem vody. [3] Jako druhý příklad může posloužit studie vydaná v roce 2015, na které spolupracovala University of California v Irvine společně s NASA. Přichází se závěrem, podle kterého již tou dobou, tedy v roce 2015, byla třetina největších podzemních sladkovodních zdrojů vody na planetě postihnuta nedostatečnými stavy zásoby vody. Na vině jsou dle studie častější období sucha a nedostatečné srážkové úhrny. [4] V neposlední řadě také roste znečištění vodních zdrojů. [2]

Při řešení výše zmíněných problémů nesporně hraje důležitou roli vyspělé vodárenství. Zaprvé nové technologie v úpravě vody, díky kterým je možné uvažovat nové zdroje vody. Jako příklad lze uvést technologii reverzní osmózy, pomocí které stát Izrael odsoluje mořskou vodu. V současné době více jak 30 % vody, dodávané do vodovodních sítí Izraele, je původem mořská voda a výhled pro rok 2050 počítá s 60 % podílem. [5] Na našem území je samozřejmě technologie odsolování vody bezpředmětná, reverzní osmózou však lze využít i v úpravě jiných vod, než těch mořských. Dalším účinným vodárenským nástrojem proti suchu je propojování vodárenských soustav, díky kterému by došlo k zajištění vody v suchem postižených regionech. [6] V neposlední řadě je nutné zmínit nové prostředky ve vodárenství, které napomáhají optimalizovat návrhy a provoz vodárenských soustav. Konkrétně se jedná o nástroje na bázi GIS či matematické modelování. [2]



## **Cíle práce**

Hlavním cílem teoretické části předkládané bakalářské práce je seznámení čtenáře s problematikou zásobení větších i menších územních celků pitnou vodou sestavením rešerše na toto téma. Praktická část práce navazuje na část teoretickou a její hlavní cíl spočívá v aplikaci poznatků uvedených v rešerši u konkrétního příkladu. Tím se rozumí návrh variantního řešení zásobení vybrané malé obce pitnou vodou se zpracováním na úrovni studie proveditelnosti. Provedena bude analýza zájmového území na základě dostupných podkladů, následně předloženy možné varianty řešení dané problematiky, které budou posléze vyhodnoceny a porovnány mezi sebou. Technická správnost nejvhodnější varianty bude ověřena prostřednictvím matematického modelu vytvořeného v softwaru InfoWater.

## **A. Teoretická část**

### **1. Historie vodárenství v ČR**

Jak bylo řečeno v úvodu, vznik a vývoj civilizace byl vždy podmíněn dostatkem vody a není tomu jinak ani v případě historického území České republiky. Historie zásobování vodou tedy jde ruku v ruce s historií osidlování našeho území. První zdroje představovaly především studny či jímky na povrchovou, ale i dešťovou vodu. Z počátku byla voda od zdroje do místa spotřebiště přenášena, již od 12. století se však vynalezl efektivnější způsob dopravy a od této doby lze pozorovat první přivaděče vody na našem území. Šlo o samospádová díla, konkrétně otevřená koryta či vodovodní řady z historických materiálů. Počátek zásobování vodou veřejným vodovodem je datován k polovině 14. století, konkrétně šlo o vodovod na území Nového Města pražského. Dřevěné potrubí uložené v zemi přivádělo vodu jímanou z pramenů nad kostelem sv. Štěpána do kašen nacházejících se v místech současného Karlova a Václavského náměstí. [7, 8]

#### **1.1. Praha**

Velký rozmach vodárenství v českých zemích nastal v období renesance. Větší nároky kladené na hygienu měly za následek zvyšující se spotřebu vody. Tato skutečnost podmínila rozvoj techniky a došlo k výraznému rozvoji celého vodárenského odvětví, a to především v hlavním městě Praze. Hlavním zdrojem vody se stala řeka Vltava a vznikly čtyři, na svou dobu velmi moderní, vodárny, které zásobovaly jednotlivé části města a na dalších 300 let se staraly o jeho životaschopnost. Nebylo výjimkou, že stavby z přelomu 16. a 17. století sloužily až do poloviny 19. století. [7, 8]

19. století bylo pro Prahu v kontextu zásobování vodou spíše obdobím stagnace. Zastaralý větvový systém s chatrnými dřevěnými vodovodními řady v kombinaci se zhoršující se kvalitou vody ve Vltavě měl neblahý vliv na hygienu obyvatel města. Bylo tedy nutné hledat nové zdroje vody a postupně rekonstruovat vodovodní síť. Postupně pak během 20. století byly nové zdroje vody na síť napojeny. Nejprve v roce 1914 byla

do sítě puštěna voda z oblasti Káraného a poté se v roce 1929 dokončily Podolské vodárny. Začal být také kladen důraz na upravování vody. Z toho důvodu se v období 50. a 60. let Podolské vodárny doplnily o chemickou úpravu vody. Poslední větší změnou, ale zato velmi podstatnou, byla výstavba moderní vodárny, která byla dokončena v roce 1972. Vodárna se stará o úpravu vody z řeky Želivky a zavedením této vody do pražského vodovodu došlo k zásadní změně distribučního systému. [8] V současné době se Česká republika stále může chlubit vyspělým vodárenstvím, které ve světovém měřítku nezaostává a v mnohém dokáže i přispívat. [2]

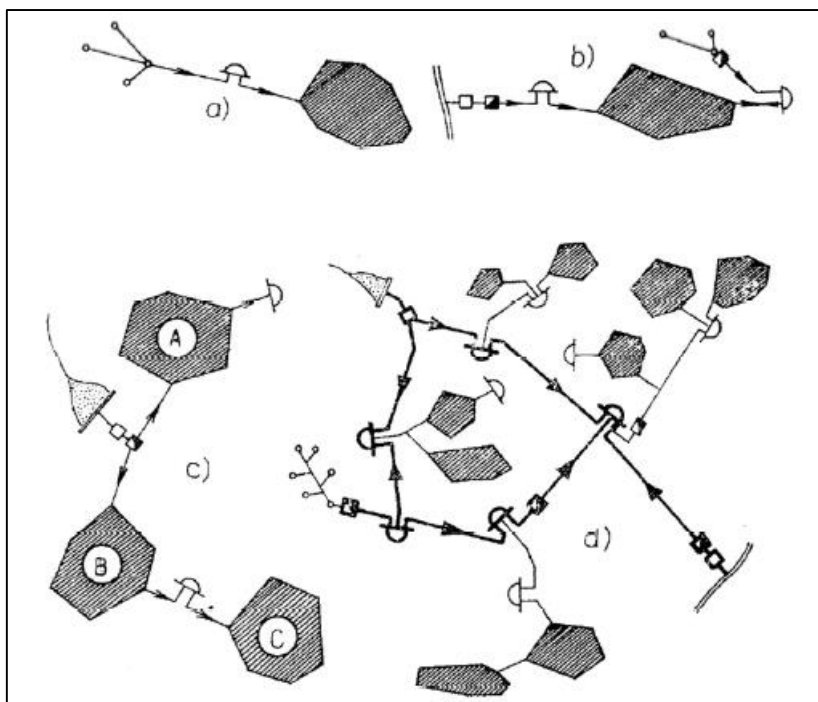
## **2. Vodárenské soustavy**

Za vodárenskou soustavu, případně systém zásobování vodou, lze označit více či méně rozsáhlý soubor prvků, jež má za cíl zásobovat obyvatelstvo, průmysl a zemědělství vodou. Prvky vodárenské soustavy lze vnímat jako podřazené subsystémy, mezi kterými fungují různé vazby. Konkrétně se jedná o subsystémy pro jímání a úpravu vody, akumulaci či dopravu a rozvod vody. Celou vodárenskou soustavu pak lze vnímat také jako subsystém systému nadřazeného, tj. vodohospodářské soustavy. [1]

### **2.1. Územní působnost vodárenských soustav**

Nejběžnější základní dělení vodárenských soustav je, viz. Obr. 1, podle územní působnosti. Historicky nejstarší jsou tzv. místní vodovody, které se staraly o zásobování výlučně jedné obce či města. Jejich výhodou je zpravidla technologicky jednoduché řešení, kdy je z nedalekého zdroje voda přiváděna do spotřebiště. S rostoucí specifickou potřebou vody však přestaly místní vodovody kapacitně stačit a bylo zapotřebí navrhovat složitější řešení. Nejprve se jednalo o místní vodovod s více zdroji vody a později začaly vznikat také skupinové vodovody. Ty sdružovaly dohromady několik sousedních obcí a přitom využívaly jeden či více společných zdrojů. Tendence rozšiřování územní působnosti pokračovala a po druhé světové válce přišly tzv. oblastní vodovody. Výhodou takového plošného zásobování je především zajištění dodávky vody do regionů bez místního zdroje vody. Dále také umožňuje racionálnější hospodaření s vodou v období jejího nedostatku a nabízí také vyšší provozní spolehlivost. Na základě těchto aspektů i v současné době pokračuje trend propojování soustav do větších územních celků, a to i přes větší investiční

náročnost. Je však nutné propojování zvážit na základě technicko-ekonomického rozboru. Paralelně ke skupinovým a oblastním vodovodům však stále, a to v oprávněných případech, existují i vznikají ryze místní systémy. [1, 2]



Obr. 1: Územní působnost vodárenských soustav [1]

Legenda Obr. 1:

- a) Místní vodovod s jedním zdrojem vody
- b) Místní vodovod s více zdroji vody
- c) Skupinový vodovod
- d) Oblastní vodovod

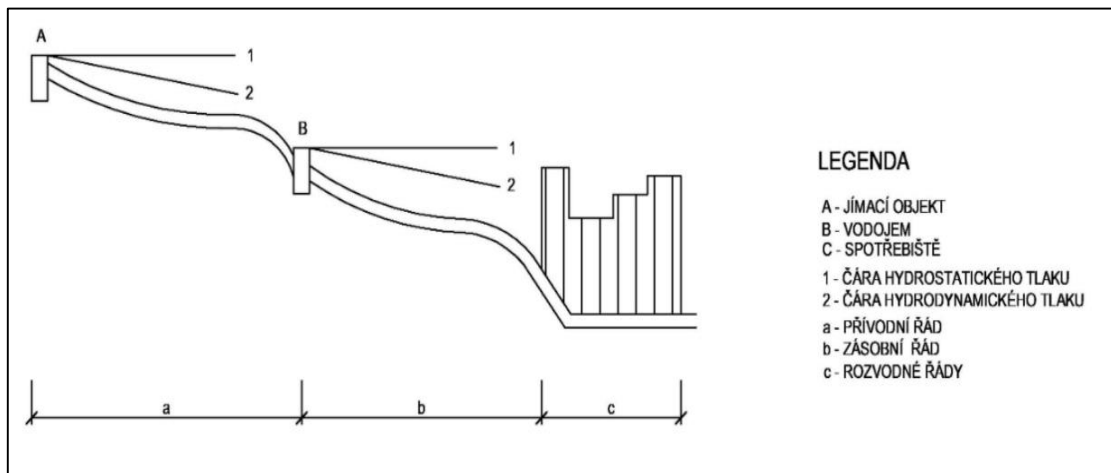
[1]

## 2.2. Výškové uspořádání vodárenské soustavy

Dle vzájemných vztahů výškopisných poloh zdroje vody a spotřebiště dělíme vodárenské soustavy na gravitační a výtlačné. [9]

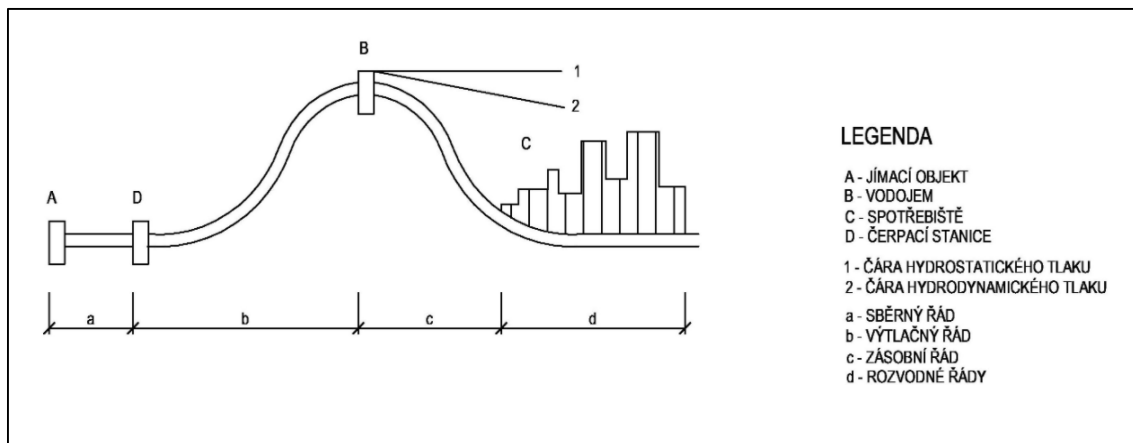
- Gravitační vodovod je z provozního hlediska výhodnější variantou. Je však nutné, aby výškový rozdíl mezi zdrojem a rozvodnými řady byl dostatečně velký a v celém spotřebišti byl přetlak vyhovující vyhlášce č. 428/2001 Sb. Stěžejní je v tomto případě požadavek na minimální hydrodynamický přetlak, který vyhláška stanovuje v hodnotě 15 m v. sl. na domovní přípojce pro zástavbu do dvou nadzemních podlaží. U zástavby s více než dvěma nadzemními podlaží vyhláška požaduje přetlak 25 m v. sl. Charakteristickým je pro gravitační

vodovod permanentní přítok do vodojemu samospádem, což znamená finanční úsporu jak za čerpání, tak také investiční úsporu při stavbě vodojemu, jelikož tato varianta má nižší nároky na zásobní objem. [9]



Obr. 2: Schéma gravitačního vodovodu [10]

- Výtlačný vodovod je provozně méně výhodná varianta, přesto běžnější. K návrhu se sahá v případě, není-li výškový rozdíl zdroje vůči spotřebiči dostatečný, jsou-li ve stejné výškové úrovni nebo dokonce je-li zdroj výškově umístěn pod spotřebičem. Z toho vyplývá nutnost vodu od zdroje do vodojemu čerpat, což je charakteristickým znakem výtlačných vodovodů. [9]

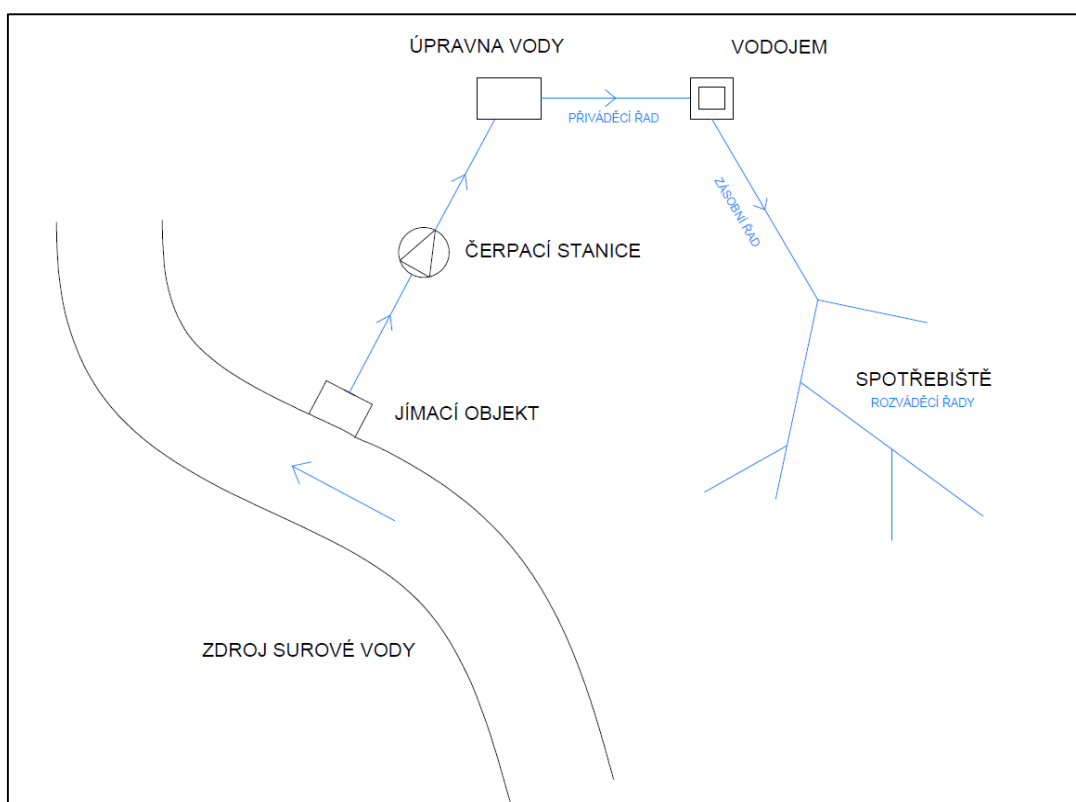


Obr. 3: Schéma výtlačného vodovodu [10]

### 2.3. Vodárenské prvky

Vodárenská soustava se zpravidla skládá z níže uvedených částí, jejichž posloupnost je znázorněna na Obr 4.

- Zdroj surové vody a jímací objekt
- Čerpací stanice
- Úpravna vody
- Akumulace
- Vodovodní řady



Obr 4: Schéma vodárenské soustavy

#### 2.3.1. Zdroj vody

Za vodní zdroj lze považovat vodu podzemní i povrchovou. Výhodou podzemních vod je v porovnání s vodou povrchovou zpravidla stabilnější kvalita s povětšinou nižšími nároky na úpravu. [11] Naopak povrchové zdroje jsou výhodnější z hlediska jednoduššího jímání vody. [1] V současné době lze podzemními vodami zásobovat jen malá spotřebišť, na ta větší už kapacitně nestačí. Z toho důvodu pro hromadné zásobování obyvatel a průmyslu slouží především upravené povrchové vody. [2]

### 2.3.1.1. Podzemní zdroje

Podzemní voda představuje veškerou vodu nacházející se pod povrchem země. Zemský povrch je dle geologie dělen na různé formace. V případě podzemních zdrojů vody je hledána tzv. zvodnělá vrstva (aquifer). Jedná se o geologickou formaci, tvořenou především nekonsolidovanými či částečně konsolidovanými šterky nebo písky, obsahující vodu. Lze ji vnímat jako podpovrchovou zásobní nádrž, ve které se díky vlastnostem formace může voda relativně snadno pohybovat. O doplňování vody do zvodnělé vrstvy se starají vsakující se srážky a na jejich množství je tedy závislá vydatnost zdroje. Zvodnělé vrstvy opouští voda přirozeným procesem ve formě pramenů či vytéká do jezer. Zároveň ale umíme vodu získat i prostřednictvím zářezů, studní a jim podobných zařízení. Zvodnělá vrstva může být s volnou hladinou, nebo s hladinou napjatou, která vznikne, je-li shora i zdola obklopena nepropustnou formací. [2]

S cílem stanovení vydatnosti zvodnělé vrstvy jsou prováděny tzv. čerpací zkoušky. Doba trvání čerpací zkoušky se odvíjí od typu dat, za účelem jejichž zisku je prováděna. Krátkodobá čerpací zkouška, trvající v horizontu hodin, poskytuje informace o nejbližším okolí studny včetně jí samotné. V případě dlouhodobé čerpací zkoušky, která trvá v řádu 4 – 8 týdnů, jsou získaná data rozšířena o regionální průtokové poměry a dlouhodobý vliv jímání. [2]

Je-li zájem využívat podzemní vody jako zdroj, je, po ověření hydrologickým průzkumem, nutné zřídit jímací objekt. Ten by měl být schopen, kromě samotného jímání, zajistit i ochranu zdroje a trvale umožnit odběr stanoveného množství vody. Dle prostorového uspořádání dělíme jímací objekty do tří skupin. [1]

- Plošné jímací objekty zachycují zejména plošné vývěry a prameny. Z hlediska lepší jakosti je v dnešní době snaha zachytávat prameny ve větších hloubkách, z toho důvodu se plošné objekty budují již pouze ojediněle. [1]
- Vertikální jímací objekty představují nejrozšířenější způsob jímání podzemních vod. Předpokladem pro návrh je dostatečná mocnost zvodnělé vrstvy. Zařízení na vertikální jímání nazýváme studnou. Dle konstrukce rozlišujeme šachtové a vrtané studny. [2, 1]
- Horizontální jímací objekty se zřizují v případech, kdy je nevhodné zachycovat vodu vertikálním objektem. Rozlišujeme zářezy, štoly a vodorovné vrty. [1]

### 2.3.1.2. Povrchové zdroje

Zásobování obyvatelstva vodou je z velké části zajišťováno povrchovými zdroji a tento poměr bude, vzhledem k rostoucí spotřebě vody, pravděpodobně čím dál výraznější. Předpovídá se, že by povrchová voda v budoucnu mohla představovat 80% centrálně dodávané vody. Voda je jímána ze stojatých či tekoucích vod. [1]

- Stojaté vody dělíme na přirozené nádrže – jezera, nebo uměle vytvořené nádrže – rybníky, přehrady. Pro kvalitu vody v nádržích je nejzásadnější ochrana povodí. Velkou roli hraje také klima a počasí nebo doba zdržení vody v nádrži. V mírném podnebném pásmu dochází vlivem změny ročních období v souvislosti s anomálií vody k promíchávání vody v nádrži, což je pro kvalitu vody přínosné. Pro jímání vody slouží odběrné věžové objekty. Mohou být samostatně v prostoru nádrže či jsou spojené s tělesem hráze. [2]
- Tekoucími vodami se rozumí vodní toky. Důležitým aspektem, uvažujeme-li o využívání vodního toku jako zdroje vody, je jeho vydatnost. Na jejím základě lze stanovit, zda tok vystačí našim požadavkům. Zároveň je nutné počítat s povinností zachovat minimální zůstatkové průtoky, tedy minimální průtoky nutné k zachování základních vodohospodářských a ekologických funkcí v daném profilu či úseku. Hodnota minimálního zůstatkového průtoku je charakteristická pro každý profil. Směrnou hodnotu lze získat na základě tabulek a známých m-denních průtoků pro daný profil. Přesná hodnota je pak stanovena vodohospodářským orgánem. Dále je také nutné zjistit, jaké další odběry na toku již jsou či jsou plánované. Je-li kapacita vodního toku, při uvážení minimálního zůstatkového průtoku a ostatních stávajících odběrů, nedostatečná, je na místě zvážit výstavbu nádrže či využití vodních zdrojů v jiném povodí. Jímací objekt nesmí bránit plavbě, nesmí zamrznout a nesmí jej ohrozit plovoucí předměty. Na všechny tyto požadavky je třeba brát zřetel během návrhu. Na velkých tocích jsou využívány objekty přímo v řečišti, nebo břehové jímací objekty. Na malých tocích pak je nutné vodu v místě odběru uměle vzdouvat. [2]

### 2.3.1.3. Ochranná pásma

Zákon č. 254/2001 Sb. neboli vodní zákon v §30 definuje tzv. ochranná pásma vodních zdrojů. „*K ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních nebo povrchových vod využívaných nebo využitelných pro zásobování*



*pítnou vodou s průměrným odběrem více než 10 000 m<sup>3</sup> za rok a zdrojů podzemní vody pro výrobu balené kojenecké [12]vody nebo pramenité vody stanoví vodoprávní úřad ochranná pásma opatřením obecné povahy. Vyžadují-li to závažné okolnosti, může vodoprávní úřad stanovit ochranná pásma i pro vodní zdroje s nižší kapacitou, než je uvedeno v první větě. Vodoprávní úřad může ze závažných důvodů ochranné pásmo změnit, popřípadě je zrušit. Stanovení ochranných pásem je vždy veřejným zájmem.“ [13] Dále se pak ochranná pásma dělí na dva stupně. Ochranné pásmo I. stupně chrání vodní zdroje v bezprostředním okolí jímacího zařízení. Území ochranného pásma II. stupně stanovuje vodoprávní úřad. Je vymezeno s cílem zajistit, aby nebyla ohrožena vydatnost zdroje nebo jakost a zdravotní nezávadnost vody. [13]*

### **2.3.2. Doprava vody**

Pro odběr z podzemního zdroje v blízkosti povrchu lze využít násoskový řad, kde voda proudí na principu gravitace. Ve většině případů podzemních i povrchových zdrojů vody je pro její dopravu používanější tzv. čerpadlo. K čerpání může docházet přímo u zdroje nebo z úpravny vody do vodojemu. Do vodojemu je voda přiváděna formou tlakového proudění přiváděcím řadem, jež se dimenzuje na maximální denní potřebu  $Q_{\max,d}$ . Z vodojemu pak voda proudí opět v tlakovém režimu pomocí zásobního řadu, který je dimenzován na maximální hodinovou potřebu  $Q_{\max,h}$ , do spotřebiště. [2]

#### **2.3.2.1. Čerpací stanice**

Čerpací stanice je objekt na vodárenské soustavě, který má za cíl dopravit vodu do výše položeného vodojemu, kam ji není možné dopravit gravitačně. Je tedy nedílnou součástí výtlačných vodovodů. Jakožto součást vodárenského systému jsou čerpací stanice navrhovány s přihlédnutím k měnícímu se čerpanému množství vody. Dle jejich důležitosti jsou děleny na stanice, u kterých není přípustné přerušení dodávky vody a na čerpací stanice, u kterých to přípustné je. Jejich provoz je zpravidla plně automatizovaný a v případě, je-li navržena čerpací stanice bez plné automatizace, měl by návrh zohlednit možnost dodatečné automatizace při optimálních nákladech. [14, 15]

Objekt čerpací stanice je složen z více částí, konkrétně ze strojně technologického zařízení, což představuje pomyslné srdce čerpací stanice. Dalšími částmi jsou elektrotechnická zařízení a stavební část. [14]

Čerpadlo, jakožto nejdůležitější součást čerpací stanice, slouží k dopravě vody z výškopisně níže položeného místa do místa s větší nadmořskou výškou. Čerpadla hydrostatická a hydrodynamická představují dvě hlavní skupiny, do kterých jsou ve vodárenství dělena. Hydrostatická čerpadla představují vhodnou volbu spíše pro vysoké tlaky a malé průtoky, kdežto u těch hydrodynamických je tomu naopak. Výhodou hydrostatických čerpadel je především jejich vyšší účinnost. Souvislost to má s procesem přeměny formy energie, který je vždy ztrátový. U hydrostatických čerpadel probíhá tento proces pouze jednou, kdežto u hydrodynamických probíhá hned dvakrát. K dopravě vody ve vodárenství jsou však používána prakticky výhradně čerpadla hydrodynamická. Důvodem je především plně kontinuální dodávka čerpané vody, což je u hydrostatických čerpadel problematická záležitost. Zároveň se u hydrodynamických čerpadel za předpokladu stejného výkonu setkáme s menší, jednodušší a levnější konstrukcí než u čerpadel hydrostatických. Pro návrh vhodný druh, typ, počet a pracovní oblasti čerpadel je zásadní předpokládané čerpané množství vody. Hydraulice čerpadel je věnována kapitola A.3.4 Hydraulika čerpadel. [16, 14]

### **2.3.2.2. Automatická tlaková stanice**

Dopravu vody v rozváděcích řadech pro spotřebišť (nebo jen jeho část, případně i pouze větší jednotlivý objekt) kde, vzhledem k výškovému uspořádání terénu, není možné využít zemní vodojem, je možné řešit automatickou tlakovou stanicí (zkratka ATS). ATS de facto zastává funkci věžového vodojemu, ale má ty výhody, že je z pohledu investičních nákladů podstatně výhodnější, je nenáročná na umístění a realizuje se rychlou a jednoduchou montáží. Provozně je ovšem levnější naopak věžový vodojem, který navíc není nepřetržitě závislý na dodávce elektrické energie. Je tedy třeba zvážit, jaká varianta je pro konkrétní spotřebišť vhodnější. [2, 9]

Automatické tlakové stanice fungují na principu stlačeného vzduchu, kde nádrž je z části naplněna vodou a z části vzduchem. Dočerpáním vody do nádrže se vzduch stlačí a je zdrojem přetlaku při odběru vody z nádrže. Při odčerpání části vody a zmenšení přetlaku se čerpadlo opět automaticky sepne. Takto se proces opakuje s periodou ideálně v rozmezí 5 až 10 minut. Jiný možný princip, na kterém ATS funguje, je soustava čerpadel s frekvenčním měničem. [9, 17]

### 2.3.3. Úprava vody

Úpravou vody se rozumí proces, jež má za cíl zlepšit kvalitu vody pro její další využití k různým účelům, v případě vodárenství konkrétně k pitným. Prioritním zájmem je zásobit obyvatelstvo zdravotně nezávadnou pitnou vodou. „*Za pitnou se považuje voda, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo zdravotní potíže přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním nebo chronickým případně pozdním způsobem zdraví spotřebitele a jeho potomstva. Musí vyhovovat smyslovým požadavkům člověka, má obsahovat dostatek biogenních prvků a nesmí mít korozivní vlastnosti.*“ [18] Konkrétní hygienické požadavky pro pitnou stanovuje vyhláška č. 252/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví. [2, 18]

Surová voda, kterou lze využít k výrobě pitné vody, je tříděna na základě vyhlášky č. 428/2001 Sb. dle jakosti do tříd A1, A2 a A3. Třídění probíhá na základě dosažených hodnot pro konkrétní ukazatele jakosti vody. Překročí-li voda mezní hodnoty třídy A3, smí být použita k výrobě pitné vody pouze s udělenou výjimkou. Přesný způsob úpravy je podmíněn složením vody, a to po fyzikálně chemické i bakteriologické stránce. Ku příkladu agresivní oxidy jsou odstranitelné poměrně snadno. Naopak problematickou se z pohledu úpravy jeví třeba přítomnost organických látek. [18, 19]

#### 2.3.3.1. Principy návrhu úpravny vody

Soubory objektů a zařízení sloužících k úpravě vody jsou nazývány úpravami vody. Budovány jsou za účelem úpravy odebrané vody na vodu pitnou. Obecně zásadní při navrhování je podrobná rozvaha o použití konkrétních technologických procesů, které mohou dopomoci dosáhnout požadovaného cíle. Navrhování technologie úpravy a stavebního objektu úpravny včetně zařízení a objektů je popsáno v normě ČSN 75 5201. [18]

**Kapacita úpravny vody** se rovná největšímu možnému množství upravené vody, které je úpravna schopna dodávat do systému za danou časovou jednotku. Zpravidla je dimenzována na maximální denní potřebu  $Q_{\max,d}$ . [18]

## Územní řešení, situační a výškové uspořádání

Úpravna by se měla nacházet pokud možno co nejbližší ke zdroji vody a zároveň mimo zastavěné území. Mělo by být uvažováno s možností případného rozšíření úpravny či rekonstrukce. Návrh by měl vyhovět potřebám a zároveň být co nejhospodárnějším. Úpravna se zpravidla skládá ze stavebních objektů vlastní úpravny, chemického hospodářství, strojovny, energetiky, nádrže čisté vody, administrativy a hospodářského zařízení. Objekty by na sebe měly mít logickou návaznost. Zároveň nejde-li o velmi malou úpravnu, konstrukční zásadou je návrh minimálně dvou linek z důvodu provozní bezpečnosti, odstávek a poruch. Z hlediska výškového řešení je zpravidla snaha o průtok celou úpravnou samospádem. [18]

### Ochrana před slunečním zářením

Nežádoucím je vliv dopadajícího slunečního záření na technologických linkách i v akumulaci pitné vody. Důvodem je mikrobiologické hledisko, konkrétně může být příčinou množení mikroorganismů. Proto jsou provozy zastřešovány a do oken je doporučena aplikace UV folie.

#### 2.3.3.2. Způsoby úpravy vody

Pro úpravu vody lze použít způsoby mechanické, chemické, fyzikálně-chemické a biologické. Ve většině případů se vhodně kombinuje více způsobů a hovoří se tak o víceúrovňové úpravě. [18]

Mechanické způsoby se používají k odstranění hrubých nečistot, které obsahují zpravidla povrchové vody. Účelem je především ochrana technologie před mechanickým poškozením a zabránění zanášení potrubí. Patří sem česle, síta, lapáky písku a usazovací nádrže [18, 2]

Chemické způsoby jsou využívány převážně k úpravě podzemní vody. Fungují na principu neutralizace, srážení či oxidace. [18]

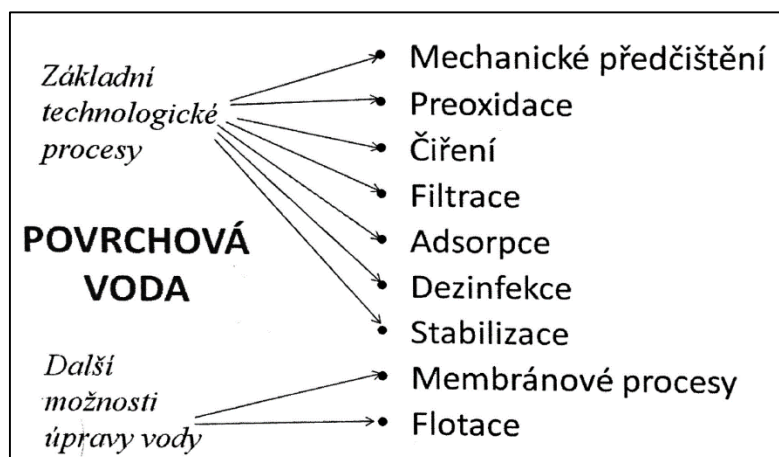
Fyzikálně-chemické způsoby odstraňují z vody nerozpuštěné a koloidně dispergované látky nebo rozpuštěné plyny. Dále jsou používány k odbarvování a dezodorizaci vody, deionizaci a případně také demineralizaci. [18]

Biologické způsoby nacházejí uplatnění při odmanganování či odželezování vody. Využívají se ale také při pomalé filtraci, desulfataci a denitrifikaci. [18]

Výčet základních technologických procesů pro úpravu povrchové a podzemní vody shrnují Obr. 5 a Obr. 6.



Obr. 5: Technologické procesy úpravy podzemní vody [18]



Obr. 6: Technologické procesy úpravy povrchové vody [18]

### 2.3.4. Akumulace

V rámci vodárenství lze vnímat dva druhy akumulace vody, a to dlouhodobou a krátkodobou, přičemž dlouhodobou zajišťují vodní toky, nádrže či podzemní zvodnělé vrstvy. Tato kapitola je však zaměřena na akumulaci krátkodobou, kterou řeší zpravidla vodojemy. [2]

#### 2.3.4.1. Vodojemy

Vodojemy plní tři základní funkce, tj. akumulační, tlaková a kontaktní. V závislosti na požadavcích k jejich využití se stanovuje jejich poloha, velikost a typ. Akumulační funkce zajišťuje vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem do vodojemu a odběrem ve

spotřebišti. Tlaková funkce se stará o optimalizaci tlaků ve spotřebišti na základě vhodného umístění vodojemu. Kontaktní funkce obstarává dostatečnou dobu zdržení vody nutnou k reakci s chemikálií, která hygienicky vodu zabezpečí. [2]

#### 2.3.4.1.1. Funkce vodojemů

##### Akumulační funkce

Objem akumulací nádrže vodojemu se stanoví součtem třech dílčích objemů:

$$A_{celk.} = A_n + A_{pož} + A_{por} \quad (1)$$

a) Nerovnoměrnost mezi přítokem a odběrem ve spotřebišti

$$A_n = \frac{X}{100} * Q_{max,d} \quad (2)$$

Kde:  $X$  - tzv. akumulací procento

$Q_{max,d}$  - maximální denní potřeba vody

b) Stálá zásoba vody pro případ hašení požáru

$$A_{pož} = 3,6 * Q_p * t * n \quad (3)$$

Kde:  $Q_p$  – odběr požární vody v l/s dle ČSN 73 0873

$t$  – doba, po kterou je nutné zařídit dodávku požární vody

$n$  – počet odběrných míst

c) Zásoba vody nutná k překlenutí v případě poruchy na příváděcím řadu

$$A_{por} = \frac{Q_{max,d}}{24} * T \quad (4)$$

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

$T$  – doba trvání poruchy (uvažuje se 6 – 12 hod)

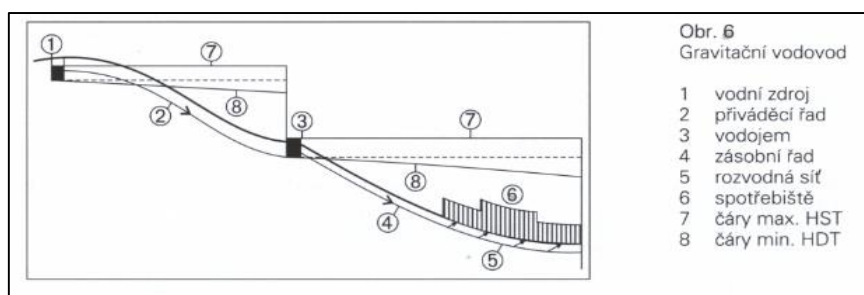
## Tlaková funkce

Dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. jsou předepsány tlakové podmínky ve spotřebišti. „Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa. V odůvodněných případech se může zvýšit na 0,7 MPa.“ [19] „Při zástavbě do dvou nadzemních podlaží hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být v místě připojení vodovodní přípojky nejméně 0,15 MPa. Při zástavbě nad dvě nadzemní podlaží nejméně 0,25 MPa.“ [19] Při gravitačním zásobování jsou přetlaky v síti závislé na umístění vodojemu. Uvažuje-li se s kolísáním hladiny ve vodojemu (cca 0,05 MPa) a ztrátami na zásobním řadu mezi vodojemem a spotřebišťem (cca 0,05 MPa), z jednoduché rovnice vyplývá, že jeden vodojem dokáže zásobovat spotřebišťe o maximálním výškovém rozdílu 25 – 35 m, tj. jedno výškové pásmo. [2]

$$h = H_{max} - H_{min} - \Delta h - \Delta p = 0,6 \text{ (nebo } 0,7) - 0,25 - 0,05 - 0,05 \\ = 0,25 \text{ (nebo } 0,35) \text{ MPa} = 25 \text{ (nebo } 35) \text{ m v. sl.} \quad (5)$$

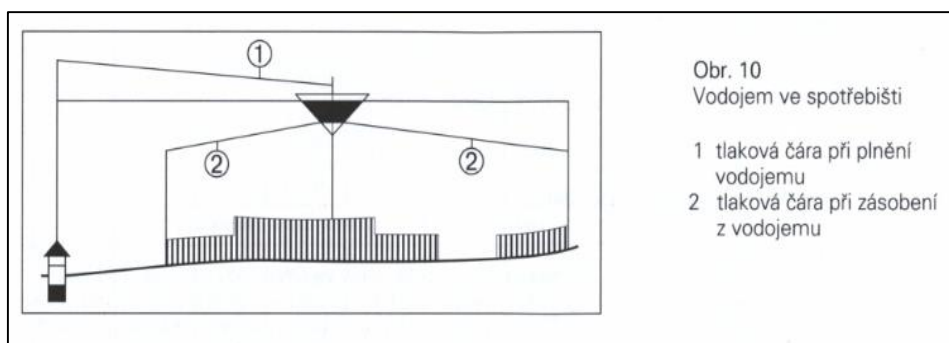
Současně je umístění vodojemu vhodné volit tak, aby byl co nejbližší zdroji vody a tím se minimalizovaly náklady v případě potřeby čerpání. Zároveň je žádoucí umístění vodojemu co nejbližší těžišti spotřeby za účelem snížení tlakových ztrát. V neposlední řadě je důležité vybírat místo s ohledem na nenáročný příjezd k vodojemu a na možnost připojit jej ke zdroji elektrické energie. [9]

- Vodojem čelní (před spotřebišťem) slouží jako průtočný zásobní vodojem u gravitačních i výtlačných vodovodů. Výhody tohoto uspořádání spočívají v jednoznačnosti průtokových a tlakových poměrů. Naopak nevýhodou je menší zabezpečení spotřebišťe, jelikož přítok je realizován pouze z jedné strany. V případě výtlačného vodovodu další nevýhodou představuje větší provozní náklad vyplývající z nutnosti přečerpat celý objem  $Q_{max,d}$  do vodojemu. [9]



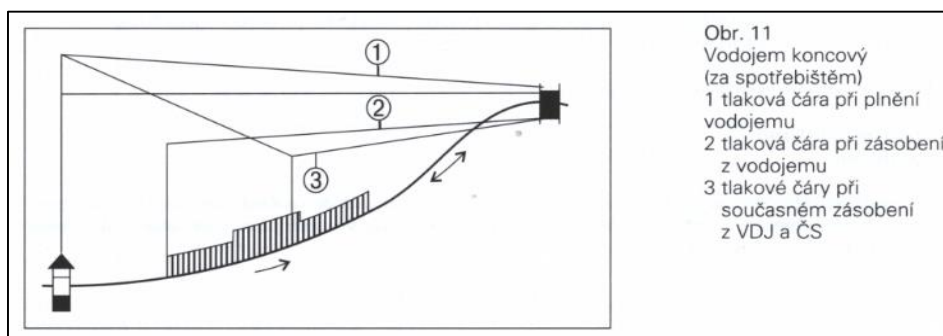
Obr. 7: Schéma umístění vodojemu před spotřebišťem [9]

- Vodojem ve spotřebišti: U této varianty je nejvyužívanější věžový vodojem, který je umístěn pravidla v těžišti spotřebišť rovinatého charakteru. Vodojem v tomto polohovém uspořádání nabízí dva způsoby použití. První počítá s odděleným přiváděcím a zásobním řadem. V tom případě je funkce obdobná jako u klasického průtočného vodojemu, kdy přiváděcím řadem je voda dodávána do akumulční nádrže a zásobním řadem distribuována do spotřebišť. Ve druhém případě se navrhne jen jeden společný řad s připojením na zásobní síť. Ten plní funkci jak výtlačného tak zásobního řadu. [9]



Obr. 8: Schéma vodojemu umístěného v těžišti spotřebišť [9]

- Vodojem koncový (za spotřebišťem): Hlavní charakteristiku představuje přiváděcí řad od zdroje vody k vodojemu, který prochází spotřebišťem a zároveň plní i funkci zásobního a hlavního rozvodného řadu. Spotřebišť tedy může být zásobováno jak přímo přiváděnou vodou tak vodou z vodojemu. V souvislosti s aktuální spotřebou ve spotřebišti a množstvím přiváděné vody se vodojem buďto prázdní nebo plní. Výhodou tedy je, že tato varianta zajišťuje vyšší provozní zabezpečení. Nevýhodné ovšem jsou značně proměnlivé tlakové poměry. [9]



Obr. 9: Schéma vodojemu umístěného za spotřebišťem [9]



#### 2.3.4.1.2. Typy vodojemů

Rozlišují se dva základní typy vodojemů vzhledem k okolnímu terénu, tj. zemní a věžové. Další druhy dělení jsou například podle půdorysného tvaru nebo podle počtu akumulčních nádrží, tedy jednokomorové a vícekomorové. Při navrhování může být vytvořen individuální projekt, použit typový projekt či použit prefabrikovaný vodojem. [2, 20]

- a) Zemní vodojemy: Vzhledem k terénním podmínkám jsou u nás používány častěji, jelikož jsou investičně výhodnější, snadno se tepelně izolují a je relativně jednoduché provést jejich případné dodatečné rozšíření. Tvoří je dvě, účelově odlišné, části, tj. vodní nádrž a manipulační (armaturní) komora. Celkový objem zemního vodojemu se stanoví součtem dílčích objemů. Konkrétně objemu pro pokrytí nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem, objemu požární vody a objemu sloužícímu k pokrytí potřeby v případě poruchy. Výsledný objem by měl spadat do intervalu 60 až 100 % z  $Q_{\max,d}$ . Zemní vodojem by měl být vícekomorový z důvodu provozních výhod při čištění či opravě závady. [1, 2]
- b) Věžové vodojemy se, vzhledem k jejich vyšší ceně, navrhuje pouze v odůvodněných případech, kdy je jejich využití technicky nezbytné pro zajištění přetlaku ve spotřebišti. Navíc představují viditelnou dominantní stavbu, která si klade podstatně vyšší architektonické nároky při projekci. V souvislosti s investiční nákladností je snaha navrhnout co nejmenší objem nádrže, přičemž jsou navrhovány jen za účelem pokrytí nerovnoměrnosti přítoku a odtoku. Není tedy povinnost objem věžového vodojemu navrhovat pro stálou požární vodu ani pro vodu určenou k pokrytí potřeby během poruchy. Věžové vodojemy jsou zásadně navrhovány jednokomorové. [1, 2]

#### 2.3.5. Rozvod vody

Jedním z úkolů řešených ve vodárenství je, jak zajistit dopravu pitné vody ke spotřebitelům v požadovaném množství, tlaku a kvalitě. Důraz je také kladen na spolehlivost dodávky. Důležitým aspektem u vodárenských soustav jsou provozní náklady, které je snaha minimalizovat optimalizací odběru a dopravy vody. [2]

Norma ČSN 73 6005 klasifikuje vedení inženýrských sítí podle územní působnosti, funkčního a kapacitního významu.

a) Vedení dálková (dálkovody)

1. kategorie: vedení nadřazená – příváděcí, výtlačné a zásobní řady

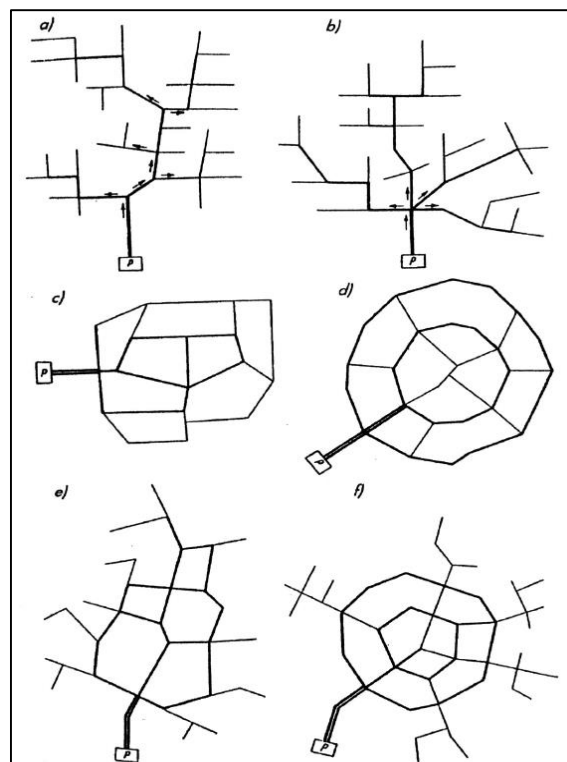
b) Vedení místní

2. kategorie: vedení hlavní – hlavní rozvodné řady
3. kategorie: vedení uliční – vedlejší (uliční) rozvodné řady
4. kategorie: vedení přípojková – vodovodní přípojky, které však, dle platné legislativy, nejsou vodovodním řadem

[9, 21]

### 2.3.5.1. Tvar rozvodné sítě

Rozvodnou sítí se rozumí soustava rozvodných řadů, tedy místní vedení 2. a 3. kategorie. Návrh tvaru sítě má prostorovou a funkční vazbu na konkrétní spotřebiště. Předpokladem je snaha dostat vodu pokud možno ke všem potenciálním spotřebitelům. U značně vzdálených, ojedinělých malých spotřebišť je však, mimo vysokých investičních nákladů, riziko zhoršení kvality vody způsobené dlouhým zdržením v potrubí. Proto je nutné posoudit, zda je vhodné vést rozvodný řad i do těchto míst. [2]



Obr. 10: Druhy uspořádání rozvodných sítí [2]

a) větvná; b) paprscitá; c) okružová; d) prstencová; e) okruhovo-větvná; f) prstencově-paprscitá [2]

Na Obr. 10 jsou znázorněny druhy rozvodných sítí. Větvná či paprscitá síť svým tvarem připomíná rozvětvený strom. Jedná se o řešení s minimálními investičními náklady a využití nachází především u malých spotřebišť venkovského rázu, kde liniový charakter zástavby neumožňuje provozně účelné a ekonomicky výhodné zokruhování rozvodných řadů. U větších spotřebišť s převládající zástavbou plošného charakteru je vždy snaha rozvodné řady zokruhovat. Je to výhodné z provozního hlediska. Vodu lze k odběrateli přivádět ze dvou stran, což je výhodné z hlediska případné poruchy. Zokruhováním sítě se zároveň zajistí vyrovnanější tlaky a cirkulace vody, díky čemuž se předejde zhoršení její kvality. Nevýhodu však představují vysoké pořizovací náklady. V praxi je snaha vytvářet kombinované vodovodní sítě, u kterých je zokruhované jádro spotřebiště a odlehlejší části jsou zásobeny vedlejšími rozváděcími řady. Jedná se tedy o účelné spojení předchozích dvou druhů uspořádání. [2, 9]

#### **2.3.5.2. Zásady trasování**

Při návrhu směrového řešení je třeba brát v potaz nutnost doložení souhlasu s uložení řadu od vlastníka dotčeného pozemku. S tím souvisí snaha přednostně umístit trasu na veřejných prostranstvích. K vodovodnímu potrubí by zároveň měl být zajištěn přístup pro provádění údržby a jiných prací. Proto se v nezastavěném území trasy přednostně umísťují podél dopravních komunikací. Navrhují se trasy co nejpřímější, s minimem křížení s vodními toky, dopravními komunikacemi nebo jinými inženýrskými sítěmi. Pokud ke křížení dojde, mělo by být realizováno pod úhlem 60-90°. Přesné pokyny pro navrhování jsou uvedeny v normě ČSN 75 6005. [9, 22, 21]

V případě záměru napojení navrhovaných vodovodních řadů na stávající síť je přípustné jen se souhlasem vlastníka a provozovatele vodovodu. [22]

U návrhu výškového je předmětem řešení hloubka uložení, hloubka krytí a podélný sklon potrubí. Hloubka krytí musí být dostatečná, aby nedošlo k zamrznutí či nepřípustnému ohřívání vody a vyloučilo se možné poškození potrubí vnějšími vlivy. Jako podklad slouží opět norma ČSN 75 6005. Ve volném terénu je předepsaná hloubka závislá na příslušných vlastnostech zeminy, ale minimální možná hodnota je 1 m. V případě uložení do dopravní komunikace je hloubka minimálního krytí rovna 1,5 m. Při návrhu podélného profilu vodovodní sítě je nutné respektovat předepsané hodnoty sklonů. Minimální sklon sice norma ČSN 74 5401 nedefinuje, v standardech provozovatelů se však objevují hodnoty, které jsou závislé na dimenzi potrubí.

Například společnost Vodovody a kanalizace Kroměříž, a.s. ve svých standardech uvádí, že pro DN do 200 je minimální sklon 3 ‰, pro DN 250 – 500 je odpovídající sklon 1 ‰ a pro DN nad 600 pak 0,5 ‰. Maximální sklon rovněž není normou předepsán, musí však být volen tak, aby neohrozil stabilitu potrubí. Při sklonech nad 15% je dle normy nutné tuto stabilitu posoudit. Do výškových bodů nivelety jsou vkládány kalníky a vzdušníky. [22, 21]

### 2.3.5.3. Trubní materiály

Vodovodní trouby a tvarovky jsou vyráběny z více různých materiálů, přičemž na otázku, který z nich je tím nejlepším, není možné jednoznačně odpovědět. Volba materiálu představuje komplexní problém a je důležité stanovit, jaké hledisko je pro návrh podstatné. Jako rozhodující hlediska jsou uvažována:

- Přetlak při provozu a hydraulické rázy v potrubí
- Vnější zatížení potrubí
- Finanční náklady za realizaci a poté na provoz
- Požadovaná životnost
- Agresivita okolní zeminy a její únosnost
- Způsob provádění stavby

[9]

Materiál zároveň musí být podroben hygienické atestaci a vyhovovat příslušným normám. Norma ČSN EN 805 klade na materiál vodovodních řadů tyto podmínky. „*Všechny části rozvodné vodovodní sítě, které jsou ve styku s pitnou vodou, musí být navrženy a provedeny ze součástí potrubí a z materiálů, které vyhoví odpovídajícím požadavkům, aby nedošlo k nepřijatelnému zhoršení jakosti vody.*“ [23] Je-li pro armatury či tvarovky použit jiný materiál než pro potrubí, měly by mít oba materiály rovnocennou životnost. [9]

Materiály vodovodního potrubí se dělí na dvě hlavní skupiny, kovové a nekovové. Mezi kovové spadají ocel a litina. Nekovové materiály jsou pak především plasty. V ojedinělých případech se lze setkat ještě se sklolaminátem či azbestocementem. [9, 22]

## **Ocel**

Ocel představuje ve vodárenství tradiční trubní materiál. Její hlavní výhoda spočívá ve velké pevnosti při namáhání vnitřním přetlakem. Využití tedy nachází hlavně u řadů s velkými tlaky, kdežto řady rozváděcí se z oceli navrhují pouze výjimečně. Mezi další výhody patří snadná opracovatelnost, možná svařovatelnost a také nižší hmotnost v porovnání s litinou. Velkou nevýhodou je však náchylnost vůči korozi. Z toho důvodu je, v případě návrhu, nutné dbát na důslednou protikorozi ochranu. Spojování trub je realizováno svarem na tupo či přírubově. [9, 22]

## **Litina**

Rozlišují se dva druhy litiny, šedá a tvárná. Šedá litina je u nás nejdéle používaným materiálem a stále tvoří největší podíl provozovaného potrubí. Oproti oceli vyniká především lepší rezistencí vůči korozi. Naopak nevýhodná je jejich křehkost a poměrně malá pevnost v tahu. Tyto skutečnosti společně s nedokonalým těsněním spojů znamenají značnou poruchovost potrubí. [9]

Tvárná litina je mladším materiálem, který se u nás začal používat až po roce 1989. Přednosti tkví v pružnosti a značné odolnosti vůči korozi, která se dá navíc vylepšit speciálními úpravami povrchu. Mimo to je tvárná litina oproti šedé lehčí a méně náročná při provádění obsypů. Nevýhodou je vyšší cena. Pro spojování trub se používají přednostně hrdlové spoje, případně přírubově. U přechodů na armatury se používají zásadně spoje přírubové. Co se týče tvarovek, jsou vyráběny s hrdlovými i přírubovými spoji. [9, 22]

## **PVC**

PVC trouby, vyráběny z neměkčeného polyvinylchloridu, jsou používány ve vodárenství hlavně kvůli jejich ceně. Další předností je že nekorodují, jsou tepelně dobře roztažné a přes jejich relativně velkou měkkost mají dobrou odolnost vůči abrazi. Zároveň jde, v porovnání s kovy, o velmi lehký materiál, což je plusem pro rychlost montáže i bezpečnost práce na staveništi. Nasákavost plastů obecně je zanedbatelná a tím pádem nehrozí bobtnání materiálu či jiné poškození vlivem vniku vody do materiálu. Nevýhodné jsou trouby z PVC kvůli náchylnosti při přepravě vody o vyšších teplotách než 20 °C a také z důvodu jejich likvidace, jelikož při spalování PVC se uvolňují zdraví škodlivé zplodiny. Podstatnou nevýhodou jsou také přísnější nároky na

podkladní lože a řádový odsyp. Spojování potrubí je realizováno hrdlovými spoji s gumovým těsněním. Tvarovky lze použít plastové i litinové. [9]

## **Polyetylén**

Pro výrobu vodovodního potrubí se v dnešní době využívá lineární (vysokohustotní) polyetylen. Vlastnosti má velmi podobné jako PVC, s rozdílem, že je měkčí a tím pádem i náchylnější pro mechanické poškození při pokládce. Dodávány jsou trouby o délce 6 až 12 metrů, které jsou spojovány především svarem na tupo, jež následně zhomogenizuje. Pro menší dimenze je možnost potrubí dodat svinuté v délce 100 až 500 m, což významně urychlí a zjednoduší pokládku. [9]

### **3. Navrhování trubních systémů**

Voda je tzv. newtonovskou kapalinou, pro kterou platí Newtonův zákon viskozity. Z důvodu zjednodušení je možnost považovat ji za kontinuum. V rámci dalšího zjednodušení se nabízí využít zidealizovaný model tzv. ideální kapaliny, čímž se rozumí nestlačitelná a nevazká kapalina. Ta ve skutečném světě existovat nemůže, její zavedení však umožňuje snadněji odvodit zákony proudění. [24]

Pro studium deformací kontinua se nabízejí dvě metody, Eulerova a Lagrangeova. Z pohledu mechaniky jsou metody ekvivalentní, což znamená, že dvěma způsoby můžeme vyjádřit tytéž mechanické a fyzikální vztahy. Lagrangeova metoda je vhodná v případě, kdy je pozornost zaměřena na každou částici zvlášť. Naopak je-li předmětem pozorování chování proudu v příslušných bodech prostoru, vhodnější metodou je ta Eulerova. [24]

#### **3.1. Rovnice kontinuity**

Jedna ze základních rovnic v hydraulice je tzv. rovnice kontinuity, která je vyjádřením zákona zachování hmoty. Pro nestlačitelnou kapalinu, kde je uvažováno s konstantní hodnotou hustoty, má v kartézském souřadnicovém systému rovnice tento tvar [24, 25]

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

Častěji používaný tvar rovnice kontinuity, platný pro ustálené proudění, je ten pro proudovou trubici, který vypadá takto:

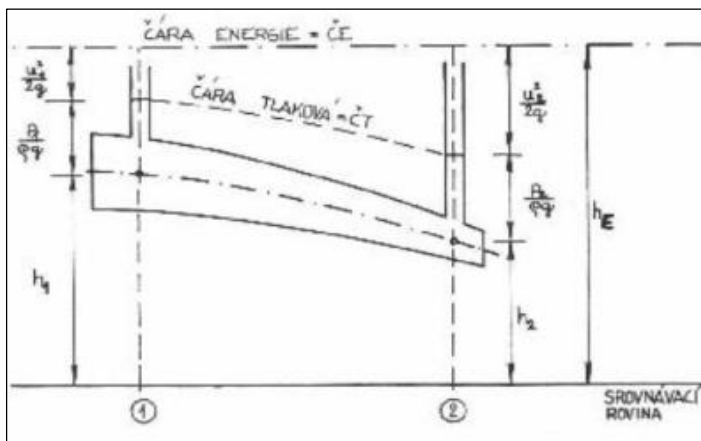
$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (7)$$

kde  $v_1$  a  $v_2$  představují normálové složky rychlostí a  $S_1$  a  $S_2$  plochy průřezů 1 a 2. [24, 25]

### 3.2. Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice je odvozena z Eulerových pohybových rovnic a v praxi má široké uplatnění. Její základní tvar (Obr. 11) popisuje ustálený pohyb nevazké nestlačitelné tekutiny. Plyne z něj, že součet potenciální energie, práce vykonané tlakem a kinetické energie musí být v libovolném bodě proudnice konstantní. [24]

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} = h_E \quad (8)$$



kde:  $h$  je polohová výška [m]

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

$\frac{u^2}{2g}$  je rychlostní výška [m]

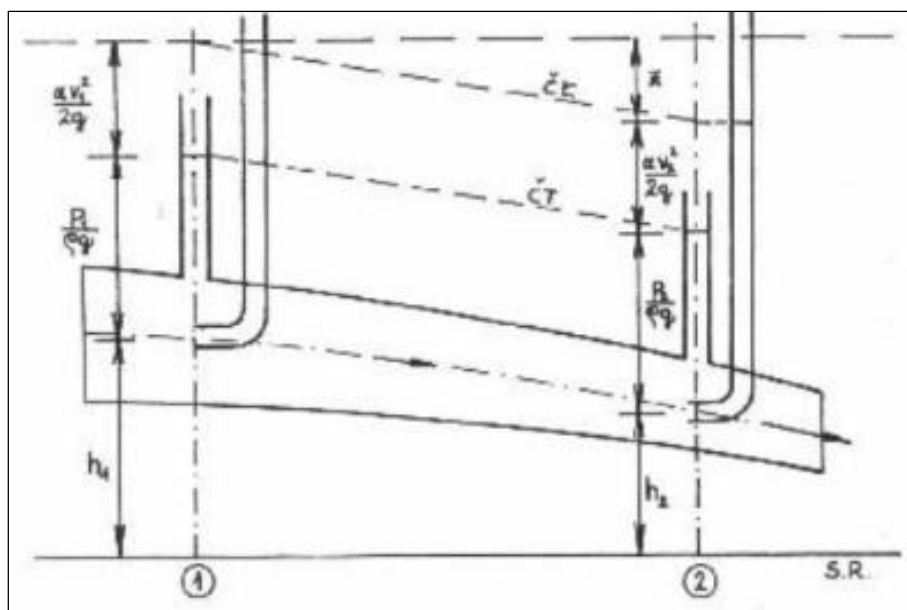
$h_E$  je energetická výška [m]

Obr. 11: Bernoulliho rovnice pro ideální tekutinu [25]

Uvažujeme-li vazkou kapalinu, při jejímž proudění vznikají energetické ztráty, Bernoulliho rovnice bude mít tento tvar.

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + Z \quad (9)$$

V průtočném profilu má skutečná kapalina vlivem vazkosti nekonstantní rychlosti. Je tedy uvažována hodnota tzv. průřezové rychlosti a za cílem redukovat chybu vzniklou tímto zjednodušením je zavedeno Coriolisovo číslo  $\alpha$ . [25]



Obr. 12: Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu [25]

### 3.3. Hydraulické ztráty při proudění v potrubí

Hydraulické ztráty v potrubí jsou součtem dvou složek, konkrétně ztrát způsobených třením a ztrát místních. V obou případech je jejich vyjádření závislé na rychlostní výšce. [2, 24]

#### Ztráty třením $Z_t$

Ztrát třením se generují v celé délce proudu a jsou na této délce přímo úměrné. Způsobují je vnitřní síly ve vazké kapalině, kterou je i voda, a tečné napětí u stěny potrubí, tj. tření mezi vazkou kapalinou a stěnou potrubí. Pro vyjádření ztrát třením se používá tzv. Darcy-Weisbachova rovnice, z níž plyne, že jsou ztráty třením přímo úměrné délce potrubí a nepřímo úměrné jeho profilu. Alternativními rovnicemi pro výpočet ztrát třením jsou Manningova nebo Hazen-Williamsova. [2, 24]

$$Z_t = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

kde:  $\lambda$  je součinitel tření

$l$  je délka potrubí

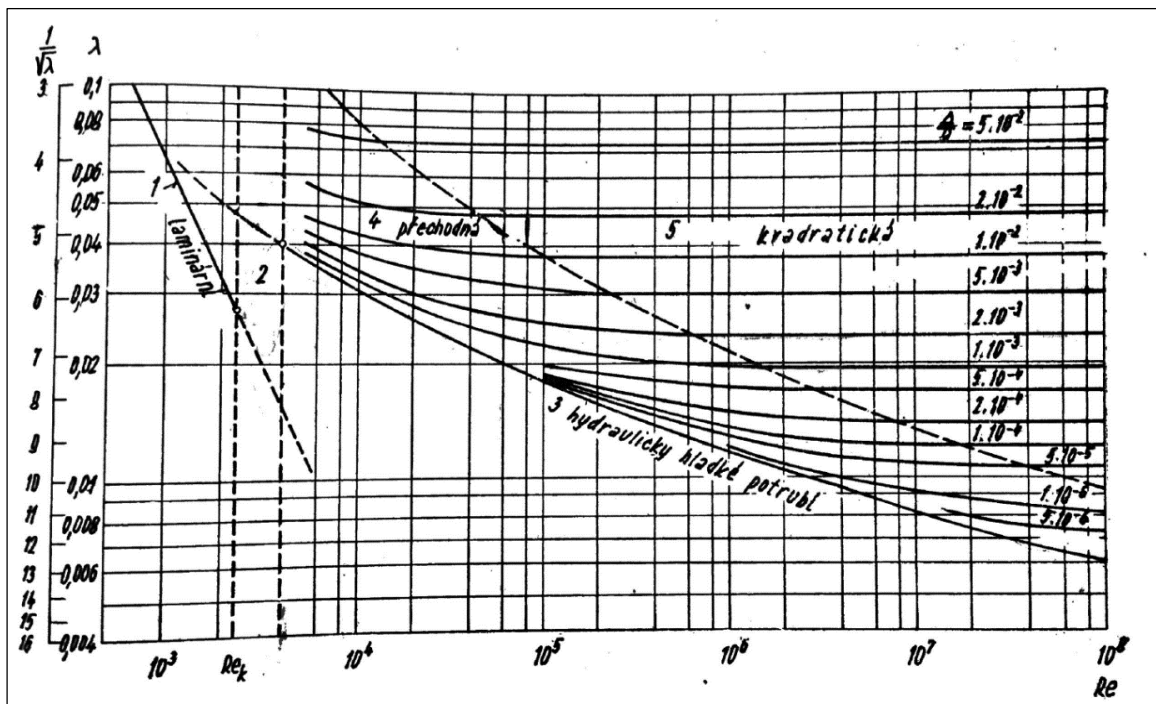
$D$  je vnitřní průměr potrubí

$v$  je střední průřezová rychlost proudění

$g$  je tíhové zrychlení



Součinitel tření  $\lambda$  je funkcí relativní drsnosti a Reynoldsova čísla. Pro technická potrubí je nejpoužívanějším znázorněním tohoto vztahu tzv. Moodyho diagram (viz. Obr. 13). Ten obsahuje pět charakteristických oblastí, které byly pro součinitel tření vymezeny, a jsou jimi oblast lineární, kritická, hydraulicky hladkého potrubí, přechodná a kvadratická. Pro laminární oblast je součinitel tření dán vztahem  $\lambda = (64/Re)$ . V kritické oblasti je součinitel drsnosti závislý také pouze na Reynoldsově čísle, ale s ohledem na nestabilitu režimu jej není možné vyjádřit rovnicí. Potrubí se stává hydraulicky hladkým za předpokladu, je-li vazká podvrstva turbulentního proudění násobně větší tloušťky než jsou vysoké výstupky stěn. V tu chvíli už případné zmenšení drsnosti, tedy vyhlazení oněch výstupků na stěnách potrubí, je z hlediska hydraulických ztrát bezvýznamné a opět je tedy součinitel tření závislý jen na Reynoldsově čísle. V případě přechodné oblasti hodnota součinitele tření závisí na Reynoldsově čísle i na relativní drsnosti. Pro kvadratickou oblast je určující pouze relativní drsnost



Obr. 13: Moodyho diagram součinitele tření pro technická potrubí [24]

Součinitel tření je možné vyjádřit i explicitně pomocí celé řady vztahů. Jedním z takových vztahů je například Colebrook-Whiteova rovnice platná pro turbulentní proudění. [24]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,71D} \right) \quad (11)$$

kde:  $\lambda$  je součinitel tření

Re je Reynoldsovo číslo

$\Delta$  je absolutní drsnost

D je průměr průtočného profilu potrubí.

Relativní drsnost je podíl absolutní hydraulické drsnosti ku průměru průtočného profilu potrubí. Hodnota absolutní hydraulické drsnosti je tabulková hodnota, která souvisí s materiálem potrubí, jeho opotřebením a stavem koroze a inkrustace stěn. [25] Hodnoty absolutní hydraulické drsnosti pro technicky vyráběné potrubí dle Altšula jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Hydraulická drsnost pro technicky vyráběné potrubí dle Altšula

Druh potrubí	Stav potrubí	$\Delta$ [mm]
Litinové	nové, bituminované, asfaltované	0,01 - 0,016
	nové bez úpravy	0,2 - 0,5
	po použití	0,5 - 1,5
	silně zrezivělé a inkrustované	2,0 - 3,6
Ocelové bezešvé	nové	0,01 - 0,02
	po použití	0,15
	po delším provozu	0,30
Plastové (PVC, PE)	nové	0,001 - 0,003
	po delším provozu	0,01

### Ztráty místní Zm

Místními ztrátami se rozumí situace, kdy dojde k deformaci rychlostního pole, a tím k poklesu energie skokově. Charakteristické jsou případy zvýšení fluktuace rychlostí a tlaku, proud odtržený od stěny, tvořící se úplavy či přenos turbulentních vírů. Děje se tak v tvarovkách, armaturách a obecně částech potrubí, ve kterých se mění velikost průtočného profilu či směr rychlosti proudění. V přívodních a hlavních rozváděcích řadách je význam místních ztrát spíše nevýznamný a zpravidla se pohybuje mezi hodnotami 5 až 20% třecích ztrát. Místní ztráty jsou dle Weisbachovy rovnice vyjádřeny částí rychlostní výšky. [24]

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Kde:  $\xi$  je součinitel místní ztráty

$v$  je střední průřezová rychlost proudění

$g$  je tíhové zrychlení

Součinitel místní ztráty je závislý na geometrii zkoumaného místa, tvaru rychlostního pole proudění a na Reynoldsově čísle. Hodnoty pro konkrétní případy je možné dohledat v hydraulických tabulkách. [24]

### 3.4. Hydraulika čerpadel

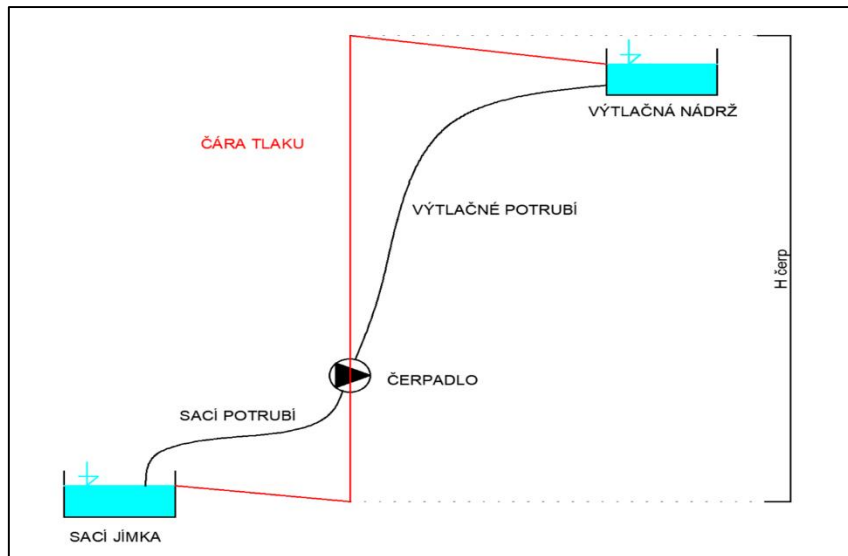
Základními veličinami, které čerpadlo charakterizují, jsou:

- Q – čerpané množství [l/s ; m<sup>3</sup>/s] - množství vody, které čerpadlo dodává při určité dopravní výšce
- H – dopravní výška čerpadla [m] - rozdíl celkové energie jednoho kilogramu vody v místě kam je voda dopravována a v místě odkud je čerpána. Jedná se tedy o součet geodetické výšky a energetických ztrát v sacím a výtlačném potrubí.
- Y – měrná energie [J/kg] – energie nutná k čerpání hmotnostní jednotky vody.
- N – příkon čerpadla [W] – skutečný výkon motoru čerpadla
- N<sub>u</sub> – užitečný výkon čerpadla [W] – výkon, který odevzdá motor vodě
- η – účinnost čerpadla [%] – poměr užitečného výkonu s příkonem čerpadla

[9]

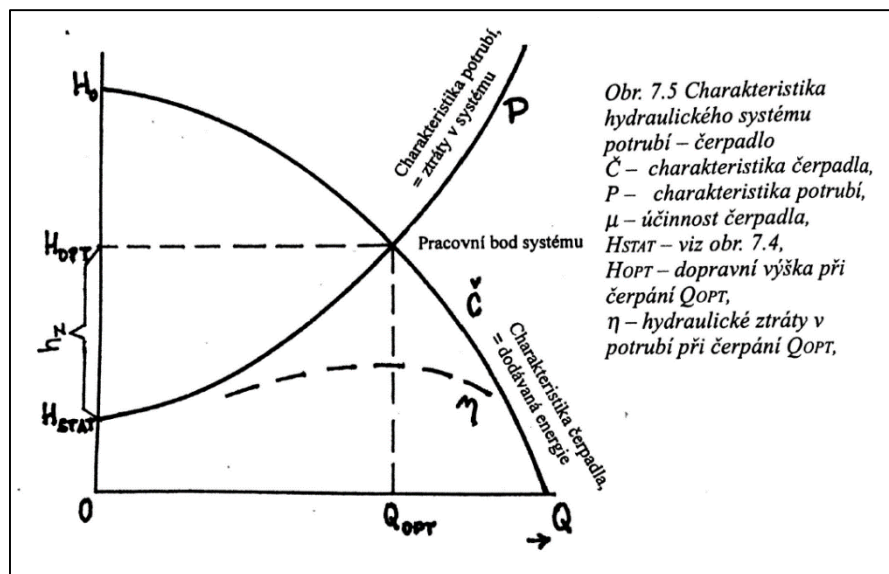
### Charakteristika výtlačného systému

Čerpadlo, sací potrubí a výtlačné potrubí dohromady tvoří výtlačný hydraulický systém. Sací potrubí přivádí vodu ze sací jímky do čerpadla, ze kterého je hnána výtlačným potrubím ústícím do výtlačné nádrže, jak je znázorněno na Obr. 14.



Obr. 14: Schéma výtlačného hydraulického systému potrubí-čerpadlo

### Pracovní charakteristika systému



Obr. 15: Pracovní charakteristika výtlačného hydraulického systému potrubí-čerpadlo [2]

Na Obr. 15 je graficky znázorněna charakteristiky potrubí a čerpadla. Jedná se o závislosti dopravovaného množství vody a dopravní výšky. Charakteristika potrubí (P) začíná při nulovém průtoku ve výšce odpovídající výškopisnému rozdílu hladin ve výtlačné nádrži a sací jímce. Z Darcy-Weisbachovi rovnice vyplývá, že s narůstajícím průtokem rostou i hydraulické ztráty, což se projeví nárůstem požadované dopravní výšky. Tvar charakteristiky čerpadla (Č) je jiný pro každé čerpadlo. Souvisí s typem čerpadla, se ztrátami v čerpadle, ztrátami třením a rotací kapaliny mezi lopatkami a čerpadlem. [2]

Průsečík charakteristiky potrubí a charakteristiky čerpadla se označuje jako tzv. pracovní bod hydraulického systému. Na základě něj a také křivky účinnosti posoudíme, zda je zvolený typ čerpadla pro systém vhodný. [9]

Nachází-li se v systému více než jedno čerpadlo, záleží na jejich zapojení. V případě paralelního zapojení čerpadel jsou sčítány průtoky, avšak dopravní výšky se nemění. Naopak je tomu při spolupráci čerpadel, která jsou vůči sobě zapojena sériově. V tomto zapojení jsou sčítány dopravní výšky a nemění se průtok. [2]

### 3.5. Výpočet potřeby vody

Prvně je důležité vymezení rozdílu mezi pojmy potřeba vody a spotřeba vody. Potřeba vody představuje množství vody za určitou časovou jednotku, které je potřeba mít ve zdroji, aby pokrylo dodávku vody pro odběratele. Jedná se tedy o základní podklad využívaný při návrhu vodovodních sítí, vodních zdrojů, vodojemů a úpraven vody. Spotřeba vody pak představuje skutečné množství vody odebrané ve spotřebišti za určitou časovou jednotku. [2]

Metodické pokyny pro výpočet potřeby vody udává směrnice č. 9 z roku 1973 Sb. Ta už je sice v současné době neplatná, avšak nový metodický podklad zatím vypracován nebyl. Z toho důvodu se z ní dá stále vycházet, jelikož její metodika není chybná, pouze obsahuje zastaralé hodnoty specifických potřeb vody, které se od roku 1973 výrazně změnily. Aktuálnější data ohledně specifických potřeb vody lze čerpat například z vyhlášky č. 428/2001 Sb., příloha č. 12. [2, 19, 26]

#### Druhy potřeby vody

Celková potřeba vody je sumou potřeb pro dílčí složky, kde je voda spotřebováána:

- Domácnost: zahrnuje vodu používanou k pití, vaření, sprchování, mytí, atd. Ale třeba také ke kropení zahrad či mytí automobilů.
- Průmysl a administrativa: voda využívána v technologických procesech, voda pro zaměstnance, pro děti a studenty, voda používaná ve zdravotnictví či službách.
- Zemědělství: voda potřebná pro živočišnou a rostlinnou výrobu
- Ztráty: jedná se o úniky vody v distribuční síti, ve zdrojích a v akumulaci. Dále zahrnují i chyby měřících zařízení.

[2]

## **Předpověď potřeby vody**

Předpověď se provádí před každým novým návrhem či posouzením stávající sítě, vodojemu, úpravně vody nebo zdroje vody. Předpovídá se na dobu 30 let, což je zároveň minimální životnost technologických zařízení. V případě chybné předpovědi hrozí zvýšení nákladů. V případě nedostatečné předpovědi je nutné realizovat dodatečné investice a v případě předdimenzované předpovědi budou vyšší provozní náklady a hrozí provozní problémy v systému. Velikost potřeby je závislá především na vývoji počtu spotřebitelů, ale také na sociálně/politických poměrech, vybavenosti bytů, alternativních zdrojích vody či cenové politice. [2]

## **Výpočet dle Směrnice 9/1973 Sb.**

Potřeba vody pro obyvatelstvo je dle této směrnice rozdělena na potřebu pro bytový fond a potřebu pro občanskou a technickou vybavenost. U bytového fondu potřebu ovlivňuje především vybavenost bytů. Uvádí se takzvaná specifická potřeba vody, což je údaj vztažený na základní spotřební jednotku, v tomto případě tedy osobu. [2] Jak již bylo řečeno, hodnoty specifických potřeb jsou ve směrnici 9/1973 Sb. zastaralé, proto je záhodno použít aktuálnější směrná čísla roční potřeby vody z vyhlášky č. 428/2001 Sb.

*„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>“*

*[19]*

U rodinných domů v závislosti na očištění okolí domu a zahradních aktivitách, mimo kropení a napouštění bazénů, se připočítává 1 m<sup>3</sup>. Stejně tak se připočítává i u rekreačních objektů. [19]

Pro občanskou vybavenost udává vyhláška č. 428/2001 Sb. konkrétní tabulky, kde je možné na základě konkrétního typu občanské vybavenosti odečíst směrná čísla roční spotřeby na jednotku. [19]

Je-li počítána voda dle vyhlášky č.428/2001Sb., je nutné připočítat ještě 20 % odpovídajícím ztrátám vody způsobených úniky v síti. Výsledná průměrná denní

potřeba vody  $Q$  je sumou dílčích specifických potřeb násobených počtem jim příslušících jednotek. [2, 19]

### Nerovnoměrnost potřeby vody

Při návrhu a posuzování vodárenských zařízení je zapotřebí uvažovat, že průběh potřeby vody je časově nerovnoměrný. Je stanovována maximální denní potřeby  $Q_{max,d}$ , na kterou jsou dimenzovány zařízení pro odběr vody ze zdroje, úpravy vody, příváděcí řady a vodojemy. Druhá uvažovaná nerovnoměrnost je hodinová. Na maximální hodinovou nerovnoměrnost  $Q_{max,h}$  jsou dimenzovány zásobní a rozváděcí řady. [2]

$$Q_{max,d} = Q \cdot k_d \quad (13)$$

kde  $k_d$  je součinitel denní nerovnoměrnosti. (viz. Tab. 2)

Tab. 2: Koeficienty denní nerovnoměrnosti dle Směrnice 9/1973 Sb. [2]

	Velikostní kategorie obce	Součinitel denní nerovnoměrnosti $k_d$
a)	do 1 000 obyvatel	1.5
b)	1 000 až 5 000 obyvatel	1.4
c)	5 000 až 20 000 obyvatel	1.35
d)	20 000 až 100 000 obyvatel	1.25

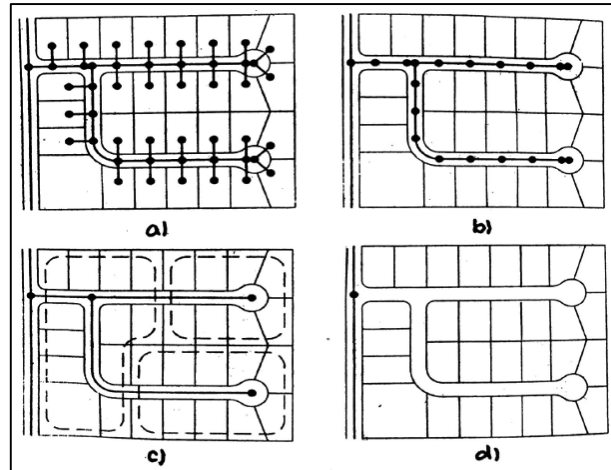
$$Q_{max,h} = Q \cdot k_h \quad (14)$$

kde  $k_h$  je součinitel hodinové nerovnoměrnosti. Jeho hodnota se dle směrnice 9/1973 Sb. pohybuje v rozmezí 1,8 až 2,1 v závislosti na charakteru zástavby. [2]

### 3.6. Rozdělení odběrů

Způsob rozdělení odběrů u vodovodní sítě ovlivňuje složitost dané sítě, se kterou souvisí také míra, ve které má být výpočet odběrů zjednodušen. Je-li výpočet prováděn ručně, použije se maximální možné zjednodušení. V případě matematického modelu je využito zjednodušení menšího stupně a jsou-li k dispozici data z informačního systému k síti, je možné počítat bez zjednodušení sítě. [2]

Na Obr. 16 jsou schematicky znázorněny stupně zjednodušení, kde pod-obrázek a) představuje síť bez zjednodušení včetně domácích přípojek a postupně se v dalších pod-obrázcích síť zjednodušuje.



Obr. 16: Stupně zjednodušení vodovodní sítě [2]

Vodovodní síť je schematizována do jednotlivých uzlů a potrubních úseků, případně okruhů. Počet uzlů rozhoduje o délce trvání výpočtu a jeho složitosti. V zásadě jsou však výpočty ustáleného proudění relativně jednoduché a řešitelné v reálném čase. Jsou-li k dispozici údaje z fakturace vodného či provozního měření, je vhodné je využít jako podklad. V případě že tyto data k dispozici nejsou, vychází se ze spočítané potřeby vody. [2]

### Výpočet odběrů z úseků

Odběr z jednotlivých úseků je označován  $q_i$ . Jeho hodnota souvisí s počtem a druhem jednotlivých objektů, které jsou na daném úseku připojeny. Je-li výchozím podkladem spočítaná potřeba vody, je odběr ovlivněn dvěma parametry jako např. délkou úseku a charakterem zástavby. [2]

$$q_i = \frac{Q_{max,h} - \sum Q_b}{\sum_{j=1}^m a_j b_j} a_1 a_2 \quad (15)$$

kde:  $q_i$  – odběr z úseku  $i$  [ $m^3/s$ ]

$Q_{max,h}$  – maximální hodinová potřeba vody [ $m^3/s$ ]

$\sum Q_b$  – součet všech bodových odběrů [ $m^3/s$ ]

$a_i$  – první parametr (např. koeficient zástavby)

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

$m$  – počet úseků



## Výpočet odběrů z uzlů

Vypočítané úsekové odběry je třeba rozdělit do jim patřících krajních uzlů. Mohou se rozdělovat pomocí součinitele  $0 < \alpha < 1$  aby uzlové odběry přesně odpovídaly charakteru sítě. Tato metoda je ovšem relativně pracná a proto se často používá rozdělení úsekového odběru mezi krajní uzly na přesné poloviny. [2]

$$G_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m q_{ij} + B_j \quad (16)$$

kde  $G_j$  – uzlový odběr z uzlu  $j$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$q_{ij}$  – úsekové odběry úseků, jejichž koncovým bodem je bod  $j$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$B_j$  – bodové odběry z bodu  $j$

$m$  – počet úseků

## Výpočet průtoků a tlaků ve větvných sítích

Větvné sítě mají jasně daný směr proudění. Při výpočtu průtoků tedy od koncových uzlů sítě jsou postupně načítány uzlové odběry až k vodojemu, jakožto zdroji tlaku. Tím postupně získáváme průtoky v jednotlivých úsecích. Ve všech uzlech zároveň musí platit zákon zachování hmoty což je nazýváno uzlovou podmínkou. Ze stanovených průtoků se na základě rovnice kontinuity snadno získají rychlosti proudění v úsecích. Díky již známým rychlostem je možné získat hodnoty ztrát, přičemž u vodovodních sítí se mohou zanedbat ztráty místní. Vzhledem k délce potrubí jsou oproti ztrátám třením nevýznamné. Nutné je započítat pouze velmi významnou místní ztrátu, kterou může představovat například regulační uzávěr. Posledním krokem je vyjádření tlaků na uzlech pomocí Bernoulliho rovnice a jejich následné vyhodnocení. Tedy zda jejich hodnoty vyhovují vyhlášce (viz. kapitola Tlaková funkce vodojemu). [2]

## Výpočet průtoků v okružných sítích

Počáteční i koncový bod je u okruhu vodovodní sítě tentýž bod. To znamená, že je stejný počet uzlů jako úseků. Zásadní je u okružných sítí, aby kromě podmínky uzlové splňovaly i tzv. okružnou podmínku. Ta je postavena na zákonu zachování energie a říká, že součet hydraulických ztrát v okruhu musí být nulový. Za tímto účelem se

zavede orientace jednotlivých okruhů proti směru hodinových ručiček a orientaci úseků charakterizuje počáteční a koncový bod. Je-li orientace úseku shodná s okruhem, přičítají se ztráty s kladným znaménkem. Je-li orientace opačná, přičítají se ztráty se záporným znaménkem. Pro další postup se okruh na nevhodnějším místě, kterým je nevýznamný úsek, rozdělí a počítá se shodným způsobem jako větevná síť. Po výpočtu ztrát se na jejich základě překontroluje okruhová podmínka. Je-li splněna s vyhovující chybovostí, výpočet je validní. V případě že tomu tak není, je nutné vypočítat opravný průtok v okruhu a síť opět přepočítat. Pro výpočet opravného průtoku slouží iterační metody Hardy Cross I a Hardy Cross II. [2]

#### **4. Základní teorie matematického modelování ve vodárenství**

Prostřednictvím matematického modelu je možné získat k dané situaci přehledný popis všech jí ovlivňujících faktorů, a to včetně vzájemných vazeb mezi prvky zkoumaného systému. Použití metody matematického modelování si s sebou nese řadu výhod a s rozvojem informačních technologií, na kterých je současná podoba matematického modelování závislá, získává velký význam v oborech přírodovědných, technických, ekonomických, ale uplatnění nachází i například v sociálních vědách. Zmíněnými výhodami jsou především níže zmíněné aspekty:

- Urychlení procesu, který by v reálném systému trval dlouhodobě. V matematickém modelování je rychlost zisku výsledků závislá na výkonnosti použité informační a komunikační technologie.
- Možnost zisku výsledných dat i přes absenci originálního systému
- Usnadnění a racionalizace poznávacího procesu, případná jednoduchost úprav
- Variantní řešení, čili výpočet více možných variant řešení.
- Méně náročné z finančního i časového hlediska oproti fyzickému modelu

[27]

##### **4.1. Matematický model**

Rozumí se jím model, který je abstraktní a chování zkoumaného systému vyjadřuje prostřednictvím matematického zápisu. Výhody tkví v přesných pravidlech, jak s matematickými symboly operovat, a možnosti využití moderních informačních technologií při zpracovávání. Není možné matematickým zápisem dokonale popsat reálný systém, z toho důvodu je zásadní před samotnou stavbou matematického

modelu definovat cíle, které jsou od modelu očekávány, a požadovanou přesnost modelu. Od těchto požadavků se pak odvíjí typ modelu, použitý software, ale i hardware informačních technologií, zajištění množství a podrobnosti vstupních dat. [27, 28]

Struktura každého matematického modelu je dělena do tří skupin:

- Proměnné a konstanty, které reprezentují vlastnosti daného systému
- Matematické struktury neboli omezující podmínky
- Řešení matematického modelu

[27]

V hydrodynamice je popis úloh zprostředkován soustavou řídicích, obvykle parciálních diferenciálních, rovnic, jež doplňují okrajové a počáteční podmínky. Pomocí numerických metod je snaha parciální rovnice převést na soustavu algebraických, především lineárních, rovnic, jejichž řešením jsou získány hodnoty hledaných veličin v nespojitých bodech. Patrně nejstarší numerickou metodou je tzv. metoda konečných diferencí. Ta je ovšem v současné době spíše na ústupu. Naopak velmi využívanou je tzv. metoda konečných prvků. Pro výpočet hydraulické analýzy trubních sítí jsou využívány především metody iterační. [28]

#### **4.2. Matematické modelování vodárenských systémů**

Matematické modelování si u vodárenských systémů dává za cíl analyzovat tlakové a průtokové poměry v síti za standardních a nestandardních podmínek. Jedná se o efektivní způsob, jak získat komplexní přehled o celé vodovodní síti. Možnou alternativou by mohlo být osazení měřících zařízení, která zaznamenávají tlak a průtok na síti. V takovém případě už však musí jít o stávající síť. Navíc k získání vypovídajících údajů pro celou síť by bylo nutné osadit velký počet měřících jednotek, což je ekonomicky velmi nákladné. Matematický model se tedy jeví jako velmi elegantní řešení. [28]

Zásadním předpokladem pro modelování proudění vody ve vodovodních sítích je získání základních topologických a hydraulických dat, údajů o vřecích do sítě a odběrech, atd. Konkrétně se jedná o tato data. [28]

- „*geometrie řešené sítě – údaje směrové, délkové, výškové a polohové*“ [28]
- „*základní hydraulické informace – světlost, materiál potrubí*“ [28]

- „údaje o objektech ovlivňující řešenou síť – čerpadla, vodojemy, uzávěry, ...“ [28]
- „hodnoty odběrů a vtoků do sítě“ [28]

Pro jednodušší práci s modelem a s ohledem na podrobnost dat je možné model zjednodušovat. Zjednodušujícími předpoklady jsou snížení počtu odběrných míst či časově nezávislé řešení. [28]

### **4.3. Software pro matematické modelování ve vodárenství**

Programů pro matematické modelování vodovodních sítí je celá řada. Tato kapitola má však za cíl věnovat se pouze dvěma z nich. Konkrétně softwaru Epanet, jelikož na jeho výpočetní jádro navazuje velká část dalších programů. A to mimo jiné včetně programu InfoWater, což bude druhý zmiňovaný program, jelikož v něm byl zpracován model k praktické části této bakalářské práce.

#### **4.3.1. Epanet 2.0**

Epanet 2.0 je softwarem využívaným po celém světě k modelování distribučních vodovodních sítí. Má široké spektrum využití. Může sloužit při navrhování zcela nové sítě, modelování stávajících či k optimalizaci provozu sítě tak, aby byl provoz co nejúspěšnější a zajišťoval dodávku vody v co nejlepší kvalitě. Jeho vývojářem je americká agentura pro ochranu životního prostředí (EPA). Jedná se o volně dostupný a šiřitelný program, což představuje velkou výhodu, jelikož u ostatních softwarů představuje nákup licence výrazný náklad. Zároveň díky volně dostupným zdrojovým kódům používá řada soukromých společností výpočetní jádro Epanetu při tvorbě svých vlastních softwarů. [29, 30]

#### **4.3.2. InfoWater**

InfoWater je software vyvinutý společností Innowyze. Jak již bylo řečeno, jeho výpočetní jádro je přebráno z Epanetu. Oproti Epanetu je však podstatně uživatelsky přívětivější, a to hlavně z toho důvodu, že pracuje na pozadí GIS aplikace ArcGIS. Nabízí možnost tzv. „what-if“ variantních řešení, dokáže modelovat, jak síť ovlivní případná porucha, požár, odstávka či kontaminace vody. Dále nabízí i modelování stárnutí vody. [31]

## **B. Praktická část**

Cílem praktické části předkládané bakalářské práce je zpracování návrhu variantních řešení zásobení vybrané obce pitnou vodou na úrovni studie proveditelnosti na základě aplikace poznatků získaných v teoretické části. Pro tento záměr byla konkrétně vybrána obec Borovnička ležící na severo-východě Královehradeckého kraje v těsné blízkosti hranic s krajem Libereckým.

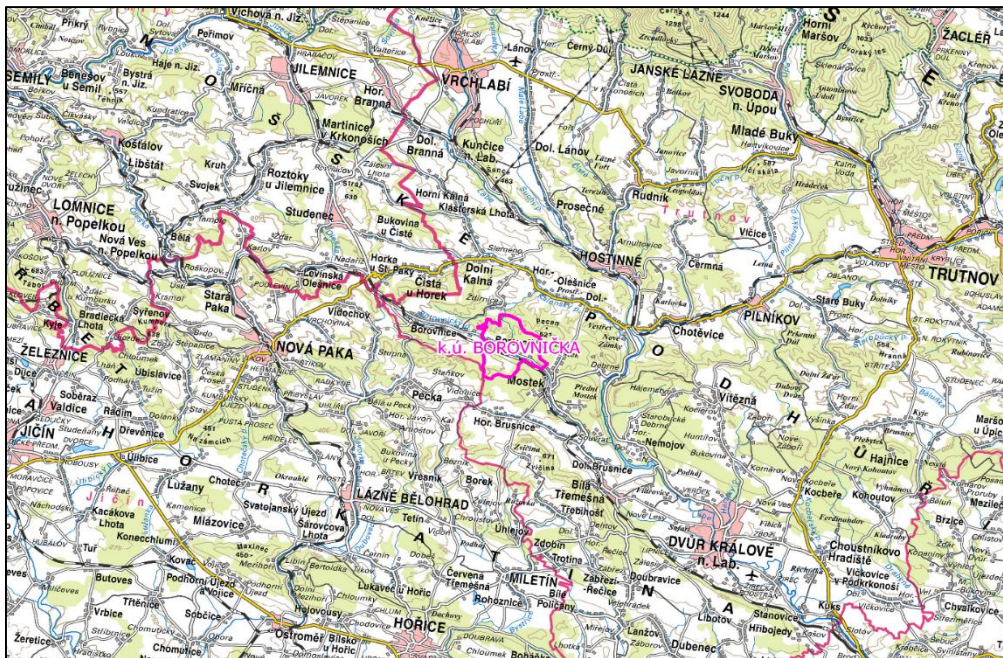
### **1. Výchozí podklady**

Podklady, z nichž se při tvorbě praktické části předkládané práce vycházelo, jsou zmíněny zde:

- Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Královehradeckého kraje
- Mapové podklady: ZM10, ZM25, ZM50, ZM100, ZM200, ortofoto mapa, DMR 5G
- Orientační ceny Ministerstva pro místní rozvoj dle rozpočtových ukazatelů ([www.uur.cz](http://www.uur.cz))
- Podklady od zástupců obcí ležících v blízkosti zájmového území

#### **1.1. Popis řešeného území**

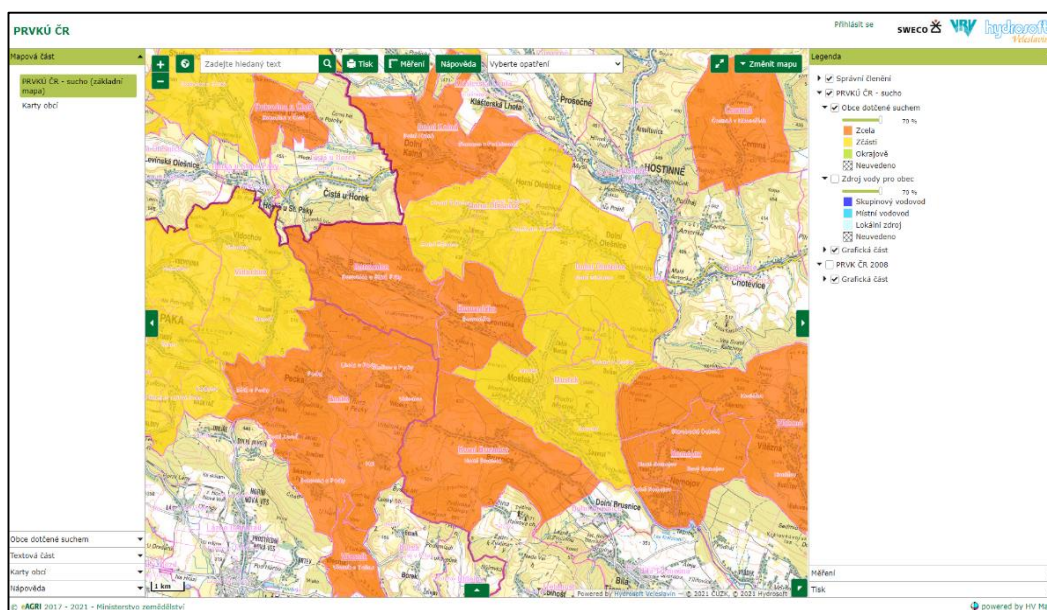
Předmětem řešení je návrh zásobování obce Borovničky pitnou vodou. Ta leží zhruba 15 km od města Dvůr Králové severozápadním směrem v oblasti Krkonošského předhůří (viz. Obr. 17). Lokalita je situována v blízkosti hranice Libereckého kraje a kraje Královehradeckého, pod který obec spadá. Konkrétně se jedná o okres Trutnov. Pro obec Borovničku je charakteristická značně rozptýlená venkovská zástavba, rozmístěná především v údolí Borovnického potoka, jakožto pravostranného přítoku řeky Labe. Výškopis území obce se pohybuje v okolí 450 – 470 m n. m. Borovnička svou polohou spadá do CHOPAV Východočeská křída a leží v PHO II. vnějšího stupně veřejných zdrojů pitné vody. Skrze obec vede silnice III. třídy ze Dvora Králové nad Labem do Vrchlabí a železniční trať vedoucí z Jaroměře do Staré Paky a Turnova. [32, 33]



Obr. 17: Řešené území na podkladu ZM200

## 1.2. Současný stav zásobení obce pitnou vodou

Obec Borovnička v současné době nemá vybudovaný veřejný vodovod. Zásobování trvale i přechodně bydlících obyvatel je realizováno individuálně ze soukromých studní. Na základě informací obce není vydatnost studní zcela dostatečná. Tuto informaci potvrzuje i mapa sucha z <https://prvk.hydrosoft.cz/zakladni-mapa> (viz. Obr. 18). Údaje o kvalitě vody v lokalitě nejsou k dispozici. [32]

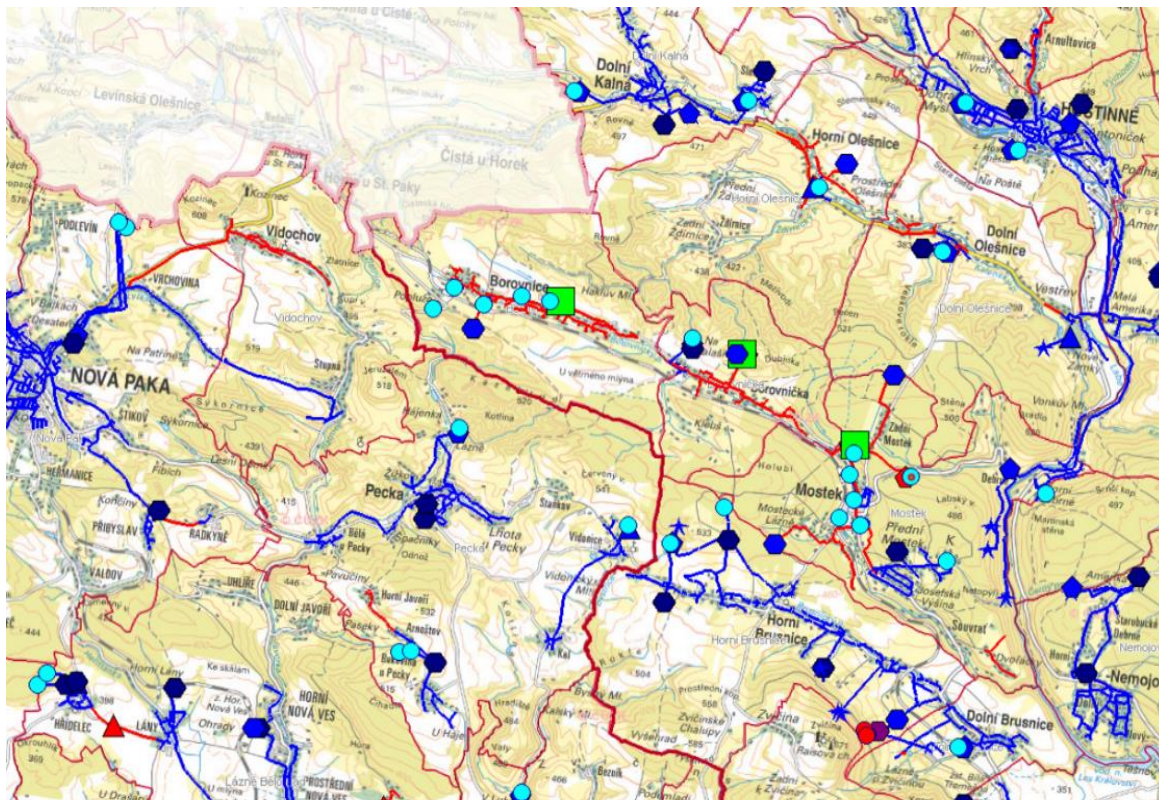


Obr. 18: Výstřižek zájmového území z mapy znázorňující postiženost suchem [34]



V obci je provozován vodovod Borovnička – kravín, který zásobuje malou část trvale bydlících obyvatel. Jedná se o vodovod v majetku obce bez statutu veřejného vodovodu, který ani nespĺňuje kritéria pro veřejné vodovody. Zdrojem surové vody je studna z roku 1961 a další čtyři vrty. Dále je voda čerpána do ATS, ze které je tlačena zásobním řadem do vodojemu, odkud je gravitačně rozváděna ke spotřebitelům. Rozbory vody nebyly provedeny, ale na základě informací, uvedených v kartě PRVKÚK náležící obci Borovnička, pravděpodobně nevyhoví platným předpisům kvůli výskytu většího množství dusičnanů. Surová voda není nikterak upravována. Objekty včetně vodovodních řadů jsou ve špatném stavu. Pro obec Borovnička byla zpracována urbanistická studie, jejímž závěrem je doporučení vybudovat pro celou obec veřejný vodovod. Při návrhu se nepočítá s možností využít stávající objekty a technologii vodovodu Borovnička – kravín. [35, 32]

Na Obr. 19 je výstřižek zájmového území z mapy PRVKÚK. Informace v této mapě ovšem nejsou zcela aktuální. Na základě telefonické komunikace se starostkou obce Mostek a se starostkou obce Borovnice bylo zjištěno, že vodovodní síť v těchto obcích, které jsou v mapě PRVKÚK uvedeny jako navrhované, jsou ve skutečnosti již stávajícími. [35]



Obr. 19: Výstřižek zájmového území z mapy PRVKÚK [36]

### **1.3. Územní plánování v zájmovém území**

Užitečným podkladem při řešení návrhu zásobování obce pitnou vodou je její územní plán. Přináší důležité informace ohledně výhledového vývoje zástavby v rámci katastru obce, díky kterým lze lépe zohlednit potřebnou dimenzi potrubí pro dané rozváděcí řady. Obec Borovnička bohužel územní plán vypracovaný nemá.

## **2. Stanovení potřeby vody**

Pro určení potřeby vody, jakožto jednoho z hlavních podkladů potřebných pro návrh vodovodní sítě, byla použita metodika směrnice č. 9/1973 s aktualizovanými směrnými čísly roční potřeby vody, nacházejícími se v příloze č. 12 vyhlášky č. 428/2001 Sb. Celkově výpočet obsahuje dvě hodnoty potřeby vody, lišící se pouze ve vstupní hodnotě počtu obyvatel. První případ počítá s aktuálním počtem obyvatel získaný z posledního Sčítání lidu z roku 2011. Druhý, pro návrh důležitější, uvažuje výhledový počet obyvatel v horizontu 20 let. Tento údaj byl stanoven starostkou obce Borovnička na hodnotu 200 obyvatel. Výpočet potřeby vody pro občanskou vybavenost byl postaven na základě aktuální občanské vybavenosti v obci, která byla konzultována se starostkou obce Borovnička, a směrných čísel roční potřeby pro občanskou vybavenost dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. Jako jediný významný odběratel byl uvažován výrobce bazénů A&M Borovnička se spotřebou vody 250 m<sup>3</sup>/rok. Ve výpočtu potřeby vody je v případě tohoto odběratele počítáno fixně s tímto údajem. Konkrétní výpočty jsou zaznamenány v Tab. 3 a Tab. 4.



Tab. 3 Výpočet průměrné potřeby vody pro současný počet obyvatel

a) POTŘEBA VODY PRO SOUČASNÝ POČET OBYVATEL			
Vstupní údaje			
Počet obyvatel (současnost - viz. Sčítání 2011)		178	
Počet rodinných domů (viz. Nahlížení do KN)		93	
Průmysl, zemědělství		-	
Směrná čísla roční potřeby vody (viz. č. 428/2001 Sb., příloha č. 12)			
specifická potřeba na obyvatele $q_b$	35,0	$m^3/(os*rok)$	
	95,9	$l/(os*den)$	
potřeba spojená s očistou okolí rodinného domu	1,0	$m^3/(os*rok)$	
	2,7	$l/(os*den)$	
CELKEM:			
	$Q_b$	17323,3	$l/den$
		17,323	$m^3/den$
Občanská vybavenost (viz. č. 428/2001 Sb., příloha č. 12)			
		směrné číslo na jednotku	počet jednotek
Turistická ubytovna, kapacita 50 hostů, záchody a umývárny na patře	15	$m^3/(lůžko*rok)$	50
Restaurační zařízení "U Hraběte" v rámci turistické ubytovny	8	$m^3/(lůžko*rok)$	50
Krakonošova hospoda (2 pracovníci/směna) + mytí skla bez trvalého průtoku	110	$m^3/(pracovník\ ve\ směně/rok)$	2
CELKEM:			
	$Q_{ov}$	3753,4	$l/den$
		3,753	$m^3/den$
Konkrétní velcí odběratelé			
Bazény A&M Borovnička	684,9	$l/den$	
	0,685	$m^3/den$	
CELKEM:			
	$Q_b$	684,9	$l/den$
		0,685	$m^3/den$
Potřeba Celkem			
	$Q_o$	21761,6	$l/den$
		21,762	$m^3/den$

Tab. 4 Výpočet průměrné potřeby vody pro výhledový počet obyvatel

b) POTŘEBA VODY PRO VÝHLEDOVÝ POČET OBYVATEL			
Vstupní údaje			
Počet obyvatel (výhled)	200		
Počet rodinných domů (viz. Nahlížení do KN)	93		
Průmysl, zemědělství	-		
Směrná čísla roční potřeby vody (viz. č. 428/2001 Sb., příloha č. 12)			
specifická potřeba na obyvatele $q_b$	35,0	$m^3/(os*rok)$	
	95,9	$l/(os*den)$	
potřeba spojená s očistou okolí rodinného domu	1,0	$m^3/(os*rok)$	
	2,7	$l/(os*den)$	
CELKEM:			
$Q_b$	19432,9	$l/den$	
	19,433	$m^3/den$	
Občanská vybavenost (viz. č. 428/2001 Sb., příloha č. 12)			
	směrné číslo na jednotku		počet jednotek
Turistická ubytovna, kapacita 50 hostů, záchody a umývárny na patře	15	$m^3/(lůžko*rok)$	50
Restaurační zařízení "U Hraběte" v rámci turistické ubytovny	8	$m^3/(lůžko*rok)$	50
Krakonošova hospoda (2 pracovníci/směna) + mytí skla bez trvalého průtoku	110	$m^3/(pracovník\ ve\ směně/rok)$	2
CELKEM:			
$Q_{ov}$	3753,4	$l/den$	
	3,753	$m^3/den$	
Konkrétní velcí odběratelé			
Bazény A&M Borovnička	684,9	$l/den$	
	0,685	$m^3/den$	
CELKEM:			
$Q_b$	684,9	$l/den$	
	0,685	$m^3/den$	
<b>Potřeba Celkem</b>			
$Q_o$	23871,2	$l/den$	
	23,871	$m^3/den$	

V souvislosti s použitím směrných čísel roční potřeby vody z vyhlášky č. 428/2001 Sb. je nutné uvažovat s 20 % ztrátami vody v síti, což odpovídá množství vody nefakturované. Nerovnoměrnost v odběrech definují koeficienty denní a hodinové nerovnoměrnosti, s jejichž pomocí se stanovuje maximální denní potřeba  $Q_{\max,d}$  a maximální hodinová potřeba vody  $Q_{\max,h}$ . Koeficient denní nerovnoměrnosti pro dané zájmové území byl určen dle tabulky ze směrnice 9/1973 (viz. Tab. 2 v Teoretické části). V případě koeficientu hodinové nerovnoměrnosti směrnice 9/1973 uvádí hodnotu v rozmezí 1,8 až 2,1. Vzhledem k tomu, že řešené spotřebiště je malé a tím pádem rozkolísanost lze předpokládat jako velmi výraznou, určení hodnoty hodinové nerovnoměrnosti proběhlo interpolací z Tab. 5 dle ČSN 75 6101, která běžně slouží pro dimenzování gravitačních splaškových kanalizací. Použitím těchto dat je návrh „na straně bezpečnosti“.

Tab. 5 Součinitel hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101 [37]

Počet obyvatel	$K_h$
30	7,2
50	6,7
100	5,9
500	2,6
1 000	2,2
3 000	2,1
5 000	2,0
15 000	1,9
> 30 000	1,8

Výpočet potřeb vody se zahrnutím vody nefakturované, koeficientu denní nerovnoměrnosti a koeficientu hodinové nerovnoměrnosti uvádí Tab. 6. Hlavními podklady pro další postup návrhu řešení jsou maximální denní potřeba  $Q_{\max,d}$  a maximální hodinová potřeba  $Q_{\max,h}$  pro výhledový stav.

Tab. 6 Výsledné hodnoty potřeby vody

Spotřebiště - stav	PZO	$Q_{pVF}$	%VNF	$Q_{VNF}$	$Q_p$	$K_d$	$Q_d$	$K_h$	$Q_h$
	[ob]	[l/s]	[%]	[l/s]	[l/s]	[-]	[l/s]	[-]	[l/s]
Borovnička - současný stav	178	0,25	20,0	0,05	0,30	1,5	0,43	5,3	2,05
Borovnička - výhledový stav	200	0,28	20,0	0,06	0,33	1,5	0,47	5,1	2,17

### 3. Uvažované varianty řešení vodovodního systému v obci

Význam této kapitoly spočívá v předložení konkrétních návrhů variantních řešení systému pro zásobení obce Borovničky pitnou vodou. Po analýze zájmové oblasti na základě podkladů zmíněných v kapitole 4.1. bylo uvažováno celkem šest variant řešení (viz. Obr. 20).

- Varianta 1. – vybudování lokálního zdroje vody
- Varianta 2. – napojení na vodovod v obci Mostek
- Varianta 3. – napojení na vodovod v obci Borovnice
- Varianta 4. – napojení na skupinový vodovod Hostinné přímým přivaděčem
- Varianta 5. – napojení na skupinový vodovod Hostinné včetně připojení obcí Mostek a Borovnice
- Varianta 6. – napojení na vodovod v obci Horní Brusnice

Varianta č. 1 počítá s návrhem nového vlastního zdroje surové vody v katastrálním území obce Borovnička. Konkrétně jsou uvažovány dva podzemní jímací vrty osazené ponorným čerpadlem. Za tímto účelem byla zpracována hydrogeologická rešerše, která k v této bakalářské práci slouží jako podklad, s cílem vytipovat vhodná místa pro zhotovení jímacích vrtů.

Varianta č. 2 uvažuje s napojením na sousední obec Mostek, ležící jihovýchodně od obce Borovnička. Prvotní krok řešení této varianty spočíval v získání informací a podkladů k vodovodnímu systému v obci Mostku, a to především prostřednictvím PRVKÚKu Královehradeckého kraje. Za účelem ověření získaných informací, jejich aktualizace a případným doplněním byla posléze kontaktována starostka obce Mostek. Došlo k zjištění, že obec Mostek má stávající veřejný vodovod zásobený prostřednictvím místních zdrojů. Majitelem i provozovatelem tohoto vodovodu je sama obec. K záměru navrhované varianty se starostka obce Mostku vyjádřila jednoznačně nesouhlasně. Argumentace nesouhlasu spočívala v nedostatečné vydatnosti zdrojů, jejichž kapacita by již pro připojení obce Borovnička nebyla dostačující. Z toho důvodu lze variantu č. 2 označit jako nerealizovatelnou a není důvod ji dále rozvádět.

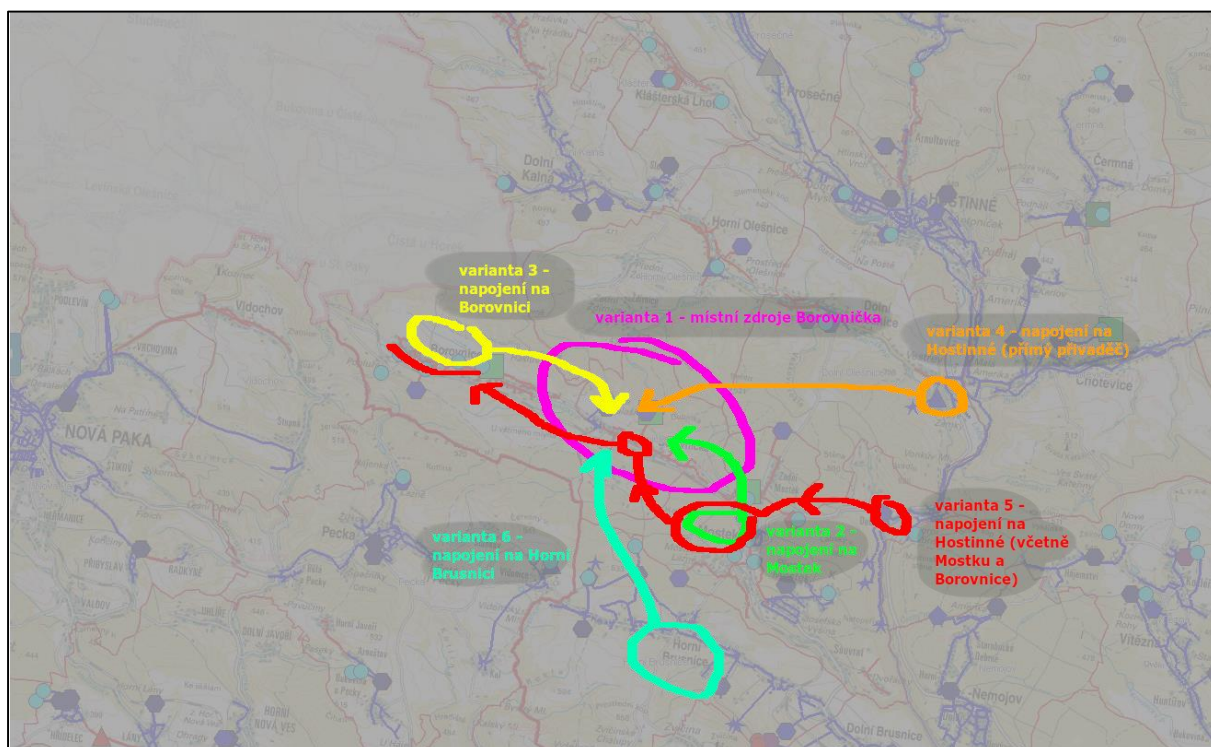
Varianta č. 3 spočívá v napojení na sousední obec Borovnici, která leží severozápadně od obce Borovničky. Na základě informací a podklad, jejichž získání

a ověřování probíhalo obdobně jako v případě varianty č. 2, bylo zjištěno následující. Borovnice má nově vybudovanou síť veřejného vodovodu s místními zdroji vody a zároveň je majitelem i provozovatelem této sítě. Vydatnost vrtu, ze kterého je voda pro potřeby obce jímána, bohužel nemá pro možnost napojení obce Borovničky dostatečnou vydatnost. Maximální povolený odběr vrtu byl stanoven na 0,65 l/s a průměrný odběr činí 0,45 l/s. Vzhledem k vypočítané maximální denní potřebě vody pro obec Borovničku, která se pohybuje okolo 0,5 l/s je zřejmé, že vydatnost je skutečně nedostatečná. Starostka obce Borovnice se ovšem zmínila o záměru vybudovat pro potřeby obce ještě jeden jímací vrt a zemní vodojem, který zdůvodnila nezajištěnými minimálními přetlaky v kritických místech spotřebišť. Pro tento záměr je již uděleno stavební povolení. Ukázal-li by se tento nový zdroj jako dostatečně vydatný, aby v kombinaci se stávajícím zdrojem dokázal pokrýt potřebu vody obou obcí, stála by tato varianta za zvážení.

Varianta č. 4 počítá s napojením na nadřazený skupinový vodovodní systém v okolí obce Hostinné. V této variantě je uvažováno s vybudováním přímého přiváděcího řadu. Vzhledem k velké vzdálenosti mezi možným místem napojení na skupinovou vodovodní síť a obcí Borovnička je pravděpodobné, že tato varianta bude značně nevýhodná z hlediska investičních nákladů na realizaci.

Varianta č. 5 spočívá v propojení vodovodních sítí obcí Borovnice, Borovnička a Mostek a jejich připojení na skupinový vodovod v Hostinném. Vznikla by tak nová část skupinového vodovodu. Tato varianta by se zdála být výhodná ze předpokladu, že by obce Borovnice a Mostek měly své obecní vodovody ve špatném stavu, či by veřejný vodovod neměly vybudovaný vůbec. Dle informací získaných od zástupců obou obcí však má veřejný vodovod Mostek i Borovnice. V návaznosti na toto zjištění je řešení navrhané ve variantě č. 5 nevhodné.

Varianta č. 6 předpokládá napojení obce Borovnička na vodovodní systém v obci Horní Brusnice. Po analýze vodovodní sítě v obci Horní Brusnice na základě informací v PRVKÚK vyplynulo, že se jedná o vodárenský systém, který je rozdělen do pěti na sobě nezávislých subsystémů, z nichž každý má svůj vlastní zdroj vody v podobě jímacího vrtu a také svůj vodojem. Tato dispozice vodovodní sítě v souvislosti s malými vydatnostmi jednotlivých vrtů neumožňuje efektivní způsob napojení. Z toho důvodu tuto variantu lze vyloučit.



Obr. 20: Přehled navrhovaných variant na podkladu mapy PRVKÚK

Z výše zmíněných základních rozborů jednotlivých uvažovaných variant řešení plyne, že má smysl podrobněji rozebírat tyto varianty:

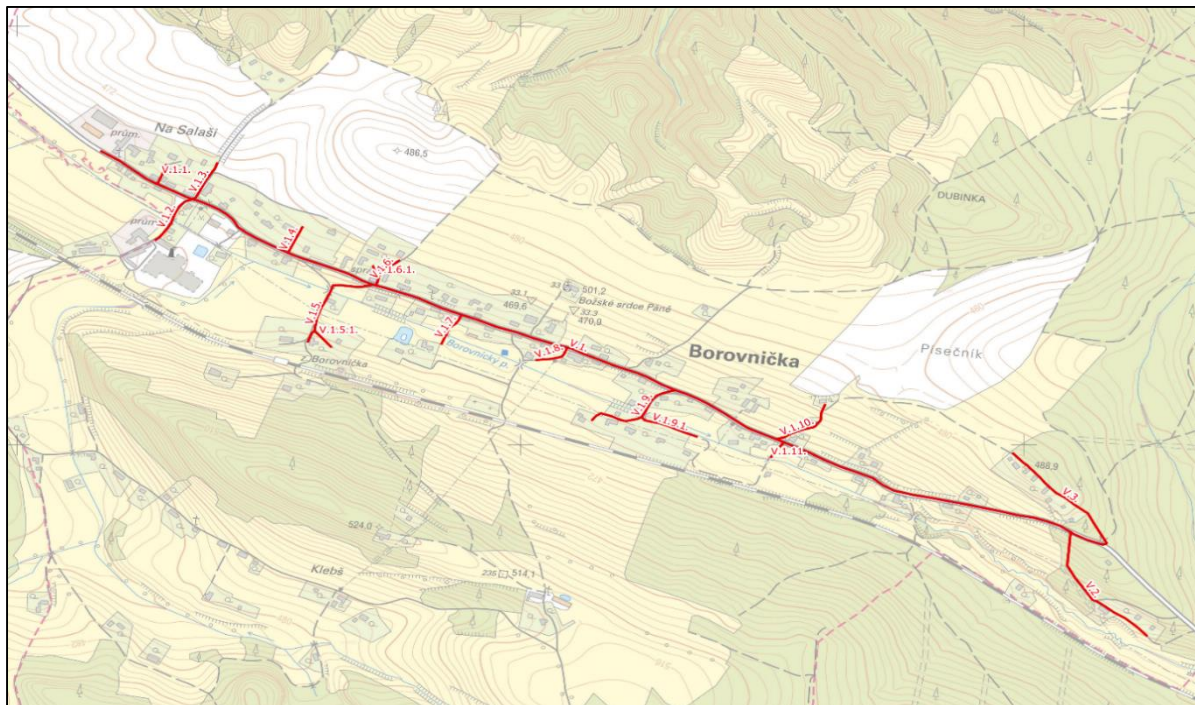
- Varianta 1. – vybudování lokálního zdroje vody
- Varianta 3. – napojení na vodovod v obci Borovnice
- Varianta 4. – napojení na skupinový vodovod Hostinné přímým přivaděčem

### 3.1. Návrh rozváděcích řadů

Situační trasování rozváděcích řadů je řešeno totožně ve všech uvažovaných variantách. Odlišnost se v rámci jednotlivých variant může objevit pouze v dimenzi řadů, což má souvislost s umístěním vodojemu. Řady jsou navrženy tak, aby byla zásobena zástavba podél hlavní dopravní komunikace, která obcí Borovničkou prochází. Obecní část Klebš, ležící ve vedlejším údolí, nebude z důvodu investičních nákladů na veřejný vodovod napojena. S případem nutnosti napojení této obecní části v příštích letech však bylo uvažováno při návrhu umístění vodojemu. Konkrétně byla snaha jej umístit na ke Klebši přilehlou stráň, což výrazně usnadní rozšíření veřejného vodovodu při případné další etapě výstavby. Schéma navržených rozváděcích řadů



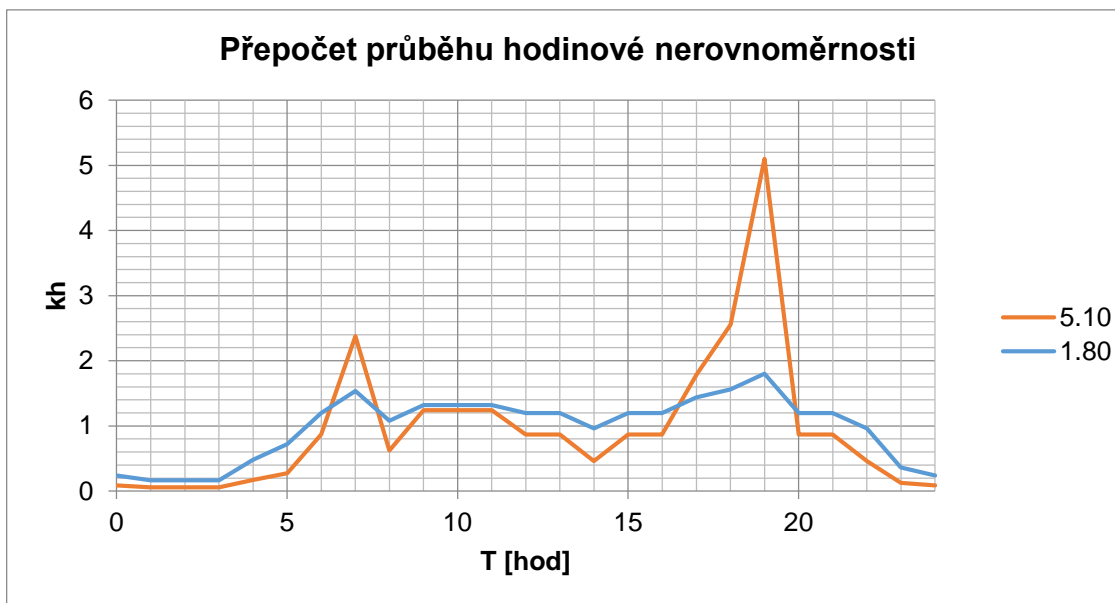
v obci Borovnička je znázorněno na Obr. 21. Navrhovaným trubním materiálem rozváděcích řadů je polyetylen (PE - SDR 11). Hlavní rozváděcí řad V.1. je navržen jako De 90 a zbytek rozváděcích řadů pak jako De 63.



Obr. 21: Schéma navrhovaných rozváděcích řadů s jejich označením

### 3.2. Návrh vodojemu

Kopcovitý charakter zájmového území znamená předpoklad, že generování dostatečných přetlaků lze řešit pomocí zemního vodojemu. Zásobní objem zemního vodojemu, jehož dimenzování je závislé na maximální denní potřebě vody  $Q_{\max,d}$ , bude pro všechny varianty stejný a přítok do vodojemu bude ve všech variantách kontinuální. Vzhledem k použití maximálního koeficientu hodinové nerovnoměrnosti  $k_h=5,1$ , místo směrnici 9/1973 uváděné hodnoty  $k_h=1,8$ , bylo nutné přepočítat vzor rozdělení potřeby vody v průběhu dne. Výsledné porovnání rozdělení potřeby vody během dne dle výše zmíněných koeficientů hodinové nerovnoměrnosti je znázorněno na Obr. 22.



Obr. 22: Graf znázorňující rozdělení potřeby vody dle koef. hod. nerovnoměrnosti

V dalším kroku se provedla výškopisná analýza zájmové oblasti. Velmi vhodným nástrojem pro zpracování této analýzy je digitální model reliéfu. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) umožňuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. V kombinaci s již navrženou rozvodnou sítí lze v prostředí programu QGIS jednoduše vytvořit podélný profil sítě, a na jeho základě určit nejvýše a nejniže položený bod ve spotřebišti, což jsou kritické body z hlediska dodržení přetlakové podmínky. Výsledky této analýzy jsou zaznamenány v Tab. 7.

Tab. 7: Výškopisná analýza spotřebišť

<b>ANALÝZA SPOTŘEBIŠTĚ</b>		
max. nadmoř. výška	488.59	m n. m.
min. nadmoř. výška	450.36	m n. m.
<b>ROZDÍL</b>	<b>38.23</b>	<b>m</b>
max. nadmoř. výška - bez krizového řadu V.3.	475.85	m n.m.
min. nadmoř. výška	450.36	m n.m.
<b>ROZDÍL</b>	<b>25.50</b>	<b>m</b>

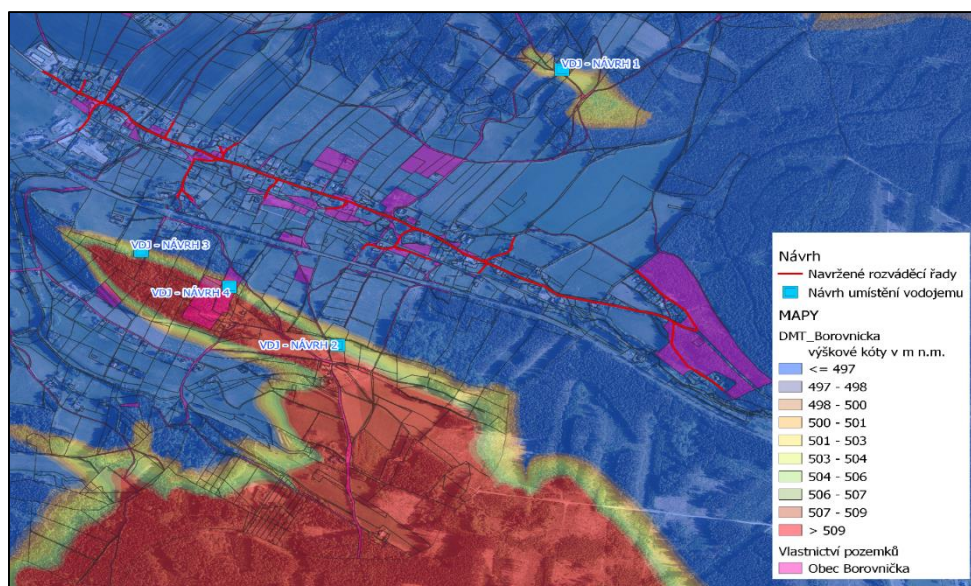


Z pohledu výškopisu se ukázal jako kritický především rozváděcí řad V.3., jehož nejvyšší bod leží ve značně větší nadmořské výšce, nežli zbylá většina spotřebišť. Vzhledem k tomu, že tento řad zásobí pouze 4 odběratele, lze jej při hledání místa vodojemu z analýzy vypustit. Tlaková podmínka se následně přesněji ověří pomocí matematického modelu a v případě nevyhovující hodnoty je možné problém na tomto řadu dodatečně řešit navržením ATS, která přetlak posílí.

Tab. 8: Výškové umístění VDJ Borovnička

<b>VÝŠKOVÉ UMÍSTĚNÍ VODOJEMU (bez kritického řadu V.3.)</b>	
max. výška hydrostatický přetlak (60 m v. sl.) [m n. m.]	510.40
min. výška hydrodynamický přetlak (15m v. sl. + 5 m ztráty) [m n. m.]	495.85

Při hledání vhodného místa pro umístění vodojemu lze opět použít digitální model reliéfu. Tentokrát zformátovaný tak, aby barevně oddělil výškové pásmo (viz. Tab. 8), ve kterém má být vodojem umístěn. Podstatné kritérium při výběru místa představuje zároveň blízkost dopravní komunikace, po které je možné se k vodojemu dostat. Z majetkoprávního hlediska je vhodné, pokud je pro umístění vodojemu vybrána parcela ve vlastnictví obce. Ve snaze vyhovět všem výše zmíněným požadavkům byla předběžně vytipována 4 místa pro umístění vodojemu Borovnička (viz. Obr. 23).



Obr. 23: Návrhy umístění vodojemu

V dalším kroku byla na základě výše zmíněných podkladů provedena bilance provozního objemu navrhovaného vodojemu Borovnička. Výpočet zpracovává Tab. 9.

Tab. 9: Výpočet provozního objemu

Výpočet provozního objemu VDJ Borovnička												
Q <sub>dmax</sub> =		40.58		m <sup>3</sup> .den <sup>-1</sup> =		1.69		m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>		přítok - odběr		
hodina		Přítok		Odběr		Přebytky		bilance objemů		součtové čáry		
od	do	[%]	m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>	[%]	m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>	[%]	[ m3]	[%]	[ m3]	přítok	odběr	
0	-1		4.17	1.69	0.35	0.14	3.81	1.55	3.81	1.55	0.00	0.0
1	-2		4.17	1.69	0.25	0.10	3.92	1.59	7.73	3.14	1.69	0.14
2	-3		4.17	1.69	0.25	0.10	3.92	1.59	11.65	4.73	3.38	0.24
3	-4		4.17	1.69	0.25	0.10	3.92	1.59	15.57	6.32	5.07	0.34
4	-5		4.17	1.69	0.71	0.29	3.46	1.40	19.03	7.72	6.76	0.44
5	-6		4.17	1.69	1.14	0.46	3.02	1.23	22.05	8.95	8.45	0.73
6	-7		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	22.59	9.17	10.15	1.20
7	-8		4.17	1.69	9.91	4.02	-5.74	-2.33	16.85	6.84	11.84	2.67
8	-9		4.17	1.69	2.59	1.05	1.57	0.64	18.43	7.48	13.53	6.69
9	-10		4.17	1.69	5.17	2.10	-1.00	-0.41	17.42	7.07	15.22	7.74
10	-11		4.17	1.69	5.17	2.10	-1.00	-0.41	16.42	6.66	16.91	9.84
11	-12		4.17	1.69	5.17	2.10	-1.00	-0.41	15.42	6.26	18.60	11.94
12	-13		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	15.96	6.48	20.29	14.03
13	-14		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	16.50	6.70	21.98	15.51
14	-15		4.17	1.69	1.91	0.78	2.26	0.92	18.76	7.61	23.67	16.98
15	-16		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	19.30	7.83	25.36	17.75
16	-17		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	19.84	8.05	27.05	19.22
17	-18		4.17	1.69	7.42	3.01	-3.26	-1.32	16.58	6.73	28.74	20.70
18	-19		4.17	1.69	10.64	4.32	-6.48	-2.63	10.10	4.10	30.44	23.71
19	-20		4.17	1.69	21.25	8.62	-17.08	-6.93	-6.98	-2.83	32.13	28.03
20	-21		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	-6.44	-2.61	33.82	36.65
21	-22		4.17	1.69	3.63	1.47	0.54	0.22	-5.90	-2.39	35.51	38.12
22	-23		4.17	1.69	1.91	0.78	2.26	0.92	-3.64	-1.48	37.20	39.59
23	-24		4.17	1.69	0.53	0.22	3.64	1.48	0.00	0.00	38.89	40.37
24			100.00	40.58	100.00	40.58	0.00	0.00			40.58	40.58

balance<sub>max</sub> = 22.6 % 9.17 m<sup>3</sup>  
 balance<sub>min</sub> = -7.0 % -2.83 m<sup>3</sup>  
 S abs = 29.6 % 12.00 m<sup>3</sup>

Provozní objem je roven:

$$V_{\text{provozní}} = 12,0 \text{ m}^3 = 29,57\% Q_{\text{max},d} \quad (17)$$

K zabezpečení obce Borovnička vodou pro požární účely je v současné době využíván Borovnický potok a případně také nádrže umístěné v obcích Mostek a Borovnice. Za předpokladu zájmu obce lze řešit zabezpečení požární vodou v obci pomocí nově navrhovaného veřejného vodovodu. Podmínkou by však byla nutnost tomuto záměru přizpůsobit dimenze rozváděcích řadů a také zohlednit dílčí objem požární vody při dimenzování vodojemu Borovnice. Vzhledem ke v obci se nacházejícímu výrobnímu objektu „Bazény A&M Borovnička“ jsou dle ČSN 73 0873 požadavky na potrubí minimální dimenze 100 mm, odběr vody alespoň 6 l/s a minimální obsah nádrže 22 m<sup>3</sup>. V případě že by se požární zabezpečení vztahovala v rámci veřejného vodovodu pouze na rodinnou zástavbu, stanovuje ČSN 73 0873 požadavky na minimální dimenzi 80 mm, odběr vody alespoň 4 l/s a minimální obsah nádrže 14 m<sup>3</sup>. [38]

$$V_{\text{požární}} = 3,6 \cdot Q_p \cdot t \cdot n \quad (18)$$

kde  $Q_p = 6 \text{ l/s}$  (odběr)

$t = 2 \text{ hod}$  (doba odběru)

$n = 1$  (počet odběrových míst)

$$V_{\text{požární}} = 3,6 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 1 = 43,2 \text{ m}^3$$

Posledním dílčím objemem nutným stanovit při dimenzování zemního vodojemu je tzv. rezervní objem, jehož účelem je pokrýt poruchu v případě výpadku dodávky vody. Doba výpadku dodávky vody  $T$  se předpokládá v intervalu 6 až 12 hodin.

$$V_{\text{rezervní}} = Q_{\text{max},d} \cdot \frac{T}{24} \quad (19)$$

$$V_{\text{rezervní (pro 6 hod)}} = 40,58 \cdot \frac{6}{24} = 10,2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{rezervní (pro 12 hod)}} = 40,58 \cdot \frac{12}{24} = 20,3 \text{ m}^3$$

Celkový požadovaný objem vodojemu je vyjádřen v Tab. 10 a Tab. 11. Zpracovány jsou varianty s uvažovanou zásobou požární vody i bez ní. Varianta bez uvažované zásoby požární vody má zhruba o polovinu menší nároky na celkový zásobní objem vodojemu. Navíc za předpokladu realizace této varianty odpadá požadavek na minimální dimenzi rozváděcích řadů, což je výhodné z investičního i, v návaznosti na stárnutí vody ve spotřebišti, provozního hlediska. Proto bylo pokonzultaci se starostkou obce Borovnička rozhodnuto, že je varianta návrhu veřejného vodovodu bez zabezpečení požární vody pro obec Borovničku vhodnějším řešením. Zajištění požární vody je dále uvažováno stávajícím způsobem, tedy odběrem z Borovnického potoka, a v případě jeho nedostatečnosti je navrhováno problém řešit vybudováním retenční nádrže. Navržen je tedy zemní dvoukomorový prefabrikovaný vodojem Borovnička s celkovým objemem 40 m<sup>3</sup> (2 x 20 m<sup>3</sup>). Vyhovující by byl i vodojem o objemu 2x15 m<sup>3</sup>, který se rovněž vyrábí jako prefabrikovaný. Vzhledem k malému rozdílu investičních nákladů je, i v návaznosti na případné budoucí napojení obecní části Klebš, vhodnější navrhnout větší objem vodojemu.

Tab. 10: Dimenzování zásobního objemu zemního VDJ Borovnička s uvažováním zásoby požární vody

VODOJEM SE ZÁSOBOU POŽÁRNÍ VODY				
$V_{\text{celkový}} = V_{\text{prov}} + V_{\text{požár}} + V_{\text{rezerv}}$		Celkový akumulací objem vodojemu musí dosahovat alespoň 60% $Q_{\text{max,d}}$ =		24.3 m <sup>3</sup>
$V_{\text{celk.}}$	65.3	až	75.5	m <sup>3</sup>
=	Minimální objem vodojemu vyjádřený v % z $Q_{\text{max,d}}$			= 161%
	Maximální objem vodojemu vyjádřený v % z $Q_{\text{max,d}}$			= 186%
<b>Volný zemní vodojem 2x40m<sup>3</sup></b>				

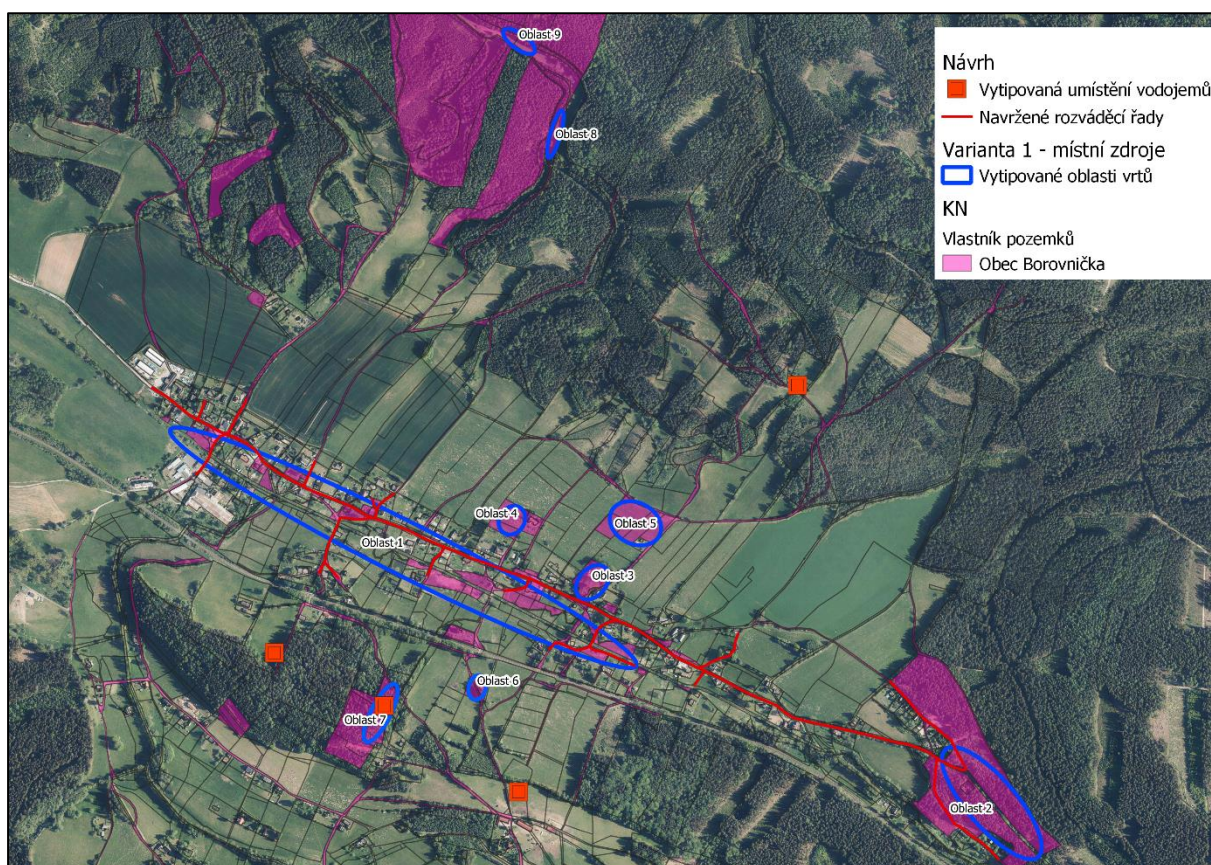
Tab. 11: Dimenzování zásobního objemu zemního VDJ Borovnička bez uvažování zásoby požární vody

VODOJEM BEZ ZÁSoby POŽÁRNÍ VODY				
$V_{\text{celkový}} = V_{\text{prov}} + V_{\text{rezerv}}$		Celkový akumulací objem vodojemu musí dosahovat alespoň 60% $Q_{\text{max,d}}$ =		24.3 m <sup>3</sup>
$V_{\text{celk.}}$	22.1	až	32.3	m <sup>3</sup>
=	Minimální objem vodojemu vyjádřený v % z $Q_{\text{max,d}}$			= 55%
	Maximální objem vodojemu vyjádřený v % z $Q_{\text{max,d}}$			= 80%
<b>Volný zemní vodojem 2x20m<sup>3</sup></b>				



### 3.3. Varianta 1 – vybudování lokálního zdroje vody

Varianta č. 1 řeší zásobení obce Borovnička pitnou variantou vybudováním místních jímacích vrtů. Za tímto účelem byl zhotoven hydrogeologický průzkum, který byl při zpracování předkládané bakalářské práce použit jako podklad. Cílem bylo vytipovat vhodná místa pro zhotovení podzemních jímacích vrtů. Požadavek při výběru místa byl minimální vydatnost vrtu 0,5 l/s, což odpovídá maximální denní potřebě vody  $Q_{\max,d}$ . Jedná se však pouze o orientační průzkum zhotovený na základě mapových podkladů, jehož výsledky mají vypovídající hodnotu pouze pro účely studie. Skutečnou vydatnost ve vytipovaném místě vrtu je možné ověřit až po vybudování průzkumného vrtu a následném provedení čerpací zkoušky. Dále při hledání vhodného místa pro vyhotovení vrtu byla snaha o nalezení parcely ve vlastnictví obce za účelem zjednodušení majetkoprávního procesu. Výstup v podobě 9 vytipovaných oblastí je znázorněn na Obr. 24.

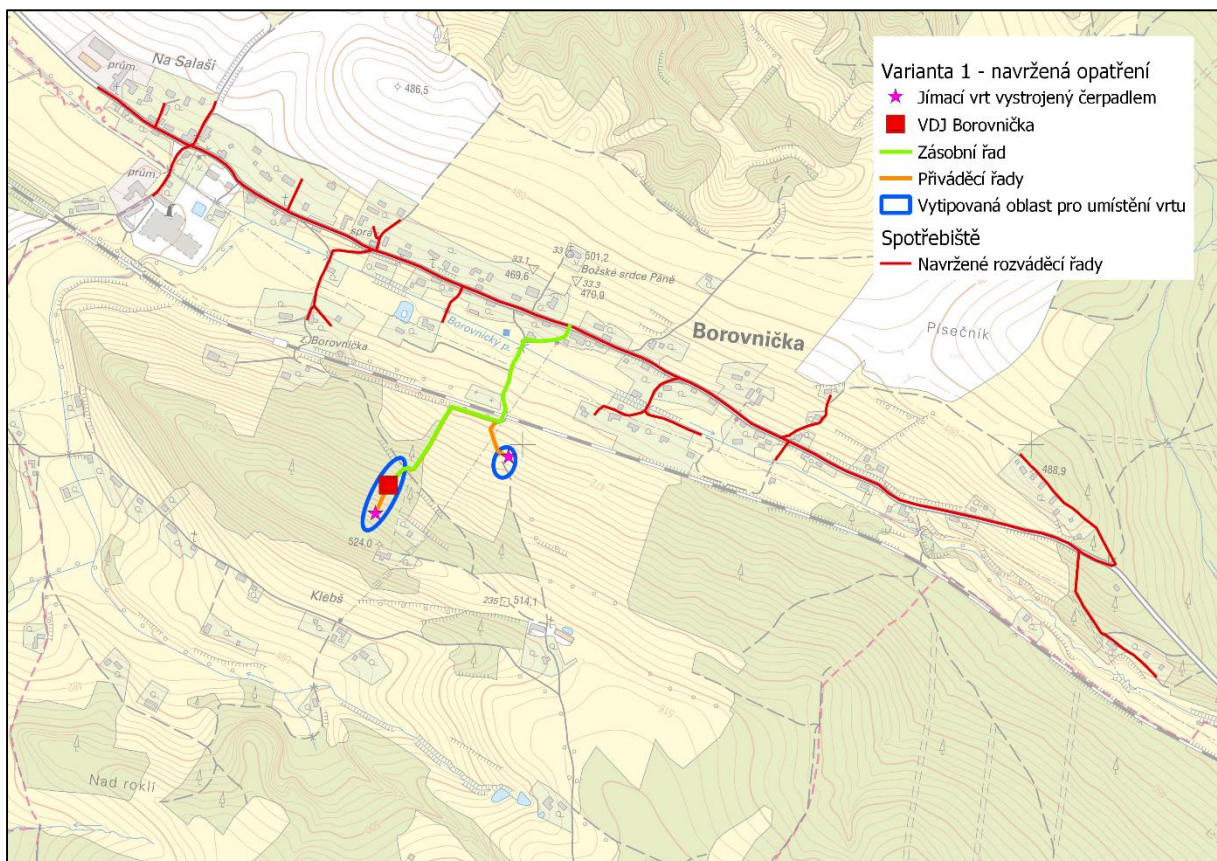


Obr. 24: Vytipované oblasti pro zhotovení jímacích vrtů na podkladu ortofoto mapy

Ve variantě 1 je uvažováno s návrhem celkem dvou vrtů, a to kvůli zabezpečení dodávky vody v případě odstávky jednoho z nich. Jedná se konkrétně o podzemní jímací vrty odhadované hloubky 60 m. Každý z vrtů je osazen ponorným čerpadlem a



technologickým vystrojením. Nejvhodnějšími oblastmi pro jejich umístění jsem vyhodnotil oblasti 6 a 7. Důvodem je jejich blízkost k navrženému vodojemu, jež je umístěn na totožné parcele, jako vytipovaná oblast 7. Tato parcela je navíc na obecním pozemku, což zjednoduší majetkoprávní proces. Krátké přívaděcí řady znamenají výraznou úsporu investičních nákladů. V neposlední řadě je umístění vhodné z hlediska rizika kontaminace zdroje vody díky dostatečné vzdálenosti od hlavní dopravní komunikace procházející obcí. Rovněž je místo vhodnější z pohledu věcného břemene, které na pozemku vznikne spolu s ochranným pásmem vodního zdroje, než pokud by se jednalo o parcelu uprostřed zástavby. Navíc je poloha vodojemu vhodná také z hlediska teoretického zájmu napojení obecní části Klebš v některé z případných dalších etap rozvoje vodovodní sítě obce Borovnička. V oblastech 6 a 7 je navrženo vždy po jednom vrtu v zájmu dostatečné vzdálenosti mezi nimi, čímž se zamezí vzájemnému ovlivňování hladiny podzemní vody. Celé schéma varianty č. 1 znázorňuje Obr. 25.



Obr. 25: Schéma Varianty 1 – vybudování místních zdrojů vody na podkladu ZM10

Z jímacích vrtů je voda čerpána přiváděcími řady PE De90 do navrhovaného vodojemu Borovnička, který je umístěn klasicky před spotřebišťem. Součástí objektu vodojemu bude také úpravna vody. Upravená a akumulovaná pitná voda bude dále vedena zásobním řadem PE De90, jehož velká část půjde v souběhu s jedním z přiváděcích řadů, do spotřebišťe, kde bude systémem rozváděcích řadů distribuována ke spotřebitelům.

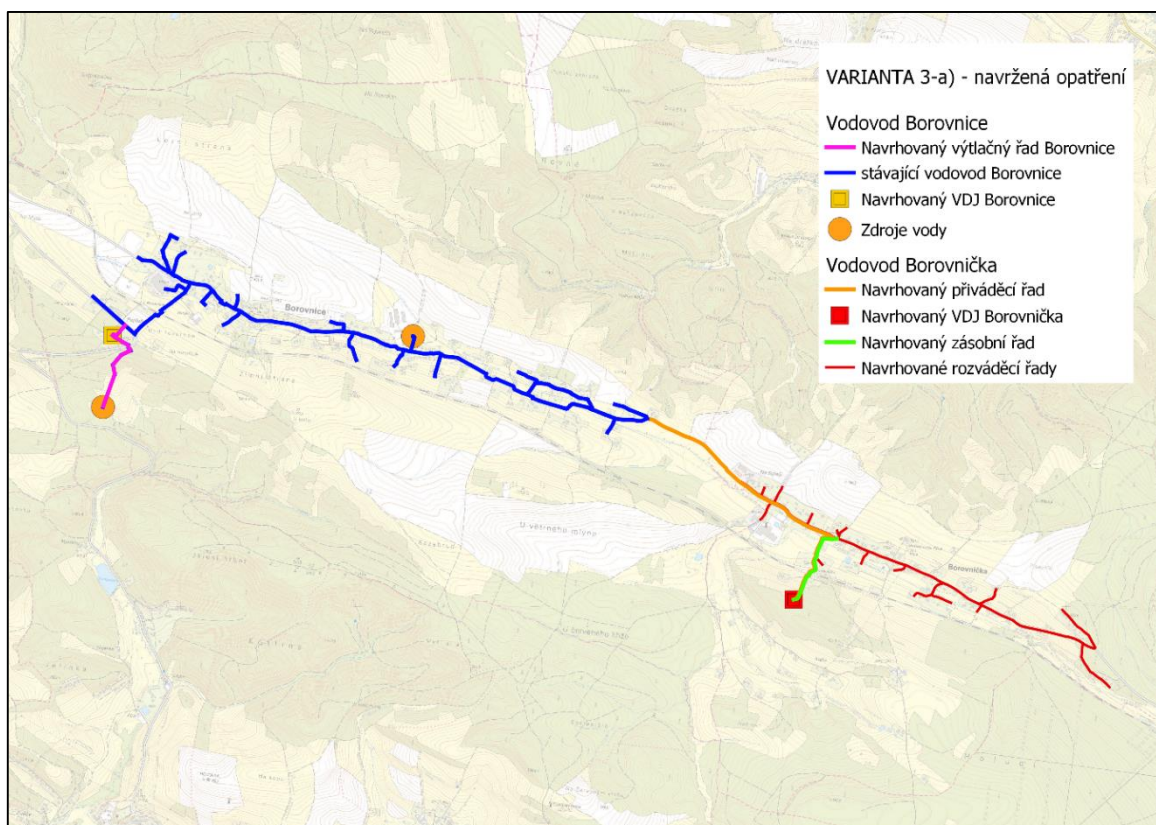
Vzhledem k neexistujícím rozborům podzemní vody v zájmové lokalitě není možné s určitostí stanovit, jaká technologie úpravy vody bude potřeba. Konkrétní návrh technologie je tedy možné provést až po odebrání vody z průzkumných vrtů a provedení jejího laboratorního rozboru.

### **3.4. Varianta 3 – napojení na vodovod v obci Borovnice**

Záměr varianty 3 spočívá v napojení navrhované vodovodní sítě obce Borovnička na vodovodní systém sousední obce Borovnice. Borovnice má od roku 2015 vybudovaný veřejný vodovod. Dle projektu však ještě není zcela kompletní. V současné době je vybudována celá síť rozvodných řadů, ovšem zdroj vody, který představuje historická studna ve vlastnictví obce, je pouze dočasným řešením a podobně tak i ATS, která je v blízkosti tohoto zdroje umístěna, aby generovala přetlaky na síti. Dle celého projektu je uvažováno s vybudováním nového podzemního jímacího vrtu na severozápadě obce. V blízkosti nového zdroje je rovněž navržen nový zemní vodojem Borovnice o objemu 2x40m<sup>3</sup>. V případě, že by se nový zdroj ukázal být vydatný natolik, aby dokázal pokrýt potřebu vody pro obec Borovnici i Borovničku zároveň, jeví se varianta, při které by se napojil nově navržený vodovod pro Borovničku na systém v Borovnici, jako vhodná. Nebylo by nutné uvažovat s vybudováním zdroje vody ani úpravy vody. Nutným předpokladem k realizaci této varianty je ale vyjednání podmínek s obcí Borovnice, za kterých by byla voda fakturována.

Alternativním postupem by mohlo být, po prokázání dostatečné vydatnosti navrhovaného zdroje v obci Borovnice pomocí průzkumných vrtů, dohoda mezi Borovničkou a Borovnicí o rozdělení investičních nákladů na vybudování navrženého zdroje vody, úpravy vody a vodojemu Borovnice mezi obě obce. Nutné by bylo rovněž předem vyjednat, jak by probíhal následný provoz vodovodního systému. Za předpokladu rozumné dohody mezi oběma obcemi by mohla být varianta výhodná, co se týče investičních nákladů i provozního hlediska pro obě obce.

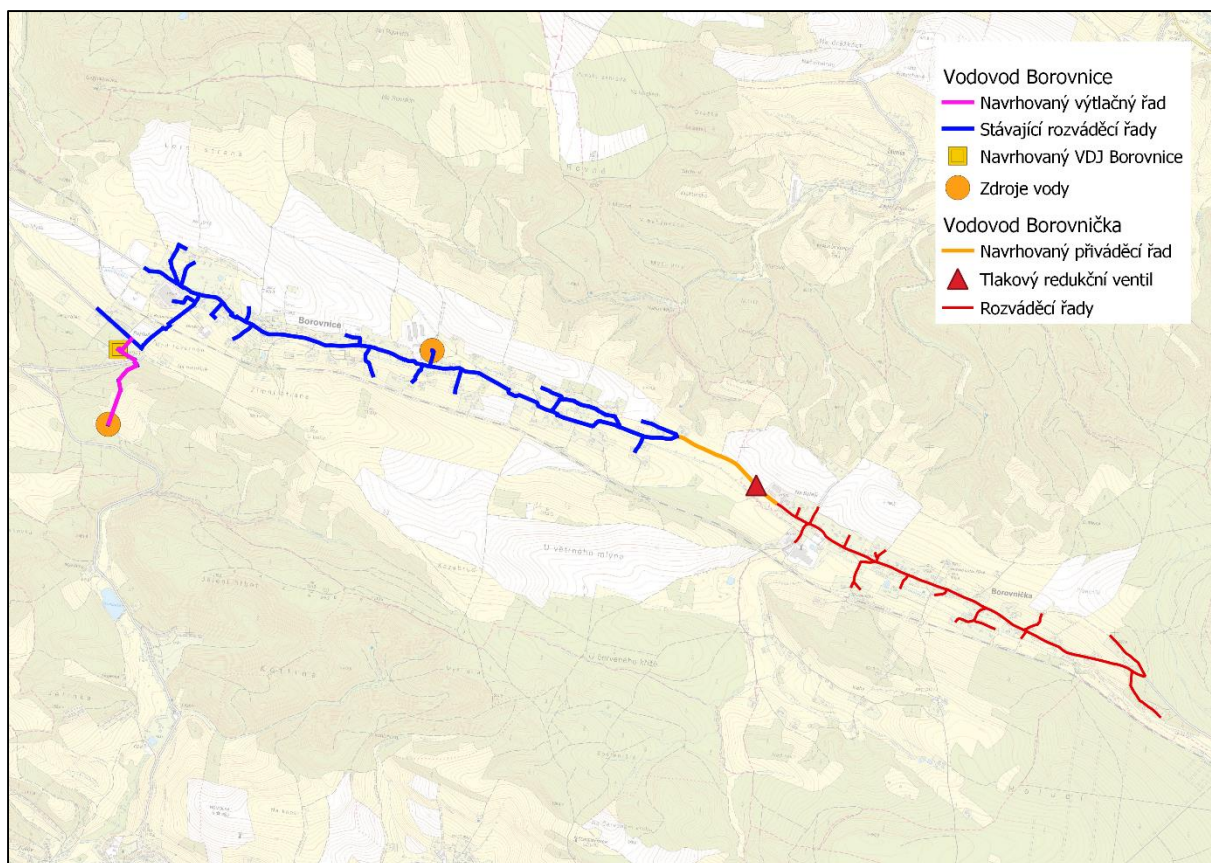
Uvažovaly se dvě možnosti řešení této varianty. První možnost (dále uváděna jako varianta 3-a) uvažuje s místem napojení v nejnižší části hlavního rozvodného řadu vodovodní sítě Borovnice, který má specifikaci PE De110. Odtud by voda byla vedena navrhovaným přiváděcím řadem PE De90, který jde z velké části v souběhu s navrženými rozvodnými řady a následně také s řadem zásobním, do navrženého VDJ Borovnička. Zde by se voda akumulovala a dále pomocí zásobního řadu PE De90 a sítě řadů rozváděcích byla distribuována ke spotřebitelům. Schéma první možnosti varianty 3 je zobrazeno na Obr. 26.



Obr. 26: Schéma varianty 3a – napojení na vodovod v obci Borovnice na podkladu ZM10

Druhá možnost (dále uváděna jako varianta 3b) uvažuje se stejným místem napojení, ovšem nepočítá s vybudováním nového VDJ Borovnička. Ideální tlakové poměry v navrhované vodovodní síti by zajišťoval redukční ventil umístěný napřiváděcím řadu. Toto řešení tedy nevyžaduje stavbu zemního vodojemu ani dlouhého přiváděcího a zásobního řadu, což by znamenalo oproti první možnosti významné investiční úspory. Předpokladem by však musel být dostatečný objem navrhovaného VDJ Borovnice, který by v tomto případě bylo vhodné vybudovat jako zemní vodojem s parametry 2x60 m<sup>3</sup>. Schéma druhé možnosti varianty 3 znázorňuje Obr. 27



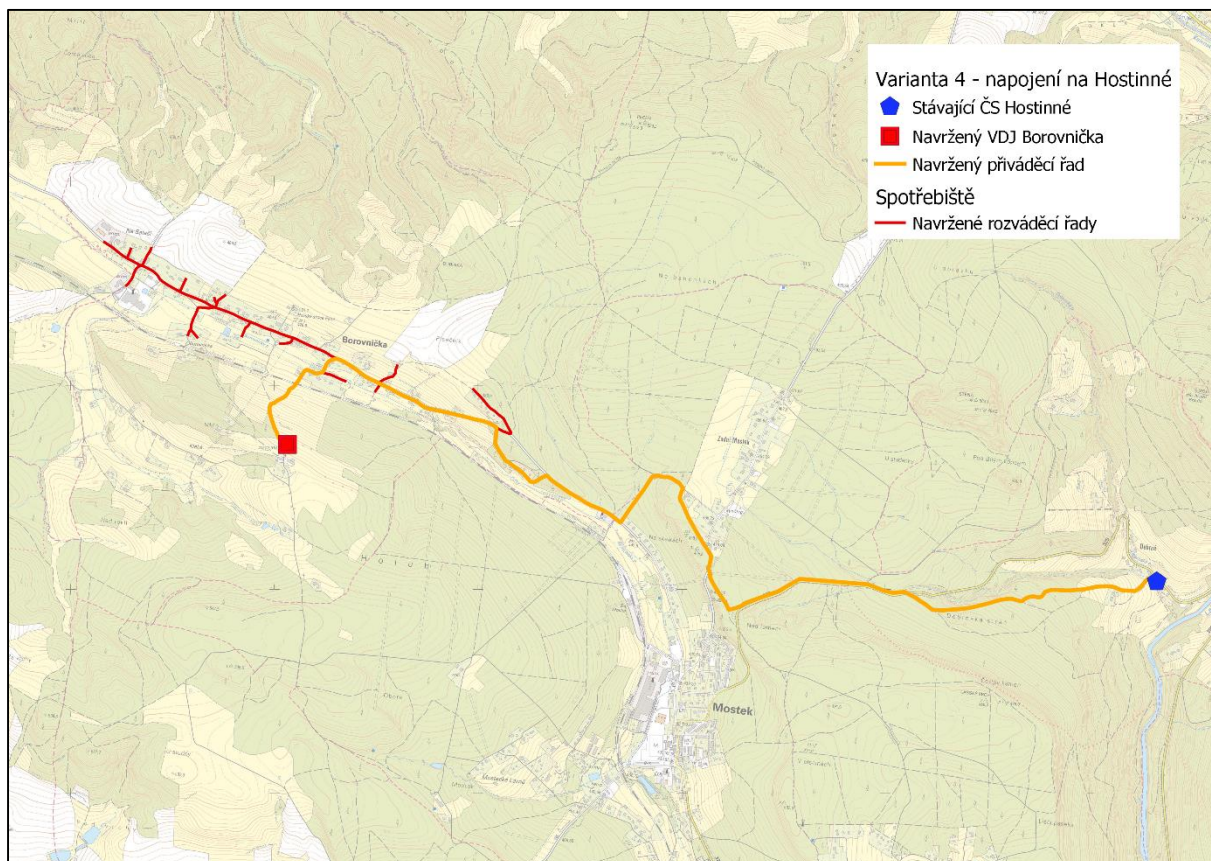


Obr. 27: Schéma varianty 3b – napojení na vodovod v obci Borovnice na podkladu ZM10

S cílem zjistit předběžný postoj obou obcí k řešení, které je předkládáno variantou 3, byly dotázány starostky obce Borovnička a obce Borovnice. V obou případech byla reakce nesouhlasná. Starostka obce Borovnice argumentovala svůj postoj současným nedostatkem finančních prostředků pro zhotovení nových navrhovaných vodárenských objektů, které jsou v projektu plánovány. Současný stav vodovodního systému v obce Borovnice je prozatím vyhovující a není tedy nutné řešit budování nových objektů akutně. Současně se vyjádřila nesouhlasně také kvůli ztrátě nezávislosti v ohledu zásobení obce pitnou vodou, za předpokladu že by se nové objekty budovaly ve spolupráci obou obcí. Stejný názor ohledně ztráty nezávislosti zastávala i starostka obce Borovnička.

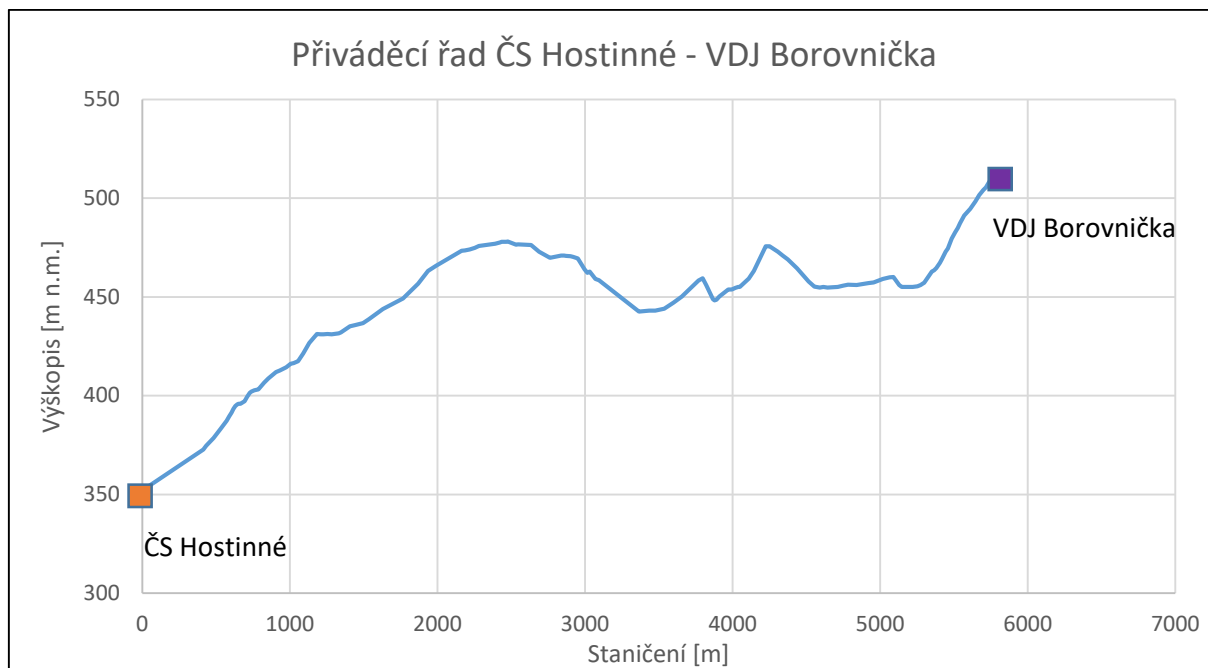
### 3.5. Varianta 4 – napojení na skupinový vodovod Hostinné přímým přivaděčem

Varianta č. 4 počítá s napojením na skupinovou vodovodní síť obce Hostinné a přivedením vody přímým přivaděčem do navrhovaného vodojemu Borovnička, odkud by pak byla voda dodávána do spotřebišť. Nejbližším vhodným místem napojení je stávající čerpací stanice na skupinové vodovodní síti Hostinné. Schéma varianty č. je znázorněno na Obr. 28.



Obr. 28: Schéma Varianty 4 – napojení na vodovod Hostinné na podkladu ZM10

Hlavní úskalí Varianty 3 spočívá především ve vzdálenosti nejbližšího možného místa napojení na skupinovou vodovodní síť obce Hostinné a samotného spotřebišť Borovnička. S tím souvisí nutnost vybudování dlouhého přivaděcího řadu s vysokými investičními náklady. Navíc jak plyne z Obr. 29, je voda dopravována z níže položeného bodu a musí překonat relativně velké převýšení, což klade značné nároky na čerpací techniku a provozní náklady.



Obr. 29: Podélný profil přiváděcího řadu ve Variantě č. 4

#### 4. Orientační investiční náklady

Dle ceníku Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury vydávaného ministerstvem pro místní rozvoj, rešerše cen vodohospodářských objektů a odborné konzultace s kolegy projektanty byly sestaveny orientační investiční náklady jednotlivých variant. Postup při tvorbě cen pro jednotlivé varianty je uveden v Tab. 12, Tab. 13, Tab. 14 a Tab. 15.

Tab. 12: Orientační investiční náklady Varianty 1 – vybudování místního zdroje vody

<b>Varianta I. - vybudování místního zdroje vody v obci Borovnička</b>							
Stavební objekt	Materiál	DN	Povrch	MJ	Jednotková cena	Množství	Cena (bez DPH)
	[-]	[mm]	[-]	[-]	[Kč]	[-]	[Kč]
<b>Příváděcí řad</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	451	1 523 600
<b>Zásobní řad</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	587	1 984 060
<b>Rozváděcí řady</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90 a menší	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	1 570	5 306 600
			zastavěné - ve vozovce		7 010	2 653	18 597 530
<b>celkem</b>	vodovodní řady celkem			m		<b>5 261</b>	<b>27 412 000</b>
<b>Vrty</b>	Podzemní jímací vrt s výpažnicí PVC odhadované hloubky 60 m včetně betonového zhlaví vrtu, teréních úprav, oplocení, ponorného čerpadla a technologického vstrojení.			kpl	900 000	2	<b>1 800 000</b>
<b>VDJ Borovnička</b>	zemní vodojem Borovnička objem 40 m <sup>3</sup> tj. 2 * 20 m <sup>3</sup> h <sub>min</sub> 505,0 m n. m., h <sub>max</sub> 507,5 m n. m náklady na zemní práce, základ pro vodojem, vlastní vodojem včetně vstrojení, odpad z VDJ + ostatní terénní úpravy			kpl	2 800 000	1	<b>2 800 000</b>
<b>ÚV Borovnička</b>	Základní technologie pro úpravu vody. ÚV bude součástí objektu VDJ Borovnička. Cena je tedy uvažována pouze za technologickou část. (Pozn.: Pro konkrétní návrh nejsou dostupné podklady. Lze jej provést až na základě výsledků rozboru jímané vody. V případě nepříznivých výsledků rozboru mohou investiční náklady narůst v řádu tisíců až milionů Kč. )			kpl	1 500 000	1	<b>1 500 000</b>
<b>ZRN</b>	<b>CELKEM VARIANTA I. - stavební a provozní objekty</b>						<b>33 512 000</b>



Tab. 13: Orientační investiční náklady Varianty 3a – napojení na vodovod v obci Borovnička s navrženým VDJ Borovnička

<b>Varianta III. a) - napojení na vodovod v obci Borovnice s navrženým VDJ Borovnička</b>							
<b>Stavební objekt</b>	<b>Materiál</b>	<b>DN</b>	<b>Povrch</b>	<b>MJ</b>	<b>Jednotková cena</b>	<b>Množství</b>	<b>Cena (bez DPH)</b>
	<b>[-]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[-]</b>	<b>[-]</b>	<b>[Kč]</b>	<b>[-]</b>	<b>[Kč]</b>
<b>Příváděcí řad</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	1 746	5 901 480
<b>Zásobní řad (souběh = 10% nákladů)</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90	zastavěné - nezpevněná	m	338	493	166 634
<b>Rozváděcí řady</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90 a menší	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	1 446	4 887 480
			zastavěné - ve vozovce		7 010	2 553	17 896 530
<b>celkem</b>	vodovodní řady celkem			m		<b>6 238</b>	<b>28 853 000</b>
<b>VŠ</b>	předávací vodoměrná šachta			ks	800 000	1	<b>800 000</b>
<b>VDJ Borovnička</b>	<b>zemní vodojem Borovnička</b> objem 40 m <sup>3</sup> tj. 2 * 20 m <sup>3</sup> hmin 405,0 m n.m., hmax 407,5 m n.m náklady na zemní práce, základ pro vodojem, vlastní vodojem včetně vystrojení, odpad z VDJ + ostatní terénní úpravy			kpl	2 800 000	1	<b>2 800 000</b>
<b>ZRN</b>	<b>CELKEM VARIANTA I. - stavební a provozní objekty</b>						<b>32 453 000</b>

Tab. 14: Orientační investiční náklady Varianty 3b – napojení na vodovod v obci Borovnička bez navrženého VDJ Borovnička

<b>Varianta III. b) – napojení na vodovod Borovnice bez návrhu VDJ Borovnička</b>							
Stavební objekt	Materiál	DN	Povrch	MJ	Jednotková cena	Množství	Cena (bez DPH)
	[-]	[mm]	[-]	[-]	[Kč]	[-]	[Kč]
<b>Příváděcí řad</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	654	2 210 520
<b>Zásobní řad</b>	V této variantě je zásobním řadem řad příváděcí (vodojem za spotřebišťem)					0	0
<b>Rozváděcí řady</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90 a menší	zastavěné - nezpevněná	m	3 380	1 570	5 306 600
			zastavěné - ve vozovce		7 010	2 653	18 597 530
<b>celkem</b>	vodovodní řady celkem			m		<b>4 877</b>	<b>26 115 000</b>
<b>VŠ</b>	předávací vodoměrná šachta			ks	800 000	1	<b>800 000</b>
<b>ZRN</b>	<b>CELKEM VARIANTA I. - stavební a provozní objekty</b>						<b>26 915 000</b>

Tab. 15: Orientační investiční náklady Varianta 4 – napojení na skupinový vodovod Hostinné

<b>Varianta IV. - napojení na skupinový vodovod Hostinné</b>							
Stavební objekt	Materiál	DN	Povrch	MJ	Jednotková cena	Množství	Cena (bez DPH)
	[-]	[mm]	[-]	[-]	[Kč]	[-]	[Kč]
<b>Přiváděcí řad</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90	nezastavěné- otevřená rýha	m	1 880	1290	2 425 200
			nezastavěné - pažená rýha		2 860	1287	3 680 820
			zastavěné - nezpevněná		3 380	1538	5 198 440
			zastavěné území - ve vozovce		7 010	1719	12 050 190
<b>Zásobní řad</b>	V této variantě je zásobním řadem řad přiváděcí (vodojem za spotřebišťem)					0	0
<b>Rozváděcí řady</b>	HD PE 100 RC, SDR 11	90 a menší	nezastavěné- otevřená rýha	m	1 880	0	0
			nezastavěné - pažená rýha		2 860	0	0
			zastavěné - nezpevněná		3 380	1570	5 306 600
			zastavěné území - ve vozovce		7 010	1527	10 704 270
<b>celkem</b>	vodovodní řady celkem			m		<b>8 931</b>	<b>39 366 000</b>
<b>VŠ</b>	předávací vodoměrná šachta			ks	800 000	1	<b>800 000</b>
<b>VDJ Borovnička</b>	zemní vodojem Borovnička objem 40 m <sup>3</sup> tj. 2 * 20 m <sup>3</sup> h <sub>min</sub> 505,0 m n. m., h <sub>max</sub> 507,5 m n. m náklady na zemní práce, základ pro vodojem, vlastní vodojem včetně vstrojení, odpad z VDJ + ostatní terénní úpravy			ks	2 800 000	1	<b>2 800 000</b>
<b>ZRN</b>	<b>CELKEM VARIANTA I. - stavební a provozní objekty</b>						<b>42 966 000</b>

## **5. Porovnání navrhovaných variant řešení**

Jako nejméně vhodné řešení se prokazatelně jeví varianta č. 4 - napojení na skupinový vodovod Hostinné přímým přivaděčem. Důvodem jsou především vysoké investiční náklady na vybudování dlouhého přivaděče. Dále také nároky na čerpací techniku a složitost varianty z hlediska majetkoprávního jednání v souvislosti s velkým množstvím dotčených pozemků.

Co se týče samotné varianty 3, za předpokladu ověření pomocí matematického modelu je lepším řešením vybudování velkého vodojemu v obci Borovnice a tlakové poměry v obci Borovnička upravovat tlakovým redukčním ventilem, což zpracovává možnost b) varianty 3.

Jako dvě nejvhodnější varianty jsou tedy uvažovány varianta 1 – vybudování nových místních zdrojů vody v katastrálním území obce Borovnička a varianta 3b – napojení na vodovod v obci Borovnici bez návrhu VDJ Borovnička, jejichž funkčnost bude ověřována prostřednictvím matematického modelu. Z hlediska investičních nákladů je výhodnější varianta 3b. Z provozního hlediska je lepší, pokud by byly systémy propojeny, tudíž zde se jeví jako vhodnější rovněž varianta 3b. V úvahu je však nutné vzít také aspekt nezávislosti obce, který přinášejí místní zdroje vody.

## **6. Matematické modelování**

Za účelem ověření správnosti návrhu řešení zásobení obce Borovnička pitnou vodou byl zhotoven matematický model navrhované vodovodní sítě ve variantě 1 a variantě 3. Modelování probíhalo v prostředí softwaru InfoWater od společnosti Innoyze, který pracuje na GIS platformě programu ArcMap. Cílem modelu je především stanovení tlakových poměrů v celé síti a ověření, že jejich hodnota odpovídá vyhlášce č. 428/2001 Sb. Dalšími výstupy jsou kolísání úrovně hladiny ve vodojemu v závislosti na čase nebo časový průběh rozdílu přítoku a odtoku do vodojemu či rychlosti proudění v jednotlivých úsecích.

Před zahájením stavby samotného modelu, bylo nutné nastavit parametry modeláře. Tím se rozumí nastavení jednotek SI jakožto primárních, nastavení Darcy-Weisbachovi rovnice pro výpočet ztrát třením a automatické počítání délek.

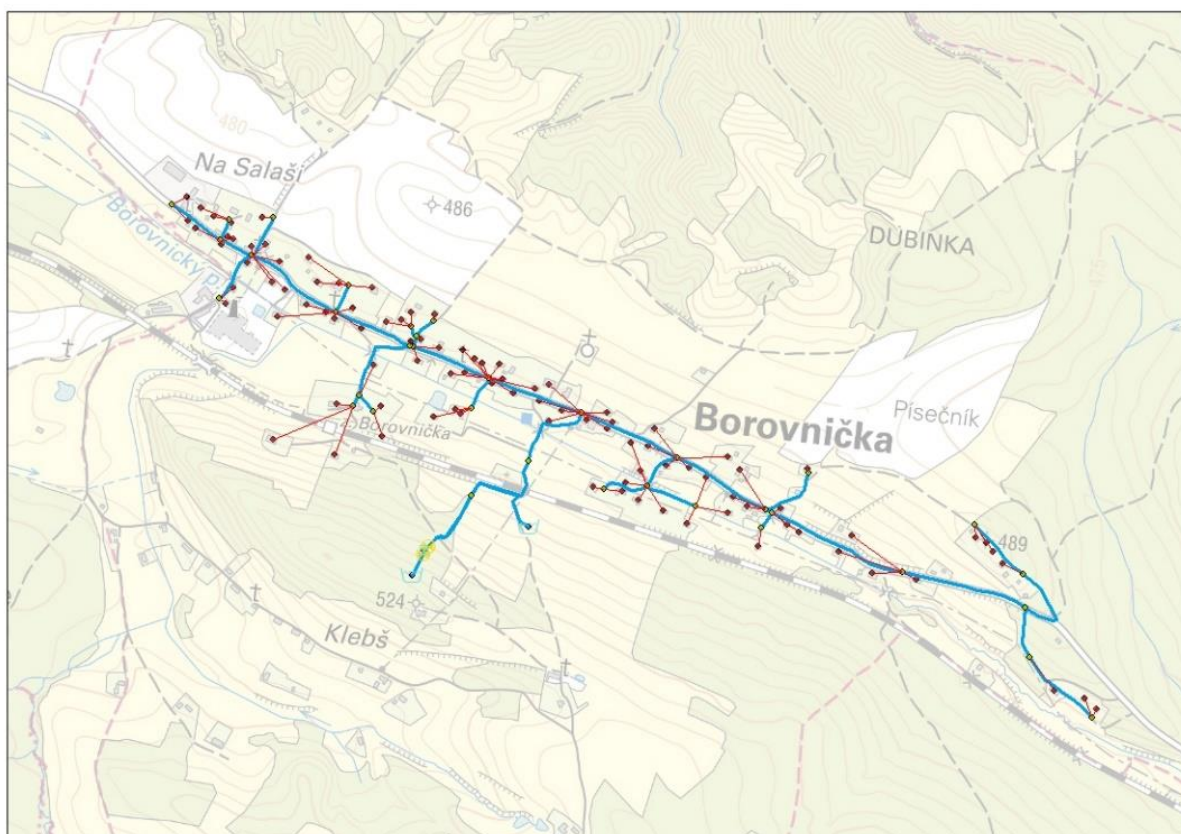


## 6.1. Model varianty č. 1

V prvním kroku samotného modelování proběhl import podkladů ve formátu .shp s navrženými prvky vodovodní sítě, které byly již během řešení varianty vypracovány v programu QGIS. Konkrétně se jedná o navržené vodovodní řady, navržený vodojem Borovnička, navržená místa jímacích vrtů a vytvořený digitální model terénu.

Dále bylo nutné na vytipovaných místech, lokalizovaných dle naimportovaných podkladů, modelovat příslušné objekty vodovodní sítě v programu InfoWater a nastavit jejich parametry. Neznalosti hloubky podzemní vody neumožňuje modelovat čerpací techniku, jelikož není známa geodetická výška, jakožto součást dopravní výšky čerpadla. Z toho důvodu byly jímací vrty zjednodušeně modelovány jako nádrž (v programu označeno „reservoir“) s pevnou hladinou 10 m nad navrženou hladinou vodojemu. Přítok do vodojemu byl nastaven pomocí prvku redukujícího průtok na 0,25 pro každý ze zdrojů. Vodojem byl modelován prvkem označeným „tank“. V nastavení parametrů vodojemu byla stanovena minimální hladina, maximální hladina a plocha akumulární nádrže vodojemu. Dále byly po síti rozmístěny uzly („junction“) a následně spojeny jednotlivými úseky potrubí („pipe“), kde každému úseku náležela dimenze a hodnota absolutní drsnosti. Délky si software dopočítal automaticky. V tomto stavu model získal základní strukturu.

Následně bylo nutné vyřešit rozdělení odběrů mezi jednotlivé uzly. Jako velmi přesný způsob rozdělení odběrů lze uvažovat přiřazení daného odběru k jemu nejbližšímu uzlu, které dokáže software InfoWater provést automaticky na základě informace o poloze, velikosti a typu odběru. Typem odběru se rozumí např. rodinné domy, objekty občanské vybavenosti či konkrétní významný odběratel. Tyto informace se zadávají skrze shapefile bodové geometrie s definovanými parametry, jako velikostí a typ odběrů, skrze jeho atributovou tabulku. Při rozdělování odběrů tedy bylo nutné nejdřív vytvořit zmiňovaný shapefile. Konkrétně pro každou stavbu s číslem popisným byl definován bod, kterých v celém spotřebišti bylo celkem 93, a rovnoměrně mezi ně rozdělil maximální denní potřebu vody pro obyvatelstvo. Další definované body se týkaly občanské vybavenosti a speciálního odběratele Bazény Borovnička, pro které byl uvažován odběr, dle rozdělení jako v Tab. 4, jako jejich konkrétní maximální denní potřeba. Rozdělení odběrů do jednotlivých nejbližších uzlů, které InfoWater provedl na základě vytvořeného shapefilu, znázorňuje Obr. 30.



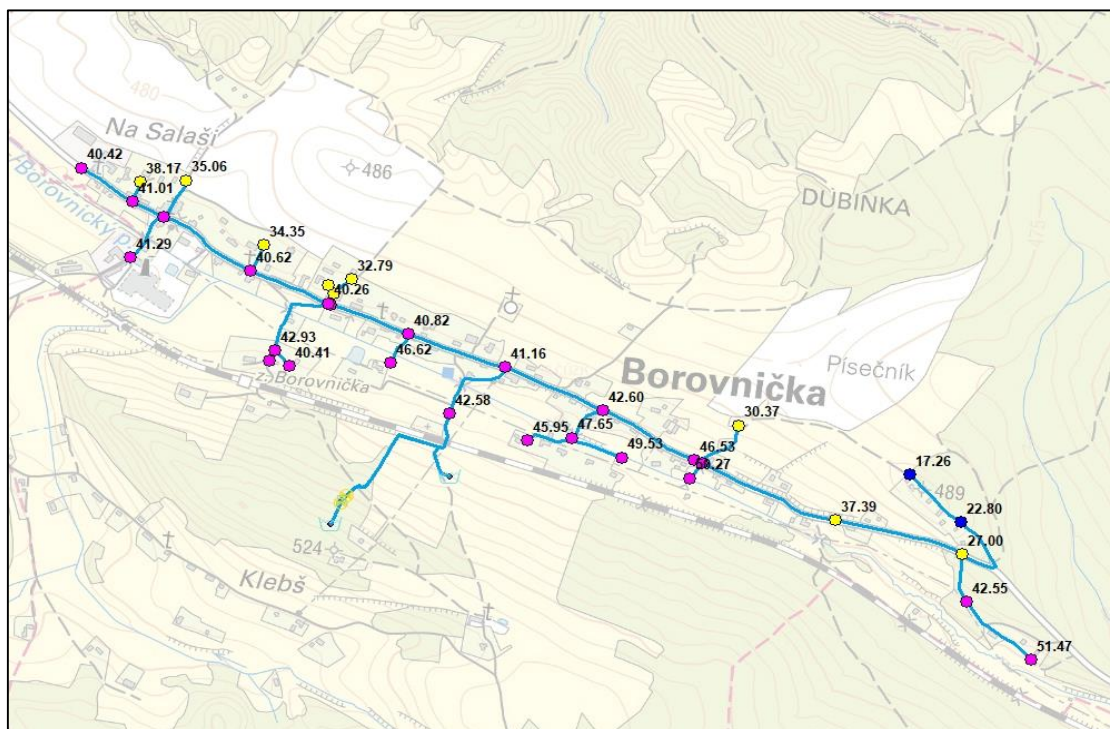
Obr. 30: Rozdělení odběrů do jednotlivých nejbližších uzlů na podkladu ZM10

Posléze bylo nutné rozděleným odběrům přiřadit tzv. „patternu“, tedy křivku průběhu koeficientu hodinové nerovnoměrnosti, díky které software do výpočtu zahrne nerovnoměrnost odběrů během dne. Konkrétně se jednalo o patternu pro  $k_h = 5,1$  (viz. Obr. 22), což je v souladu se stanovenou maximální hodinovou potřebou vody  $Q_{\max,h}$ . Tímto krokem byla stavba modelu dokončena a bylo možné spustit výpočet.

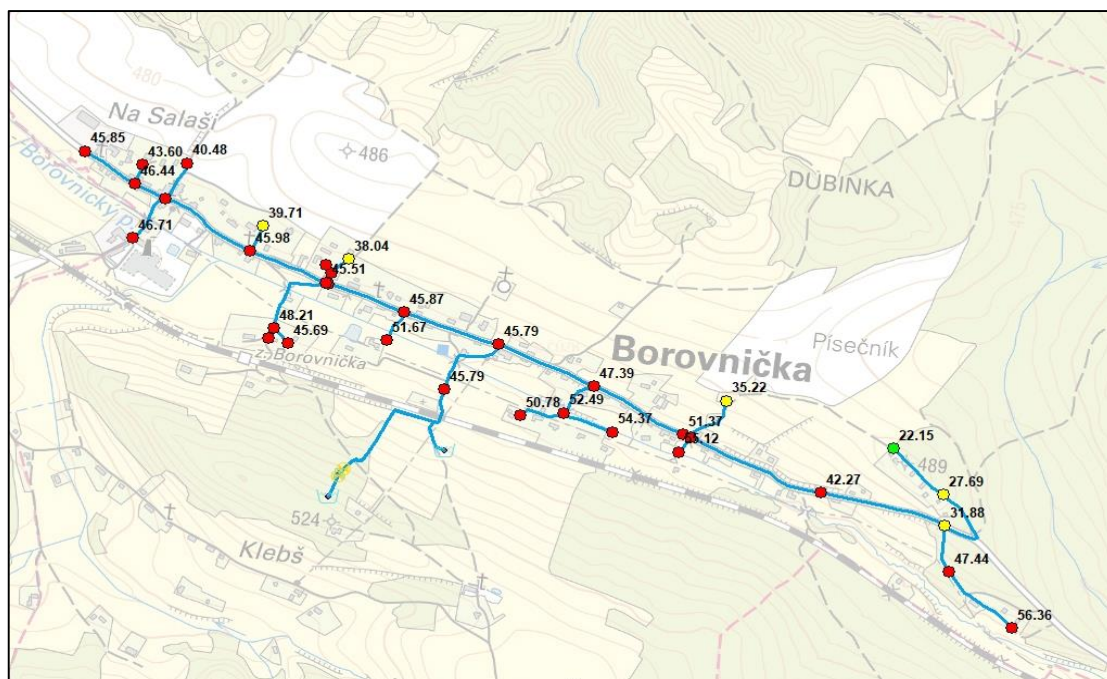
Nejdůležitějšími výstupy, které byly z matematického modelu získány, jsou minimální (Obr. 31) a maximální (Obr. 32) přetlaky na vodovodní síti. Dle nich je možné zjistit, zda je vodovodní systém výškově vhodně navržen a vyhoví přetlakovým požadavkům dle vyhlášky č. 428/2001 Sb.

Původně navržená výšková kóta dna vodojemu 502,00 m n. m. se po zisku výstupů z matematického modelu neukázala jako ideální. Tlaky v kritické větvi V.3. byly pod hranicí 15 m v. sl., což je minimální povolená hodnota přetlaku pro objekty do dvou nadzemních podlaží dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. Horní hranice povolených přetlaků dle vyhlášky, tedy 60 m v. sl., nebyla překročena a naopak u kritického uzlu

byla dostatečná rezerva. Díky velikosti a výškopisnému charakteru pozemku, na kterém je navrženo umístění vodojemu, bylo možné vodojem posunout na vyšší kótu a optimalizovat tím návrh. Tím se kóta dna navýšila na 505 m. n. m. a při této dispozici již celá síť vyhoví, co se přetlakové podmínky týče. (viz. Obr. 31 a Obr. 32).

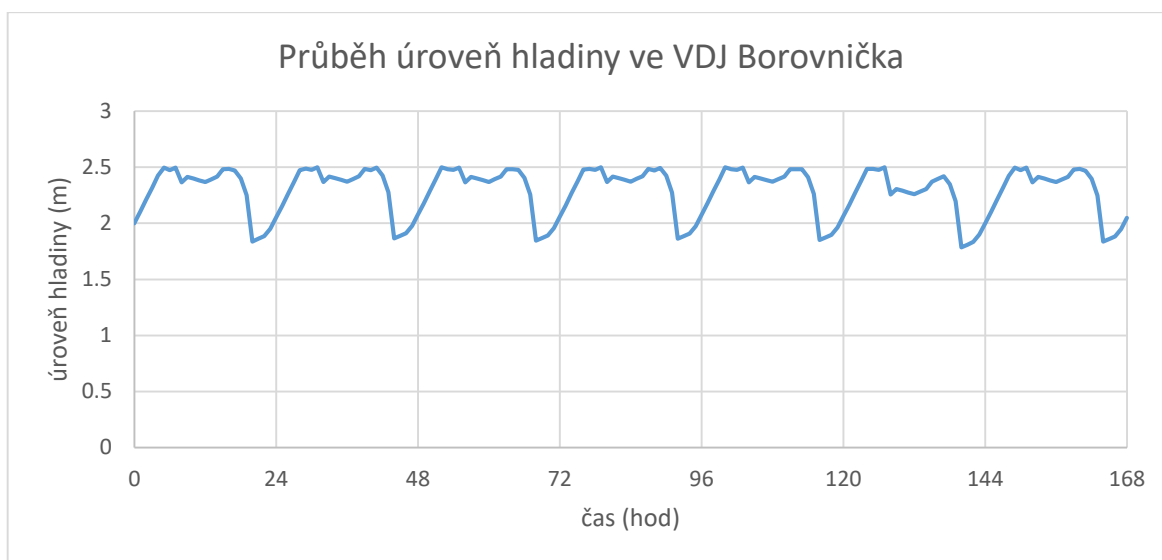


Obr. 31: Minimální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 1

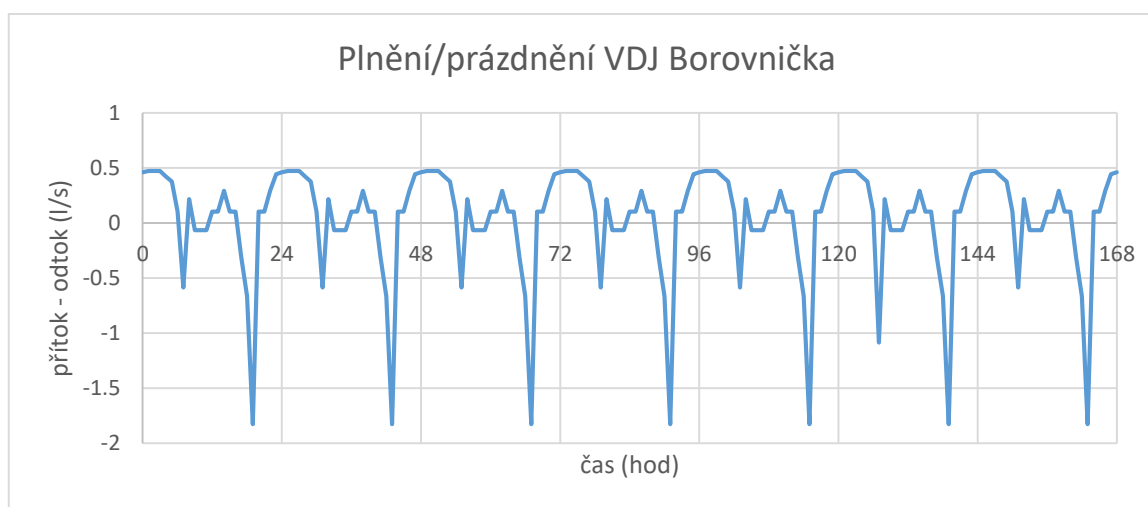


Obr. 32: Maximální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 1

Zajímavé výstupy lze z matematického modelu sestrojeného v programu InfoWater získat o chování vody ve vodojemu. Jedná se o grafy, které mapují průběh úrovně hladiny (Obr. 33) a plnění (nebo prázdnění) (Obr 34) vodojemu v závislosti na čase.



Obr. 33: Závislost úrovně hladiny ve VDJ Borovnička na čase ve variantě 1

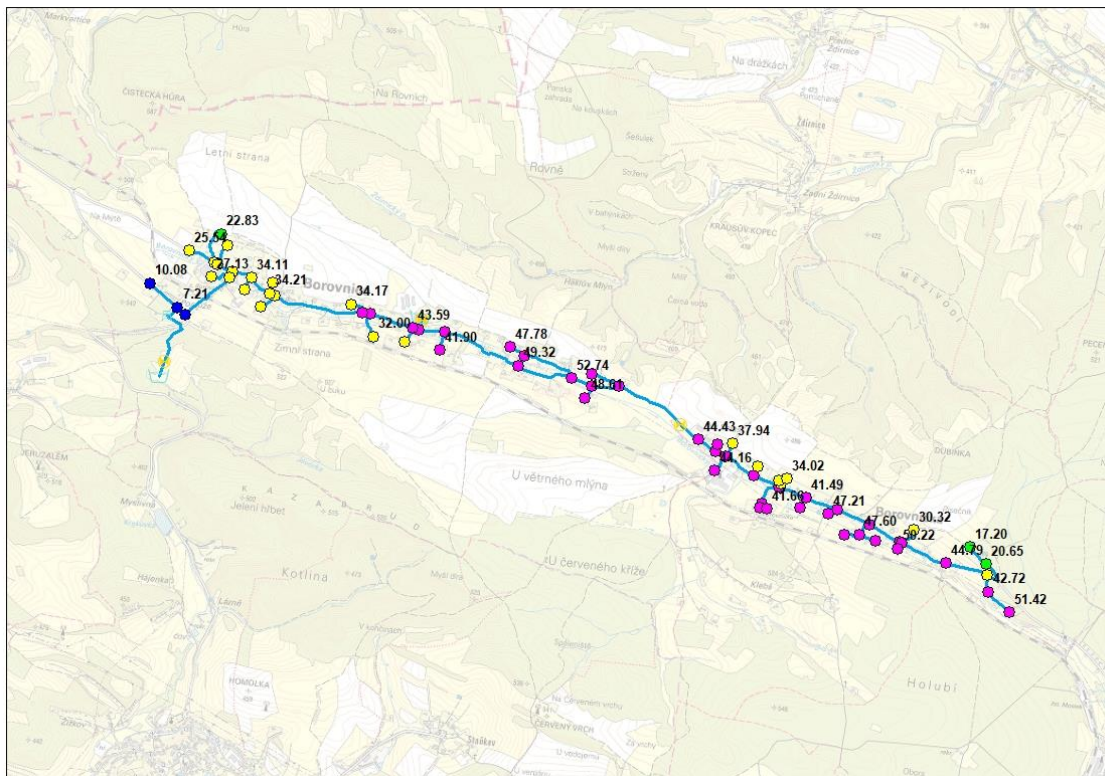


Obr 34: Závislost plnění/prázdnění VDJ Borovnička na čase ve variantě 1

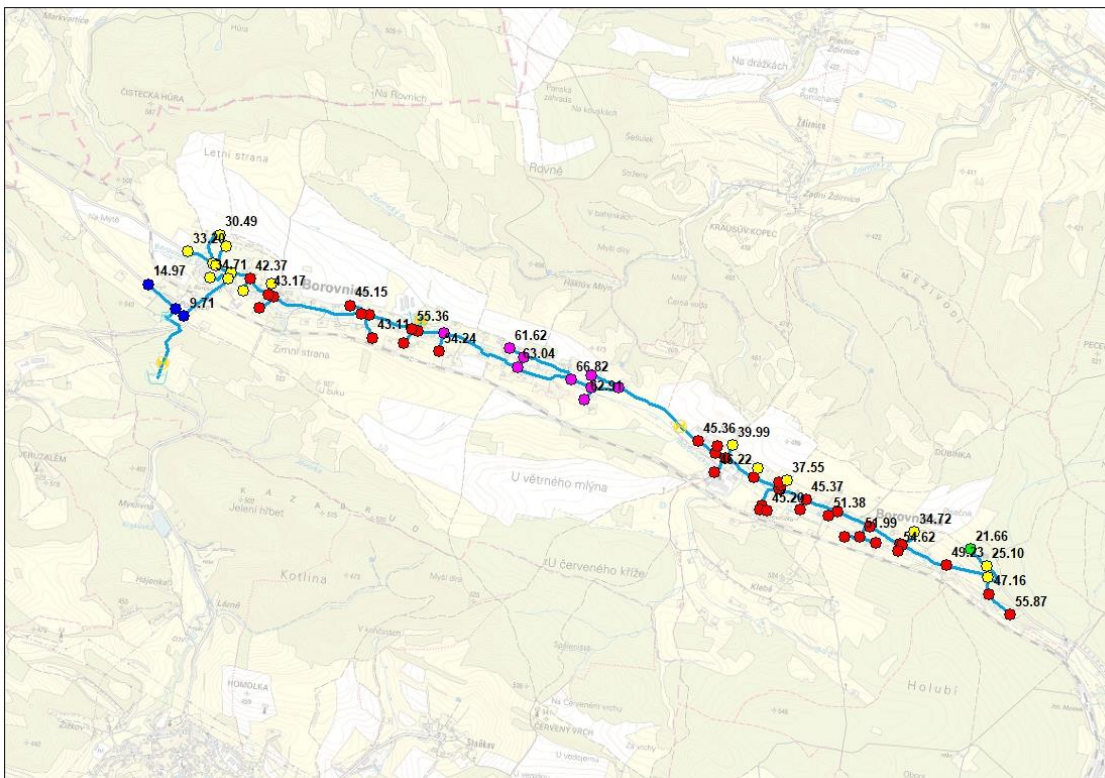
## 6.2. Model varianty č. 3b

Při tvorbě matematického modelu varianty 3b bylo postupováno obdobně jako v případě modelu varianty 1 a získány byly totožné typy výstupů, které jsou znázorněny na Obr. 35, Obr. 36, Obr. 37 a Obr. 38.

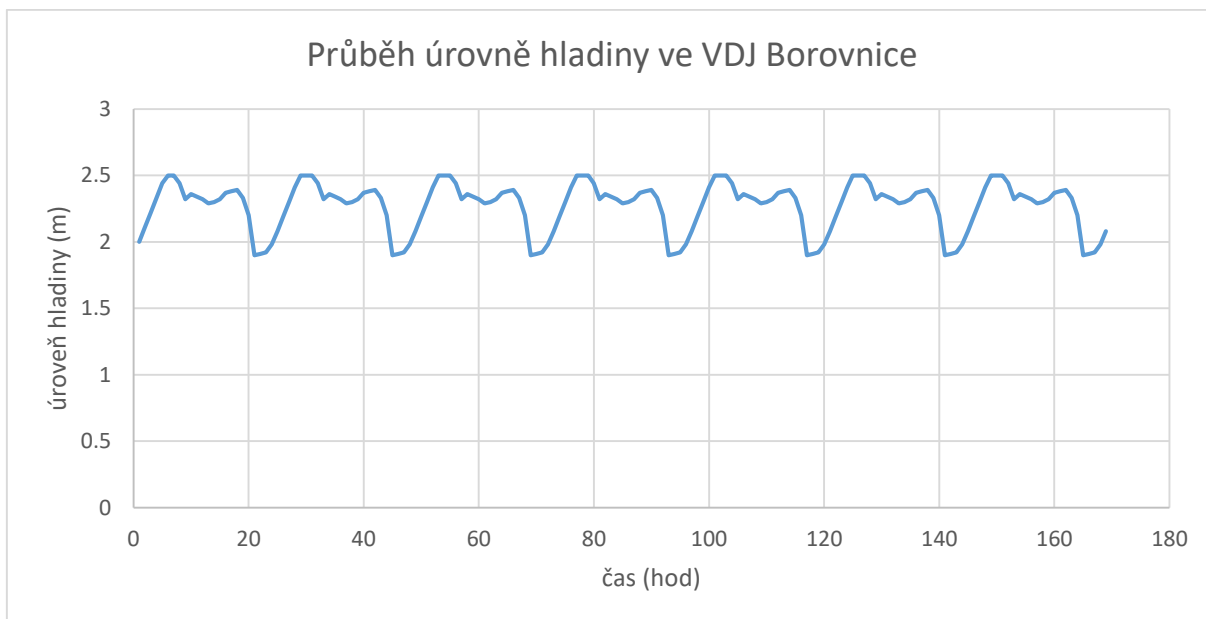




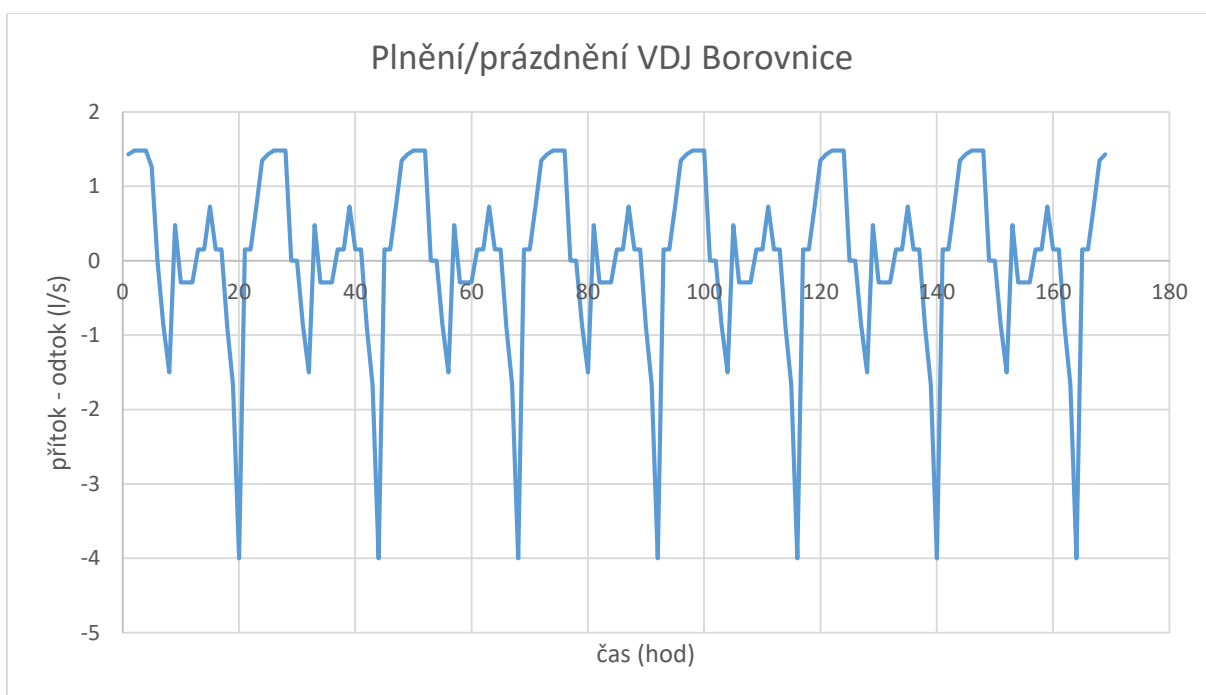
Obr. 35: Minimální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 3b



Obr. 36: Maximální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 3b



Obr. 37: Závislost úrovně hladiny ve VDJ Borovnice na čase ve variantě 3b



Obr. 38: Závislost plnění/prázdňení VDJ Borovnice na čase ve variantě 3b

## Závěr

Předkládaná bakalářská práce, jež se zabývá problematikou zásobení vybrané malé obce pitnou vodou, je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Náplň teoretické části představuje rešerše základních poznatků k problematice zásobení územních celků pitnou vodou. Rozebrána byla historie vodárenství na našem území, vodárenské soustavy, jednotlivé vodárenské prvky a také základní hydraulika vodárenských systémů.

Poznatky získané v teoretické části byly aplikovány při tvorbě části praktické, v rámci které bylo vypracováno variantní řešení zásobení obce Borovnička pitnou vodou na úrovni studie proveditelnosti. Zásadou dostupných podkladů byla zpracována analýza zájmového území, na jejímž základě se nabízelo celkem šest možných variant řešení dané problematiky. Při podrobnějším přezkoumání, rozšíření a aktualizaci dostupných podkladů byly tři varianty zavrženy a zbylé tři rozpracovány na stupeň studie proveditelnosti. Dále proběhl výpočet odhadu investičních nákladů rozpracovaných variant a jejich porovnání. Jako nejvhodnější byly vyhodnoceny tyto varianty.

- Varianta 1. – vybudování lokálního zdroje vody
- Varianta 3. – napojení na vodovod v obci Borovnice (možnost b)

Z pohledu investičních nákladů i z technicko-provozního hlediska se jeví jako nejvhodnější varianta 3b. Naopak výhodou varianty 1. oproti variantě 3b. spočívá v nezávislosti dané obce s ohledem na zásobení pitnou vodou, kterou získá v případě vybudování nových místních zdrojů ve svém katastrálním území. Během konzultace se starostka obce Borovnička vyjádřila k záměru propojení vodovodních systémů spíše nesouhlasně. Argumentem byla již zmíněná nezávislost, o kterou by v případě realizace této varianty Borovnička přišla. Rovněž starostka v sousední obci Borovnice se záměrem nesouhlasila. Důvodem je současný nedostatek vody pro možnost zásobení obce Borovnička a zároveň stávající vodovodní systém relativně vyhovující potřebám obce Borovnice. Z toho plyne, že dostavba nového zdroje vody a vodojemu není pro obec Borovnice prioritou. Dále starostka obce Borovnice rovněž projevila zájem o nezávislost v zásobení pitnou vodou. Tím pádem je záměr vybudování nového zdroje vody a vodojemu v katastrálním území obce Borovnice společnými investičními prostředky nerealizovatelný.

Z výše zmíněných aspektů plyne, že nejvhodnějším řešením zásobení obce Borovnička pitnou vodou je vybudování nových podzemních jímacích vrtů v katastrálním území obce Borovnička, což je zpracováno ve variantě 1.

## Použité zdroje

- [1] TESARČÍK, Igor. *Vodárenství*. 1. vydání. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] GRÜNWARD, Alexander, Petr ŠRYTR a Lubomír MACEK. *Vodárenství*. 1. vyd. Praha : Český svaz stavebních inženýrů, 1998. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. Řada C. TK 11. 80-902460-7-9.
- [3] SIEGEL, Seth M. a Hana ŠKAPOVÁ. *Budiž voda. Izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody*. Vydání první. Praha : Aligier s.r.o, 2016. 978-80-906420-2-7.
- [4] UCI NEWS. *A third of the world's biggest groundwater basins are in distress* [online]. 26. dubna 2018 [cit. 3. března 2021]. Dostupné z: <https://news.uci.edu/2015/06/16/a-third-of-the-worlds-biggest-groundwater-basins-are-in-distress/>.
- [5] Israel-GlobalLeaderinWaterTech\_HR\_TB\_210x210\_cmyk\_cz\_FINAL\_nahled [online]. Dostupné z: [https://embassies.gov.il/Praha/NewsAndEvents/Documents/Israel-GlobalLeaderinWaterTech\\_HR\\_TB\\_210x210\\_cmyk\\_cz\\_FINAL\\_nahled.pdf](https://embassies.gov.il/Praha/NewsAndEvents/Documents/Israel-GlobalLeaderinWaterTech_HR_TB_210x210_cmyk_cz_FINAL_nahled.pdf).
- [6] NAŠE VODA. *Propojování vodárenských soustav je nejúčinnějším opatřením vůči suchu - Naše voda* [online]. 28. května 2019 [cit. 3. března 2021]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/propojovani-vodarenskych-soustav-je-nejucinnejsim-opatrenim-vuci-suchu/>.
- [7] TZB-INFO. *Historie vodárenského a kanalizačního oboru* [online]. 1. března 2021 [cit. 1. března 2021]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/21071-historie-vodarenskeho-a-kanalizacniho-oboru>.
- [8] PETR KVAPIL, LIRA IS S.R.O. *Historie vodárenství | Pražská vodohospodářská společnost a.s* [online]. 1. března 2021 [cit. 1. března 2021]. Dostupné z: <http://www.pvs.cz/historie/historie-vodarenstvi/>.
- [9] NOVÁK, Josef. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. Vyd. 1. Líbeznice u Prahy : Vydalo Medim pro SOVAK ČR, 2003. 80-238-9946-5.
- [10] [http://dk.spsopava.cz:8080/fotogaltisk.php?adr=SEsK0B\\_20150219\\_170648](http://dk.spsopava.cz:8080/fotogaltisk.php?adr=SEsK0B_20150219_170648) [cit. 6. března 2021]. Dostupné z: [http://dk.spsopava.cz:8080/fotogaltisk.php?adr=SEsK0B\\_20150219\\_170648](http://dk.spsopava.cz:8080/fotogaltisk.php?adr=SEsK0B_20150219_170648).
- [11] FORREST, F. G. *Zdroje pitné vody - ČEVAK a.s* [online]. 4. března 2021 [cit. 4. března 2021]. Dostupné z: <https://www.cevak.cz/cs/vodovody/nejcastejsi-dotazy-a-tipy/zdroje-pitne-vody>.
- [12] *Věstník 5/98 - Metodický pokyn odboru ochrany vod MŽP ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích* [cit. 11. března 2021]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html).



- [13] INFO@AION.CZ, AION CS. 254/2001 Sb. *Vodní zákon* [online]. 3. března 2021 [cit. 3. března 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254?text=254%2F2001>.
- [14] ČSN 75 5301, *Vodárenské čerpací stanice* : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [cit. 18. března 2021].
- [15] ERIGO. | WEB DESIGN, CORPORATE PRINT | WWW.ERIGO.CZ. *Vodojemy a čerpací stanice* [online]. 18. března 2021 [cit. 18. března 2021]. Dostupné z: <https://www.bvk.cz/o-spolecnosti/vodojemy-a-cerpaci-stanice>.
- [16] ČERPADLA-ROZDĚLENÍ [cit. 12. března 2021]. Dostupné z: [https://katedry.osu.cz/kpv/cerpadla-jh/Jan\\_Hruska\\_MUC\\_soubory/page0002.htm](https://katedry.osu.cz/kpv/cerpadla-jh/Jan_Hruska_MUC_soubory/page0002.htm).
- [17] GRUNDFOS CZECH REPUBLIC. *Hydro MPC-F* [online]. 11. března 2021 [cit. 12. března 2021]. Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/cz/products/hydro-mpc/hydro-mpc-f?tab=models>.
- [18] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1. Úprava a čištění vody. 2.*, přeprac. vyd. V Praze : České vysoké učení technické, 2013. 978-80-01-05390-4.
- [19] INFO@AION.CZ, AION CS. 428/2001 Sb. *Vyhláška, kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích* [online]. 6. března 2021 [cit. 6. března 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428#cast7>.
- [20] *Vodojemy – Prefa.cz* [cit. 6. března 2021]. Dostupné z: <https://www.prefa.cz/nadrze-a-prostorove-prefabrikaty/vodojemy/>.
- [21] ČSN. 73 6005, *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení* : Česká agentura pro standardizaci [cit. 7. března 2021].
- [22] vak\_kromeriz\_standardy\_vodovod [online]. 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).
- [23] ČSN EN 805, *Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha : ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT [cit. 9. března 2021].
- [24] KOLÁŘ VÁCLAV, CYRIL PATOČKA A JIŘÍ BÉM. *Hydraulika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [25] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. *Hydraulika. Příklady*. Vyd. 2. Praha : ČVUT, 1997, 1988. 8001015866.
- [26] VODOVOD.INFO. *Historický dokument: Směrnice č. 9/1973 pro výpočet potřeby vody - Vodovod.info* [online]. 14. března 2021 [cit. 14. března 2021]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/zakony-a-vyhlasky/218-historicky-dokument-smernice-c-9-1973-vypocet-potreby-vody#.YE3okmhKjcv>.
- [27] skripta.dvi [online]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/Bi3101/um/skripta.pdf>.
- [28] ŘÍHA, Jaromír. *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*. Vyd. 1. Brno : VUT, 1997. 8021408278.

- [29] US EPA. *EPANET | US EPA* [online]. 31. srpna 2020 [cit. 16. března 2021]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.
- [30] MACSEK, Tomáš. *Epanet 2.0 jako nástroj pro hydrotechnické posouzení vodovodu* [online]. 16. března 2021 [cit. 16. března 2021]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/clanky/402-epanet-2-0-jako-nastroj-pro-hydrotechnicke-posouzeni-vodovodu#.YFEw1J1KiUk>.
- [31] *InfoWater | Innovyze® Store* [cit. 20. března 2021]. Dostupné z: [https://store.innovyze.com/WaterDistribution/InfoWater?cclcl=en\\_US](https://store.innovyze.com/WaterDistribution/InfoWater?cclcl=en_US).
- [32] *Karta obce Borovnička (2004) | Plán rozvoje vodovodů a kanalizace Královéhradeckého kraje* [cit. 15. dubna 2021]. Dostupné z: <https://mapy.kr-kralovehradecky.cz/vak/karty-obci/7862-borovnicka>.
- [33] S.R.O., Antee. *Obec Borovnička - oficiální webové stránky* [online]. 15. dubna 2021 [cit. 15. dubna 2021]. Dostupné z: <https://www.borovnicka.eu/>.
- [34] *PRVKÚ ČR* [cit. 15. dubna 2021]. Dostupné z: <https://prvk.hydrosoft.cz/zakladni-mapa>.
- [35] ZÁSTUPCE OBCE. Osobní rozhovor. 2021.
- [36] *Vodovody | Plán rozvoje vodovodů a kanalizace Královéhradeckého kraje* [cit. 15. dubna 2021]. Dostupné z: <https://mapy.kr-kralovehradecky.cz/vak/mapy/vodovody>.
- [37] ČSN 75 6101, *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha : ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT [cit. 15. dubna 2021].
- [38] ČSN 73 0873, *Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou*. Praha : ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT [cit. 20. dubna 2021].

## Seznam obrázků

Obr. 1: Územní působnost vodárenských soustav [1] .....	12
Obr. 2: Schéma gravitačního vodovodu [10].....	13
Obr. 3: Schéma výtlačného vodovodu [10].....	13
Obr. 4: Schéma vodárenské soustavy .....	14
Obr. 5: Technologické procesy úpravy podzemní vody [18] .....	21
Obr. 6: Technologické procesy úpravy povrchové vody [18] .....	21
Obr. 7: Schéma umístění vodojemu před spotřebišťem [9].....	23
Obr. 8: Schéma vodojemu umístěného v těžišti spotřebišť [9].....	24
Obr. 9: Schéma vodojemu umístěného za spotřebišťem [9] .....	24
Obr. 10: Druhy uspořádání rozvodných sítí [2] .....	26
Obr. 11: Bernoulliho rovnice pro ideální tekutinu [25] .....	31
Obr. 12: Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu [25] .....	32
Obr. 13: Moodyho diagram součinitele tření pro technická potrubí [24].....	33
Obr. 14: Schéma výtlačného hydraulického systému potrubí-čerpadlo .....	36
Obr. 15: Pracovní charakteristika výtlačného hydraulického systému potrubí-čerpadlo [2] .....	36
Obr. 16: Stupně zjednodušení vodovodní sítě [2].....	40
Obr. 17: Řešené území na podkladu ZM200 .....	46
Obr. 18: Výstřižek zájmového území z mapy znázorňující postiženost suchem [35] 46	
Obr. 19: Výstřižek zájmového území z mapy PRVKÚK [37].....	47
Obr. 20: Přehled navrhovaných variant na podkladu mapy PRVKÚK .....	54
Obr. 21: Schéma navrhovaných rozváděcích řadů s jejich označením .....	55
Obr. 22: Graf znázorňující rozdělení potřeby vody dle koef. hod. nerovnoměrnosti .	56
Obr. 23: Návrhy umístění vodojemu .....	57
Obr. 24: Vytipované oblasti pro zhotovení jímacích vrtů na podkladu ortofoto mapy	61
Obr. 25: Schéma Varianty 1 – vybudování místních zdrojů vody na podkladu ZM10 [34] .....	62
Obr. 26: Schéma varianty 3a – napojení na vodovod v obci Borovnice na podkladu ZM10 .....	64
Obr. 27: Schéma varianty 3b – napojení na vodovod v obci Borovnice na podkladu ZM10 .....	65

Obr. 28: Schéma Varianty 4 – napojení na vodovod Hostinné na podkladu ZM10 [34] .....	66
Obr. 29: Podélný profil přiváděcího řadu ve Variantě č. 4 .....	67
Obr. 30: Rozdělení odběrů do jednotlivých nejbližších uzlů na podkladu ZM10 .....	74
Obr. 31: Minimální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 1 .....	75
Obr. 32: Maximální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 1 .....	75
Obr. 33: Závislost úrovně hladiny ve VDJ Borovnička na čase ve variantě 1 .....	76
Obr. 34: Závislost plnění/prázdňení VDJ Borovnička na čase ve variantě 1 .....	76
Obr. 35: Minimální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 3b.....	77
Obr. 36: Maximální přetlaky na navrhované vodovodní síti ve variantě 3b.....	77
Obr. 37: Závislost úrovně hladiny ve VDJ Borovnice na čase ve variantě 3b.....	78
Obr. 38: Závislost plnění/prázdňení VDJ Borovnice na čase ve variantě 3b .....	78

## Seznam tabulek

Tab. 1	Hydraulická drsnost pro technicky vyráběné potrubí dle Altšula .....	34
Tab. 2:	Koeficienty denní nerovnoměrnosti dle Směrnice 9/1973 Sb. [2] .....	39
Tab. 3	Výpočet průměrné potřeby vody pro současný počet obyvatel .....	49
Tab. 4	Výpočet průměrné potřeby vody pro výhledový počet obyvatel.....	50
Tab. 5	Součinitel hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101 [37].....	51
Tab. 6	Výsledné hodnoty potřeby vody .....	51
Tab. 7:	Výškopisná analýza spotřebiště .....	56
Tab. 8:	Výškové umístění VDJ Borovnička .....	57
Tab. 9:	Výpočet provozního objemu .....	58
Tab. 10:	Dimenzování zásobního objemu zemního VDJ Borovnička s uvážením zásoby požární vody.....	60
Tab. 11:	Dimenzování zásobního objemu zemního VDJ Borovnička bez uvážení zásoby požární vody.....	60
Tab. 12:	Orientační investiční náklady Varianty 1 – vybudování místního zdroje vody .....	68
Tab. 13:	Orientační investiční náklady Varianty 3a – napojení na vodovod v obci Borovnička s navrženým VDJ Borovnička .....	69
Tab. 14:	Orientační investiční náklady Varianty 3b – napojení na vodovod v obci Borovnička bez navrženého VDJ Borovnička .....	70
Tab. 15:	Orientační investiční náklady Varianty 4 – napojení na skupinový vodovod Hostinné .....	71

## **Seznam Příloh**

- PŘÍLOHA 1. - Přehledná situace varianty 1 – vybudování nových místních zdrojů
- PŘÍLOHA 2. – Přehledná situace varianty 3a) - napojení na vodovodní systém v obci Borovnice s navrženým VDJ Borovnička
- PŘÍLOHA 3. – Přehledná situace varianty 3b) - napojení na vodovodní systém v obci Borovnice s redukčním ventilem
- PŘÍLOHA 4. – Přehledná situace varianty 4 – napojení na skupinový vodovod Hostinné