

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



DIPLOMOVÁ PRÁCE
Variantní hydraulický návrh nového
vodovodu pro chatovou oblast
„V Hlubokém“

Bc. Tomáš Novotný
2023

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kateřina Slavíčková, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Novotný</u>	Jméno: <u>Tomáš</u>	Osobní číslo: <u>476123</u>
Zadávací katedra: <u>K144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Variantní hydraulický návrh nového vodovodu pro chatovou oblast „V Hlubokém“</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Variant hydraulic design of a new water supply system for cottage recreational area „V Hlubokém“</u>	
Pokyny pro vypracování: Cílem diplomové práce bude zpracování variantního hydraulického návrhu nového vodovodu pro chatovou oblast „V Hlubokém“ s využitím matematického modelování. V teoretické části bude zpracována rešerše literatury k dané problematice. Součástí práce bude analýza zásobování dané lokality a příprava podkladů. Nově navrhované řady budou modelovány v programu Epanet 2.2. z hlediska tlakových a průtokových poměrů. Varianty návrhu řešení budou porovnány a v závěru budou posouzeny i z hlediska jejich využitelnosti v praxi.	
Seznam doporučené literatury: GRÜNVALD, Alexander a kol.: Vodárenství. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 80-902460-7-9 Trifunovic Nemanja: Introduction to Urban Water Distribution, Taylor and Francis Group, 2006, ISBN10 0-415-39517-8 ČSN 75 5401. Navrhování vodovodního potrubí. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007 ROSSMAN, A. L., 2000: EPANET 2 Users Manual, United States Environmental Protection Agency US E.P.A	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>20.9.2022</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>9. 1. 2023</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů a literatury v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne:

.....
Tomáš Novotný

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé diplomové práce Ing. Kateřině Slavičkové, Ph.D. za vřelý přístup, ochotu a čas věnovaný konzultacím při odborném vedení této diplomové práce. Poděkování také patří mé rodině za podporu po celou dobu studia.

Anotace

Předmětem této diplomové práce je vypracování variantního hydraulického návrhu nového vodovodu pro chatovou oblast „V Hlubokém“ s využitím matematického modelování. Chatová oblast se nachází ve Středočeském kraji 10 km západně od Prahy. Zájmové území tvoří přibližně 150 chat. Práce je rozdělena na teoretickou část (literární rešerši) a praktickou část.

Teoretická část obsahuje rešerši technických a legislativních podkladů souvisejících s navrhováním vodovodů a stanovením potřeby vody. Podstatná část teoretické části se věnuje hydraulice ve vodovodních sítích, kde jsou představeny základní principy výpočtů. Samostatné kapitoly se pak týkají matematického modelování a využitého softwaru EPANET. Na závěr teoretické části je popsán vývoj a současný stav chatových oblastí v tuzemsku a je nastíněna problematika jejich zásobování pitnou vodou.

V praktické části je nejprve představena zájmová lokalita a použité podklady. Dále je stanovena průměrná potřeba vody pro jeden chatový objekt na základě vyhodnocení reálných dat z již napojených chat v širším okolí řešeného území. Samotný návrh distribuční sítě je vypracován ve třech variantách s využitím softwaru EPANET a nástrojů GIS. Výsledky jsou v práci prezentovány pomocí barevných map a grafů. Na závěr je provedeno orientační stanovení investičních nákladů a vzájemné porovnání navržených variant.

Klíčová slova

zásobování pitnou vodou, chatové oblasti, potřeba vody, EPANET, matematické modelování

Annotation

The subject of this thesis is the elaboration of a variant hydraulic design of a new water supply system for the cottage area "V Hlubokém" using mathematical modelling. The cottage area is located in the Central Bohemia region 10 km west of Prague. The area of interest consists of approximately 150 cottages. The thesis is divided into a theoretical part (literature search) and a practical part.

The theoretical part contains a research of technical and legislative documents related to the design of water supply systems and determination of water demand. A substantial part of the theoretical part is devoted to hydraulics in water supply networks, where the basic principles of calculations are presented. Separate chapters deal with mathematical modelling and the EPANET software used. At the end of the theoretical part, the development and current state of cottage areas in the country is described and the problem of their drinking water supply is outlined.

In the practical part, the locality of interest and the background materials used are first introduced. Next, the average water demand for one cottage is determined based on the evaluation of real data from already connected cottages in the wider surroundings of the study area. The actual design of the distribution network is developed in three variants using EPANET software and GIS tools. The results are presented in the thesis using colour maps and graphs. Finally, an indicative determination of investment costs and a comparison of the proposed variants is made.

Key words

drinking water supply, cottage recreational areas, water demand, EPANET, mathematical modelling



Obsah

1. Úvod	10
2. Cíle práce.....	11
3. Literární rešerše	12
3.1 Legislativní a normové nároky na vodovodní sítě.....	12
3.1.1 Potřeba vody	12
3.1.2 Technické parametry.....	14
3.1.3 Trasování a uložení vodovodních sítí	15
3.2 Rozvodné vodovodní sítě	16
3.2.1 Větvné sítě.....	17
3.2.2 Okruhové sítě	18
3.3 Hydraulika vodovodních sítí	19
3.3.1 Rovnice kontinuity	19
3.3.2 Bernoulliho rovnice	20
3.3.3 Úsekové potřeby	25
3.3.4 Uzlové potřeby	27
3.3.5 Výpočty větvných sítí	27
3.3.6 Výpočty okruhových sítí	27
3.4 Tlakové poměry ve vodovodních sítích	29
3.4.1 Taková pásma.....	29
3.4.2 Zvýšení tlaku na síti	30
3.4.3 Snížení tlaku na síti.....	31
3.5 Matematické modelování	32
3.5.1 Fáze procesu tvorby matematického modelu	32
3.5.2 Software Epanet.....	34
3.6 Problematika zásobování chatových oblastí pitnou vodou	38
3.6.1 Vývoj chataření v tuzemsku	38
3.6.2 Demografie.....	40
3.6.3 Zásobování z vlastních zdrojů	41
3.6.4 Zásobování z veřejných vodovodů a stanovení potřeby vody.....	43
4. Praktická část	44
4.1 Popis zájmového území.....	44



4.1.1	Stávající stav zásobení pitnou vodou	44
4.2	Podklady a související dokumentace.....	45
4.2.1	Územní plán obce.....	45
4.2.2	Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje	45
4.2.3	Datové listy digitálního modelu reliéfu 5G	46
4.2.4	Generel vodovodu města Rudná	47
4.2.5	Studie proveditelnosti – Připojení Nučic na přivaděč BKDZH.....	48
4.2.6	Studie stavby VDJ Nučice	48
4.3	Stanovení průměrné potřeby vody pro chatové objekty	49
4.3.1	Přehled zpracovaných lokalit	50
4.3.2	Vyhodnocení	57
4.4	Varianty řešení.....	59
4.4.1	Varianta 1 – napojení z vodovodní sítě v Rudné.....	59
4.4.2	Varianta 2 – napojení z nově plánovaného vodojemu v Nučicích.....	59
4.4.3	Varianta 3 – napojení z oblastního přivaděče BKDZH.....	59
4.5	Sestavení modelu	60
4.5.1	Schematizace stávající sítě	63
4.5.2	Hodinová nerovnoměrnost	63
4.6	Zatěžovací stavy.....	64
4.6.1	Zatěžovací stav 1	65
4.6.2	Zatěžovací stav 2	65
4.7	Výsledky.....	66
4.7.1	Varianta 1 – napojení z vodovodní sítě v Rudné.....	67
4.7.2	Varianta 2 – napojení z nově plánovaného vodojemu v Nučicích.....	71
4.7.3	Varianta 3 – napojení z oblastního přivaděče BKDZH.....	78
5.	Vyhodnocení	84
5.1	Tlakové poměry na síti	84
5.1.1	Porovnání tlakových poměrů	86
5.2	Hrubé stanovení investičních nákladů	87
5.3	Shrnutí	90
6.	Závěr.....	93
6.1	Závěrečné doporučení.....	93
7.	Citovaná literatura	95



8. Seznam obrázků	100
9. Seznam tabulek.....	102



1. Úvod

Pitná voda se s postupem času mění v čím dál tím důležitější komoditu, kterou ovšem na druhé straně většina populace ve vyspělých státech již vnímá jako samozřejmost. V České republice bylo v roce 2021 z vodovodu zásobeno 96 % obyvatel [1]. Prostor pro novou výstavbu je v menších samostatných lokalitách a nově plánované zástavbě nebo v oblastech s objekty pro rekreaci, neboť chatové oblasti patří k charakteristickým prvkům české krajiny. Napojení na veřejnou vodovodní síť přináší pro nově napojené obyvatele řadu benefitů, zejména jistou dodávku vody v požadované kvalitě. Navrhování a výstavba vodovodních sítí je tak klíčovou složkou při budování infrastruktury.

Časový vývoj přináší zároveň změny v možnostech navrhování, kdy je čím dál tím více implementována výpočetní technika a specializované výpočetní a grafické programy. Matematické modely umožňují simulace pro široké spektrum výstupů. Jejich využívání poskytuje efektivitu pro výpočty a prezentace výsledků. Je ovšem podmíněno nutností porozumění řešené problematice a dále klade na uživatele nároky týkající se jejich správného použití a využití.



2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je zpracování variantního hydraulického návrhu nového vodovodu pro chatovou oblast „V Hlubokém“ s využitím matematického modelování.

Praktické části bude předcházet teoretická část zahrnující rešerši literatury a technických podkladů související s navrhováním vodovodních potrubí, stanovením potřeby vody a s výpočty ve vodovodních sítích. Teoreticky je také v této části popsán proces matematického modelování. Jedna kapitola je dále věnována fenoménu chataření v České republice a problematice zásobování těchto lokalit pitnou vodou.

Součástí praktické části je analýza zásobování řešené lokality pitnou vodou. Důraz bude kladen na pečlivou přípravu vstupních dat. Nově navržené varianty zásobování budou modelovány v programu Epanet 2.2 z hlediska tlakových a průtokových poměrů. Jednotlivé návrhy budou vzájemně porovnány a posouzeny z hlediska jejich využitelnosti v praxi.



3. Literární rešerše

3.1 Legislativní a normové nároky na vodovodní síť

3.1.1 Potřeba vody

Přesné stanovení potřeby vody budoucích odběratelů je jedním z klíčových prvků návrhu nových vodovodních potrubí. Měření skutečné potřeby je málokdy k dispozici, a proto se zpravidla množství určuje výpočtem. Celková potřeba vody se může pohybovat mezi 150 l až 250 l na osobu a den v závislosti na sociálních a klimatických podmínkách, avšak bez zvláštních požadavků pro průmysl [2]. Pro stanovení potřeby vody, respektive průměrného denního průtoku $Q_{24,d}$ lze využít tabelovaných hodnot uvedených v příloze č.12 vyhlášky č 120/2011 nebo dle směrnice č.9 z roku 1973.

Průtoky pro vlastní dimenzování potrubí se pak obvykle počítají dle metodického postupu s využitím směrnice č.9/1973. Maximální denní potřeba vody pro obyvatelstvo se vypočte dle vztahu (3.1.1.1):

$$Q_{max,d} = k_d Q_{24,d} \quad (3.1.1.1)$$

Kde:

$Q_{max,d}$	Maximální denní potřeba vody
$Q_{24,d}$	Průměrná denní potřeba vody
k_d	Součinitel denní nerovnoměrnosti

Součinitel denní nerovnoměrnosti je dán velikostí obce, lze použít hodnoty uvedené ve směrnici č.9/1973 (Tabulka 1) nebo doporučené empiricky stanovené hodnoty (Tabulka 2).

Tabulka 1: Hodnoty denní nerovnoměrnosti dle směrnice č.9/1973 [3]

velikost obce	součinitel denní nerovnoměrnosti k_d
do 1000 obyvatel	1,5
1 000 – 5 000 obyvatel	1,4
5 000 – 20 000 obyvatel	1,35
20 000 – 100 000 obyvatel	1,25



Tabulka 2: Hodnoty denní nerovnoměrnosti – empirické hodnoty [4]

počet obyvatel	součinitel denní nerovnoměrnosti k_d
do 500	1,5
500 – 2 000	1,35
2 000 – 20 000	1,30
20 000 – 1 000 000	1,25
nad 1 000 000	1,20

Dále se vypočte maximální hodinová potřeba vody (3.1.1.2):

$$Q_{max,h} = k_h Q_{max,d} \quad (3.1.1.2)$$

$Q_{max,h}$ Maximální hodinová potřeba vody
 k_h Koeficient hodinové nerovnoměrnosti

Koeficient hodinové nerovnoměrnosti je závislý na charakteru zástavby. Interval hodnot se pohybuje od 1,8 – 2,1. Vyšší hodnoty v tomto rozmezí se používají pro spotřebišť, jež mají sídlištní charakter [3].

Kapacita a požadavky na průtok různých součástí rozvodné sítě vyžadují pečlivé zvážení, neboť výsledek velmi závisí na spolupůsobení řadů, zásobních vodojemů a čerpacích zařízení. Obvykle rozváděcí a hlavní řady, které přímo zajišťují zásobování, musí být schopny zabezpečit částečně nebo zcela největší hodinové průtoky. Příváděcí řady zajišťují zásobování vodojemu a není nutné je dimenzovat na největší hodinové průtoky [2]. Zpravidla se navrhuje na kapacitou danou maximálními denními průtoky.

Jiný způsob výpočtu hodinové potřeby udává i norma ČSN 75 5455 Výpočet vnitřních vodovodů. Tato norma se zaměřuje především na dimenzování vnitřních vodovodů a vodovodních přípojek. Svoji platnost rozšiřuje i na malá spotřebišť charakteru obce do 2000 obyvatel. Za maximální hodinovou potřebu vody se považuje průtok stanovený pomocí jednoho z následujících vztahů dle druhu budov [5]:

- Pro rodinné domy, bytové domy, penziony, administrativní budovy, školy, školky, jednotlivé prodejny (s převážně rovnoměrným odběrem vody pouze k osobní hygieně zaměstnanců a úklidu), hygienická zařízení jednoho pokoje pro ubytování nebo jednoho nemocničního pokoje.

$$Q_d = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Q_{Ai}^2 n_i)} \quad (3.1.1.3)$$



- Pro ostatní budovy s převážně rovnoměrným odběrem vody (budovy zdravotní, kulturní), hotely, restaurace a obchodní domy.

$$Q_d = \sum_{i=1}^m Q_{Ai} \sqrt{n_i} \quad (3.1.1.4)$$

- Pro budovy, u kterých se předpokládá hromadné nárazové používání odběrných míst např. hygienická zařízení pro sportovce, hygienická zařízení průmyslových závodů, veřejné WC s velkou a nárazovou návštěvností.

$$Q_d = \sum_{i=1}^m \varphi_i Q_{Ai} n_i \quad (3.1.1.5)$$

Q_d	Návrhový průtok
Q_A	Jmenovitý výtok jednotlivými druhy odběrných míst, např. dle ČSN 75 5455
ϕ	Součinitel současnosti dle ČSN 75 5455
n	Počet odběrných míst stejného druhu
m	Počet druhů odběrných míst

Norma zároveň tuto metodu výpočtu připouští použít pro spotřebiště s více jak 2 000 obyvateli. Je ovšem nutné současně stanovit hodinovou spotřebu podle zásad výpočtu potřeby vody (výpočet maximální hodinové potřeby vody) [5]. Přívodní potrubí se pak dimenzuje na větší ze dvou takto zjištěných hodnot.

3.1.2 Technické parametry

Technické normy a legislativa související s navrhováním vodovodních řadů udávají hodnoty některých technických parametrů, které v konečném důsledku zajišťují optimální chování a provoz sítě.

3.1.2.1 Tlakové poměry

Rozpětí tlaků, které je přípustné na vodovodní síti udává vyhláška č 428/2001 sb. Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa. V odůvodněných případech 0,7 MPa [6]. Vyšší tlak může způsobovat provozní obtíže a zvýšené úniky vody. 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. [6] Návrh tlakových poměrů na síti by měl dále zohlednit požadavky provozovatele.



3.1.2.2 Průtočné rychlosti

V praxi je žádoucí vyvarovat se zbytečně velkých nebo malých rychlostí. Velké rychlosti mají za následek zvýšení hydraulických ztrát. Malé rychlosti vedou k delší době zdržení vody v síti a mohou způsobit zhoršení její jakosti. Rozsah od 0,5 m/s do 2,0 m/s se může považovat za přiměřený. V případě výtlačných řadů je důležité zvážení ekonomické stránky návrhu [2]. Norma ČSN 75 5301 Vodárenské čerpací stanice udává následující doporučené rozmezí rychlostí.

Tabulka 3: Doporučené rychlosti vody v sacím potrubí dle [7]

dimenze potrubí	doporučené rychlosti [m/s]
<DN 300	0,5 - 1,2
> DN 300	0,5 - 1,2

Tabulka 4: Doporučené rychlosti vody ve výtlačném potrubí dle [7]

dimenze potrubí	doporučené rychlosti [m/s]
< DN 250	0,5 -1,4
> DN 250	0,5 - 1,6

3.1.3 Trasování a uložení vodovodních sítí

3.1.3.1 Trasy vodovodních sítí

Návrh tras závisí zejména na místních podmínkách. Norma ČSN EN 805 popisuje řadu faktorů, které je nutné brát v úvahu při návrhu trasy vodovodu. Uvést lze např.

- Spolehlivost zásobování
- Snadný přístup pro údržbu
- Počet a umístění sekčních uzávěrů, zavzdušňovacích a odvzdušňovacích ventilů, výpustí a hydrantů
- Nepříznivé základové podmínky a obtížný terén
- Vzájemné ovlivnění se stromy
- Trubní materiál a způsob ochrany proti korozi v agresivních a kontaminovaných zeminách
- Minimální sklon
- Volbu nejkratší možné trasy

Vztah k ostatním inženýrským sítím z hlediska nejmenších odstupových vzdáleností popisuje norma ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání vedení technického vybavení.



Udává mimo jiné i v přehledných tabulkách nejmenší vzájemné odstupové vzdálenosti ve svislém a vodorovném směru. [8]

Dále je nutné uvážit vznik ochranných pásem. Ochrannými pásmy se rozumí prostor v bezprostřední blízkosti vodovodních řadů určený k zajištění jejich bezpečnosti a provozuschopnosti. Ochranná pásma jsou vymezena vodorovnou vzdáleností od vnějšího líce stěny potrubí nebo kanalizační stoky na každou stranu [9]

- 1) u vodovodních řadů do průměru 500 mm včetně, 1,5 m,
- 2) u vodovodních řadů nad průměr 500 mm, 2,5 m,
- 3) u vodovodních řadů nebo kanalizačních stok o průměru nad 200 mm, jejichž dno je uloženo v hloubce větší než 2,5 m pod upraveným povrchem, se vzdálenosti od vnějšího líce zvyšují o 1,0 m

3.1.3.2 Výška krytí

Nejmenší doporučená výška krytí vodovodního potrubí o světlosti menší než DN 400 je v závislosti na inženýrskogeologických a hydrogeologických podmínkách dle ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí 1,2 – 1,5 m. Menší výšky krytí je možné navrhnout v příznivých podmínkách (stálá vyšší teplota dopravované vody, vhodné klimatické podmínky apod.) [10]

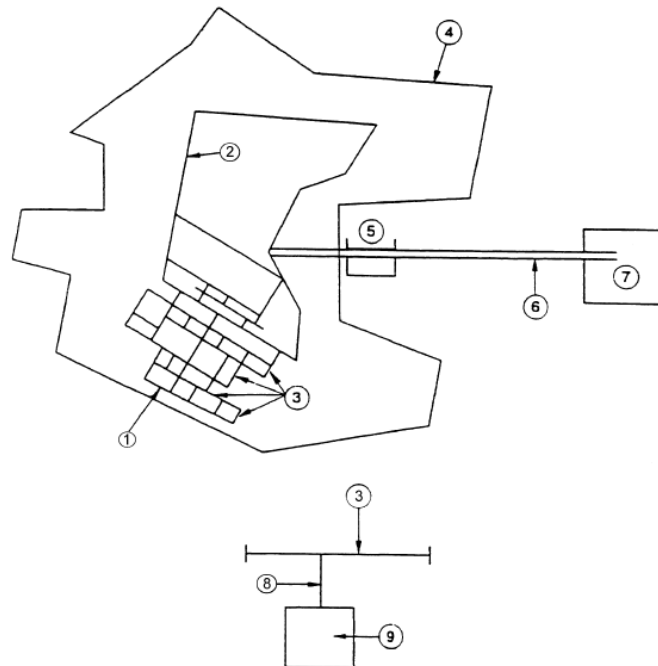
Tabulka 5: Nejmenší doporučená výška krytí dle [10]

nejmenší doporučená výška krytí	[m]
v hlinitých zeminách	1,2
v hlinitopísčitých zeminách	1,3
v písčitých zeminách	1,4
ve štěrkových a skalnatých zeminách	1,5

U vodovodního potrubí DN 400 a větší jmenovité světlosti je možné uvedené hodnoty (Tabulka 5) snížit o 0,2 m. [10]

3.2 Rozvodné vodovodní sítě

Rozvodné vodovodní sítě slouží k dopravě vody k odběratelům. Zahrnují potrubí, vodojemy, čerpací stanice a další objekty. Začínají na výstupu z úpravní vody nebo za odběrem v případě, že se surová voda neupravuje, a končí v místě napojení vnitřního rozvodu odběratele. [2]. Tvar vodovodní sítě v zásobované oblasti definuje hydraulické metody výpočtu a provozní vlastnosti sítě. Tvar vychází z řady faktorů, které se pojí především s místními podmínkami (rozložení zástavby a ulic, majetkoprávní situace, geologické a morfologické anomálie apod.) Dále roli hraje rozložení tlakových pásem a hospodárnost návrhu.



Legenda

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

Obrázek 1: Základní prvky vodovodních sítí [2]

3.2.1 Větvné sítě

Větvné sítě jsou charakteristické spíše pro místní vodovody v malých obcích. Často je hlavní zásobní řad veden v ose hlavní komunikace. Z hlavního řadu se pak dále větví síť místními řady do více koncových bodů. Větvení bývá i díky místním podmínkám násobné. Hlavní směr proudění je u větvných sítí jednoznačně daný od zdroje ke koncům systému. [11] [12]

Výhody:

- Kratší trubní vedení a menší investiční náklady
- Výpočet bez nutnosti zavedení iteračních cyklů

Nevýhody:

- Poměrně vysoké oscilace tlaků při kolísání odběrů vody
- Hromadění sedimentů a zhoršení jakosti v koncových úsecích sítě v důsledku stagnace proudění vody
- Nutné odstávky při poruše nebo revizích se mohou týkat i rozlehlých částí



Obrázek 2: Schéma větvivé sítě [13]

3.2.2 Okruhové sítě

Zokrouhování sítě má za následek odstranění nedostatků, kterými disponuje větvivá síť. Okruhové sítě se vyznačují přítomností uzlů, které mohou přijímat vodu z více stran. Proudění je dáno nejen uspořádáním sítě, ale i jejím provozem. Směr proudění se tak může v závislosti na časoprostorovém rozložení odběrů měnit. Charakteristické jsou například pro novou bytovou zástavbu, která je společně s ulicemi rozložena pravidelně a je vhodná pro vytvoření okruhové sítě. Dále jsou okruhové sítě navrhovány v průmyslových areálech za účelem zvýšení spolehlivosti pro zajištění odběrů potřebných pro výrobu. [11] [12]

Výhody:

- Snížení tlakových ztrát a rovnoměrnější tlaky
- Počet pozemků postižených přerušением dodávky se může výrazně snížit díky manipulaci s uzávěry a zásobování z opačné strany
- Snadnější uspokojení nadměrně vysokých potřeb vody
- Lépe zajištěná dodávka vody pro případ použití pro požární účely
- Lepší cirkulace vody v síti což má za následek kratší dobu zdržení

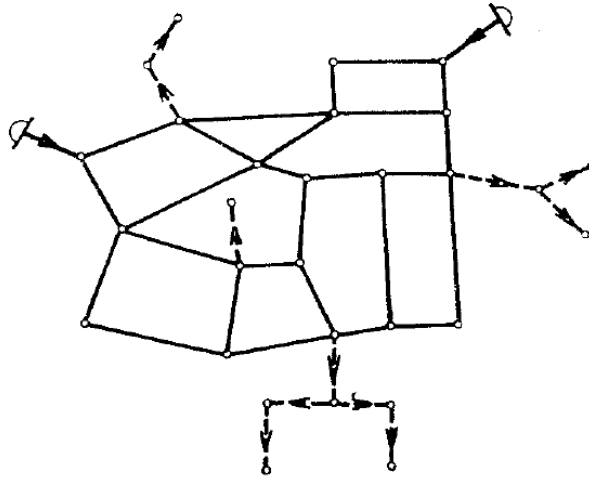
Nevýhody:

- Vyšší náklady na výstavbu a provoz
- Snížení průtočných rychlostí a prodloužení doby zdržení vody v síti
- Vypočet s nutností iterace

Vhledem ke skutečnosti, že každé prostorové uspořádání sítě má svoje výhody a nevýhody, je doporučováno navrhování kombinovaných systémů, kdy je kladen důraz na zokrouhování hlavních řadů a vedlejší zásobovací řady zůstávají větvivé, což přináší úsporu. Toto řešení bývá také podpořeno prostorovým rozložením zástavby. Koncepti kombinovaných systémů lze aplikovat i v menším měřítku. Jednotlivé zásobovací okruhy by měly být oddělené a propojené s hlavními řadami jedním potrubím



s uzávěrem a sekčním vodoměrem a dále minimálně jedním rezervním uzavřeným propojem. Spolehlivost sítě se tak zvýší a omezení vyplývající z poruchy lze zredukovat na malé oblasti. Zároveň je možné snadno zjistit množství vody dodávané do jednotlivých okrsků a vyhledávat případné úniky. [11]



Obrázek 3: Schéma okružní sítě s větvnými odbočkami [13]

3.3 Hydraulika vodovodních sítí

Hydrauliku vodovodních sítí řídí dvě základní rovnice – rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice.

3.3.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity vyjadřuje zákon zachování hmoty. Při řešení hydraulických úloh se zanedbává vliv teploty za předpokladu, že hustota a tlak určují jednoznačně teplotu v kterémkoliv bodě. Dále se předpokládá nestlačitelnost kapaliny a její konstantní hustota, což má za následek vyjádření proteklé hmotnosti pouze pomocí složek rychlostí u_x , u_y a u_z . Za těchto předpokladů lze rovnici spojitosti zapsat v diferenciálním tvaru (3.3.1.1), který je platný pro ustálené i neustálené proudění: [14]

$$\frac{\delta u_x}{\delta x} + \frac{\delta u_y}{\delta y} + \frac{\delta u_z}{\delta z} = 0 \quad (3.3.1.1)$$



3.3.2 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice popisuje zákon zachování energie. Bilancuje mezi dvěma zvolenými profily na téže proudnici složky potenciální, kinetické a tlakové energie. Pro výpočet proudění v potrubí se používá tvar (3.3.2.1):

$$H_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + Z \quad (3.3.2.1)$$

Kde:

H	Geodetická výška
p	Hydrodynamický tlak v daném průřezu
ρ	Hustota kapaliny
g	Tíhové zrychlení
α	Coriolisovo číslo
v	Střední průřezová rychlost v daném průřezu
Z	Ztráta energie v potrubí mezi průřezy 1 a 2

Ztráta energie je způsobena dvěma mechanismy:

1) turbulencí, která vzniká při každé změně směru nebo plochy proudění-ztráty místní Z_m , které jsou pro výpočet lokalizovány v místě prvku, který způsobuje ztrátu energie [15].

2) odporem stěn potrubí – ztráty třením Z_t , které jsou průběžné po celé délce potrubí

Celková ztrátová výška energie je pak tedy součtem místních ztrát a ztrát třením (3.3.2.3).

$$Z = Z_m + Z_t \quad (3.3.2.2)$$

3.3.2.1 Místní ztráty

Místní ztráty jsou ve vodovodních sítích dány počtem a rozmístěním kolen, změn průřezů, tvarovek, armatur apod. Jejich popis je založen na vztažení součinitele místní ztráty ξ k rychlostní výšce v místě prvku dle rovnice (3.3.2.3):

$$Z_m = \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{v_i^2}{2g} \quad (3.3.2.3)$$

Suma ve vztahu znamená načítání všech místních ztrát na počítaném úseku. Při výpočtech dlouhých potrubí jsou místní ztráty buďto zanedbány nebo zohledněny v empirickém navýšení ztrát třením nebo prodloužením délky potrubí.



3.3.2.2 Ztráty třením

Ztráty třením vznikají po celé délce úseku. Obecně je lze zapsat pomocí vztahu (3.3.2.4): [12]

$$Z_t = R_f Q^{n_f} \quad (3.3.2.4)$$

Z_t	Energetická ztráta vlivem ztrát třením
R_f	Odpor potrubí o průměru D po délce úseku
Q	Průtok potrubím
n_f	Exponent závislý na typu použité rovnice pro výpočet R_f

Výpočetní softwary nejčastěji používají pro výpočet ztrát třením následující rovnice:

- **Darcy-Weissbachova rovnice**

Darcy-Weissbachova rovnice pro výpočet ztrát třením dle obecného tvaru má předpis (3.3.2.5):

$$R_f = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} \quad (3.3.2.5)$$

$n_f = 2$

Kde:

λ	Součinitel ztrát třením
L	Délka úseku potrubí
D	Vnitřní průměr potrubí

Známějším a pro běžné výpočty obvykle používaným tvarem Darcy-Weissbachovy rovnice pro přímý výpočet ztrátové výšky na úseku je (3.3.2.6) :

$$Z_t = \lambda \frac{L v^2}{D 2g} \quad (3.3.2.6)$$

Drsnostní součinitel λ je závislý na Reynoldsově čísle, charakteru proudění a relativní drsnosti. Graficky je tato závislost vyjádřena Moodyho diagramem. Pro algoritmování výpočtu je často doporučován (např. dle [2]) vztah Colebrook-White (3.3.2.7):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71D} \right) \quad (3.3.2.7)$$



Kde:

Re Reynoldsovo číslo
k Hydraulická drsnost

Uvedený vztah vyžaduje iterační výpočet. Aby se zabránilo iteračnímu výpočtu, navrhuje Barr (1975) přijatelnou aproximaci (3.3.2.8), která se odchyluje od výsledků získaných metodou Colebrookovy-Whiteovy rovnice o 1 %. [12]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{5,1286}{Re^{0,89}} + \frac{k}{3,71D} \right) \quad (3.3.2.8)$$

- **Hazen-Williamsova rovnice**

Užití Hazen-Williamsovy rovnice pro výpočet ztrát třením podle obecného zápisu má tvar (3.3.2.9):

$$R_f = \frac{10,68L}{C^{1,852} D^{4,87}} \quad n_f = 1,852 \quad (3.3.2.9)$$

Kde:

C Hazen-Williamsova konstanta závislá na materiálu a průměru

Běžně je známý tvar Hazen-Williamsovy rovnice (3.3.2.10):

$$v = 0,355 C D^{0,63} i^{0,54} \quad (3.3.2.10)$$

Kde:

i Hydraulický sklon

Tento tvar lze použít i pro přímý výpočet ztrátové výšky. Dosazením do Darcy-Weissbachovy rovnice za rychlost lze získat vyjádření součinitele λ a následně výpočet ztrát třením pomocí Hazen-Williamsovy rovnice lze rovněž zapsat také (3.3.2.11):

$$Z_t = \left(\frac{6,78L}{D^{1,165}} \right) \left(\frac{v}{C} \right)^{1,85} \quad (3.3.2.11)$$

Hazen-Williamsova rovnice je empirická rovnice, která se stále používá v praxi. Rozšířena je zejména v USA. Vhodná je pro hladká potrubí větších rozměrů. Pro



potrubí s Hazen-Williamsovým drsnostním součinitelem $C < 100$ se rovnice stává méně přesnou. [12] [15]

- **Manningova rovnice**

Manningova rovnice pro výpočet ztrát třením dle obecného tvaru má předpis (3.3.2.12):

$$Rf = \frac{10,29n^2L}{D^{\frac{16}{3}} n_f=2} \quad (3.3.2.12)$$

Kde:

n Manningův drsnostní součinitel

Známy tvar Manningovy rovnice, který je často využíván k výpočtu proudění v korytech má tvar (3.3.2.13):

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (3.3.2.13)$$

Kde:

R Hydraulický poloměr

Obdobně k Hazen-Williamsově rovnici lze stejným odvozením dospět k vztahu pro přímý výpočet ztrátové výšky pro kruhová potrubí s využitím Manningovy drsnosti. Tento vztah má tvar (3.3.2.14):

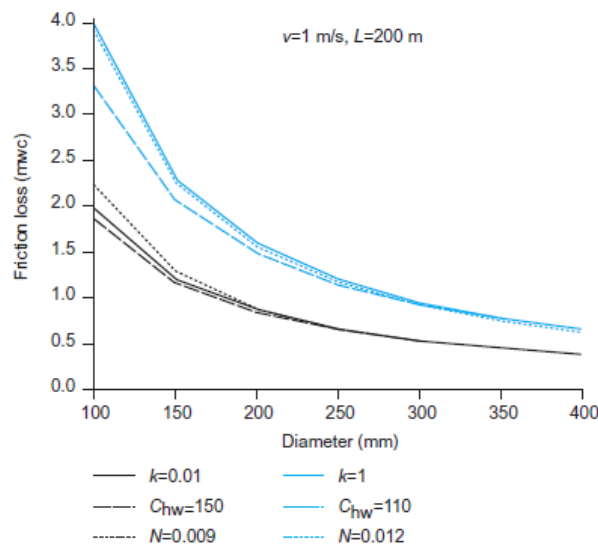
$$Z_t = \frac{Lv^2n^2}{R^{4/3}} \quad (3.3.2.14)$$

Manningova rovnice je další empirickou rovnicí, kterou lze využít pro výpočet ztrát v potrubí. V praxi bývá využívána spíše pro výpočet proudění s volnou hladinou. Dříve se podobně jako Hazen-Williamsova rovnice používala z důvodu snadného a přímého výpočtu bez nutnosti iterací. Její použití je vhodné pro velká a velmi drsná potrubí. [12] [15]

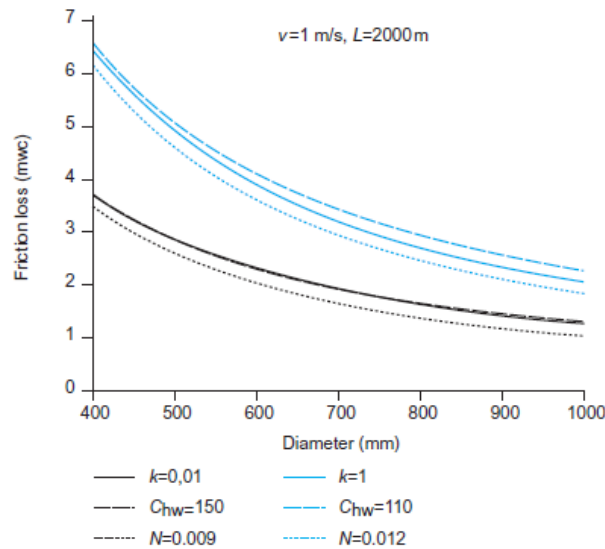


Obrázek 4 a Obrázek 5 ilustrují ovlivnění ztrátové výšky vlivem použité výpočetní rovnice. Porovnání je provedeno pro dva materiály a širokou škálu průměrů. Pro velké průměry je navýšena délka potrubí. Patrné jsou malé rozdíly mezi výsledky, které byly dosaženy třemi různými rovnicemi. Zároveň je možné si povšimnout, že stejné hodnoty drsnosti mají různý vliv pro rozdílné dimenze potrubí. Ztrátová výška třením je nepřímo úměrná vnitřnímu průměru potrubí D .

Určení správného drsnostního součinitele je tak klíčovým faktorem pro dosažení relevantních výsledků. Pro úlohy týkající se analýz stávajících sítí by měla být drsnost předmětem kalibrace na základě předcházející měrné kampaně. Pro nové sítě je možné využít hodnoty doporučené literaturou (Tabulka 6). Vliv na hodnotu koeficientů má mimo materiálu potrubí i jeho stav, kdy například díky korozi je nutné použít vyšší hodnoty.



Obrázek 4: Porovnání rovnic pro výpočet ztrát třením pro potrubí středních průměrů. [12]



Obrázek 5: Porovnání rovnic pro výpočet ztrát třením pro potrubí velkých průměrů. [12]

Tabulka 6: Uváděná rozmezí drsností pro výpočet ztrát třením. Zpracováno dle [16] [15] [12]

materiál	hydraulická drsnost (Colebrook-White) $k[\text{mm}]$	Hazen-Williamsova konstanta $C [-]$	Manningův drsnostní součinitel $n [\text{s}/\text{m}^{1/3}]$
azbestocement	0,015-0,03	142-152	0,009-0,015
tvárná litina	0,03-3	100-141	0,010-0,016
pozinkovaná ocel	0,01-3	100-133	0,012-0,017
beton	0,03-3	129-141	0,010-0,017
plasty PVC,PE	0,003-0,02	147-153	0,008-0,01

3.3.3 Úsekové potřeby

Pro stanovení zatěžovacího stavu posuzované sítě je prvním krokem výpočet úsekových potřeb, které reflektují potřebu vody pro zástavbu na každém dílčím úseku. Úsekové potřeby lze stanovit dvojím způsobem.



3.3.3.1 Metoda redukovaných délek

Metoda je založena na redukci délky úseku pomocí součinitele uličního zalidnění ϕ . Součinitel uličního zalidnění vyjadřuje míru odběru vody na jednotkové délce daného úseku a určí se podle hustoty zástavby, vybavenosti, podlažnosti apod. [13] Vzájemný poměr mezi přiřazenými uličními součiniteli by měl být co nejvíce úměrný skutečnému rozložení zástavby v řešeném území. Úseková potřeba metodou redukovaných délek se vypočte (3.3.3.1):

$$q_i = \frac{Q_s}{\sum_{i=1}^m (\phi_i L_i)} \phi_i L_i \quad (3.3.3.1)$$

Kde:

q_i	Úseková potřeba i-tého úseku
Q_s	Maximální hodinová spotřeba celého spotřebiště
ϕ_i	Součinitel uličního zalidnění i-tého úseku
L_i	Délka i-tého úseku

3.3.3.2 Metoda dvou součinitelů

V této metodě se za míru odběru vody z úseku dle vztahu (3.3.3.2) považuje součin dvou parametrů $u_i v_i$. Tyto parametry se volí na základě dostupných podkladů.

$$q_i = \frac{Q_s}{\sum_{i=1}^m (u_i v_i)} u_i v_i \quad (3.3.3.2)$$

Parametry mohou představovat:

u_i	Počet obyvatel náležící i-tému úseku, zastavěná plocha přiřazená úseku
v_i	Součinitel vybavenosti bytovému fondu, hustota osídlení plochy přiřazené k i-tému úseku



3.3.4 Uzlové potřeby

Navazujícím krokem je distribuce úsekových potřeb k jednotlivým výpočetním uzlům (3.3.4.1). Obvykle se používá rovnoměrné rozdělení úsekových potřeb na dvě stejné části k okrajovým uzlům. K takto přiřazeným potřebám je možné přičíst konkrétní další významný odběr, který nebyl zohledněn v úsekových potřebách. Například pokud se jedná o velký odběr pro průmyslové a výrobní objekty, zatímco okolní zástavba je stejnorodá a je pokryta výpočtem úsekových potřeb.

$$G_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m q_{ij} + B_j \quad (3.3.4.1)$$

Kde:

G_j	Uzlový odběr z uzlu j
q_{ij}	Úsekové odběry úseků, jejichž jeden z koncových uzlů je j
B_j	Bodový odběr z bodu j
m	Počet úseků

3.3.5 Výpočty větvných sítí

Ve větvných sítích je směr průtoku jednoznačně daný směrem od zdroje, a tudíž je výpočet snadno proveditelný i ručně. Uzlové potřeby jsou postupně načítány od koncových bodů až ke zdroji tlaku. Zároveň musí být v místech větvení dodržena uzlová podmínka, která vyjadřuje, že součet všech průtoků musí být s uvažováním směru proudění nulový. Tato podmínka vyjadřuje zákon zachování hmotnosti. A je ji možné zapsat jako (3.3.5.1).

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} Q_i + G_j = 0 \quad (3.3.5.1)$$

Q_i	Průtok v i-tém úseku sítě
a_{ij}	$a_{ij}=-1$ pokud je uzel j koncovým uzlem úseku i
a_{ij}	$a_{ij}=1$ pokud je uzel j počátečním uzlem úseku i
a_{ij}	$a_{ij}=0$ pokud je uzel j krajním uzlem úseku i

S využitím rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice je možné provádět další výpočty týkající se například návrhu dimenzí nebo posouzení tlakových poměrů.

3.3.6 Výpočty okruhových sítí

Výpočet okruhových sítí je oproti větvným sítím složitější v nejednoznačnosti směru proudění. K uzlové podmínce tak přibývá ještě okruhová podmínka, která vyjadřuje zákon zachování energie. Vyjadřuje, že součet energetických ztrát na úseku musí být rovný nule. Podmínku lze zapsat (3.3.6.1):



$$\sum_{i=1}^m b_{ij} h_i = 0 \quad (3.3.6.1)$$

h_i	Hydraulická podmínka v úseku i
b_{ij}	$b_{ij}=-1$ pokud je orientace úseku i opačná vůči orientaci okruhu
b_{ij}	$b_{ij}=1$ pokud je orientace úseku i shodná s orientací okruhu
b_{ij}	$b_{ij}=0$ není-li úsek součástí okruhu i

Výpočetní metody okruhových sítí jsou pak založeny na cyklických iteracích, dokud není dosažena požadovaná hodnota konvergenčního kritéria v uzlové a okruhové podmínce. Známou metodou k výpočtu okruhových sítí jsou metody Hardy Cross I a Hardy Cross II.

3.3.6.1 Hardy Cross I

Tato metoda je založena na vyrovnávání energetických výšek v jednotlivých výpočetních uzlech. V prvním kroku se na základě prvního odhadu energetické výšky v uzlech dopočtou ztráty na úseku a dále pak samotné průtoky na jednotlivých úsecích. Pokud není splněna uzlová podmínka v některém z uzlů, dojde k výpočtu hodnoty korekce energetické výšky pro všechny uzly podle vztahu (3.3.6.2), kdy k průtokům je již přiřazeno odpovídající znaménko.

$$\delta H_i = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta Q_i}{\sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta Q_i}{\Delta H_i} \right|} \quad (3.3.6.2)$$

Iterační výpočet pak pokračuje s opravenými výškami $H+\delta H$ dokud není dosaženo požadované shody. Tato metoda dosahuje rychlejší konvergence oproti metodě Hardy-Cross II. [12]



3.3.6.2 Hardy Cross II

Metoda je principem podobná metodě Hardy Cross I. Princip je založen na počátečním odhadu průtoků v jednotlivých úsecích, které současně splňují uzlovou podmínku. Z průtoků jsou pak dopočteny ztráty. Dále se zkontroluje okružová podmínka. Pokud není splněna, dochází obdobně k výpočtu korekcí průtoků při dodržení orientace podle (3.3.6.3):

$$\delta Q_i = \frac{-\sum_{j=1}^n \Delta H_j}{2 \sum_{j=1}^n \left| \frac{\Delta H_j}{\Delta Q_j} \right|} \quad (3.3.6.3)$$

Navazující iterační cyklus pak počítá s opravenými průtoky $Q+\delta Q$ dokud opět není dosaženo požadované shody v případě uzlové podmínky. Výpočet probíhá současně pro všechny okruhy na síti, přičemž jejich odpovídající korekce δQ se aplikují ve stejné iteraci. V případě potrubí sdíleného mezi dvěma sousedními okruhy by se měl použít součet obou korekcí δQ . Spojitost proudění v uzlech nebude v tomto případě ovlivněna za předpokladu jednotné orientace pro oba okruhy, pokud se v jedné z nich obrátí znaménko průtoků na sdíleném úseku. [12]

Hardy Crossovy metody jsou využívány pro svoji relativní jednoduchost. U větších sítí může být problematická doba výpočtu. Z tohoto důvodu se postupně s rozvojem výpočetní techniky tyto základní metody modifikovaly pro lepší aplikaci i pro rozsáhlé sítě. Jako příklad lze uvést Newtonovu metodu, která se liší výpočtem opravných průtoků, které jsou pak přímo přiřazeny konkrétnímu úseku na okruhu pomocí soustavy tolika lineárních rovnic, kolik je na okruhu úseků.

3.4 Tlakové poměry ve vodovodních sítích

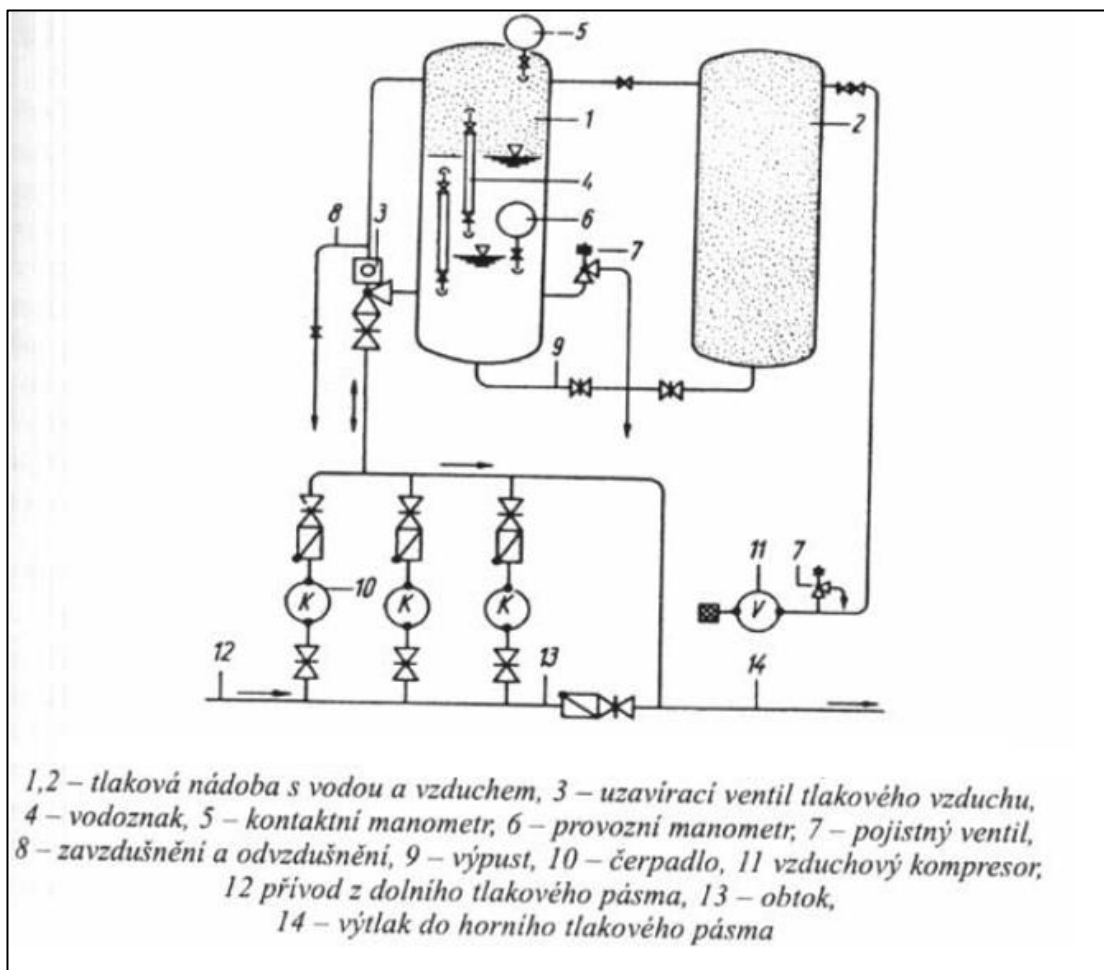
3.4.1 Taková pásma

Předepsané rozmezí tlaků ve spotřebišti je ve vodovodních sítích dosaženo díky jejich rozdělení do tlakových pásem. Spotřebišť, které je rozloženo ve velkém rozpětí nadmořských výšek, musí být rozděleno do více tlakových pásem oproti spotřebišti v rovinném území. Na přiváděcích řadech (od zdroje do vodojemu) může být tlaková výška jiná. Maximální tlak může dosahovat 100 m v.sl. i více. Maximální provozní přetlak tak musí být v souladu s materiálem potrubí a požadavky provozovatele. Pro velké oblasti jsou tlaková pásma hydraulicky nezávislé systémy. Propojení tlakových pásem se provádí pouze ve výjimečných případech a při běžném provozu je uzavřeno. Každé tlakové pásmo je zásobováno vždy z jednoho vodojemu nebo pomocí čerpací stanice. Zásobování malých oblastí s nedostatečným tlakem se řeší pomocí automatické tlakové stanice a malých oblastí s vyšším tlakem se řeší osazením redukčního ventilu. [11]

3.4.2 Zvýšení tlaku na síti

3.4.2.1 Automatické tlakové stanice

Automatické tlakové stanice (ATS) se používají tam, kde není vhodný terén pro umístění vodojemů nebo kde se jedná o zásobování ojedinelých objektů nebo menších sídel. Investiční náklady jsou výrazně nižší než u věžových vodojemů. Provozní náklady mohou být vyšší díky větší spotřebě energie. Stanice je vybavena tlakovými nádobami, které jsou ze 2/3 naplněny vzduchem a z 1/3 vodou. Stlačený vzduch dopravuje vodu ke spotřebiteli. Pro řízení je podstatným prvkem tlakový spínač, který je proti tlakovým rázům chráněn malou expanzní nádobou. Při poklesu tlaku na danou hranici jsou zapnuta čerpadla. Četnost zapínání by se měla pohybovat okolo 6-8 zapnutí za hodinu, maximálně 10. Malý objem nádoby způsobuje vyšší četnost čerpání, spotřebu elektrické energie a rychlejší opotřebení zařízení. Rozdíl mezi zapínacím a vypínacím tlakem je otázkou hospodárnosti, velké tlakové rozdíly mají stejné důsledky jako velká četnost zapínání čerpadel. Doporučovaný rozdíl tlaků je 0,1 MPa, aby v rozvodné síti nedocházelo k velkému kolísání tlaků. ATS s nárazově větším odběrem, například pro hasicí účely, jsou vybavovány předřazenou akumulací nádobou. [11] [17]

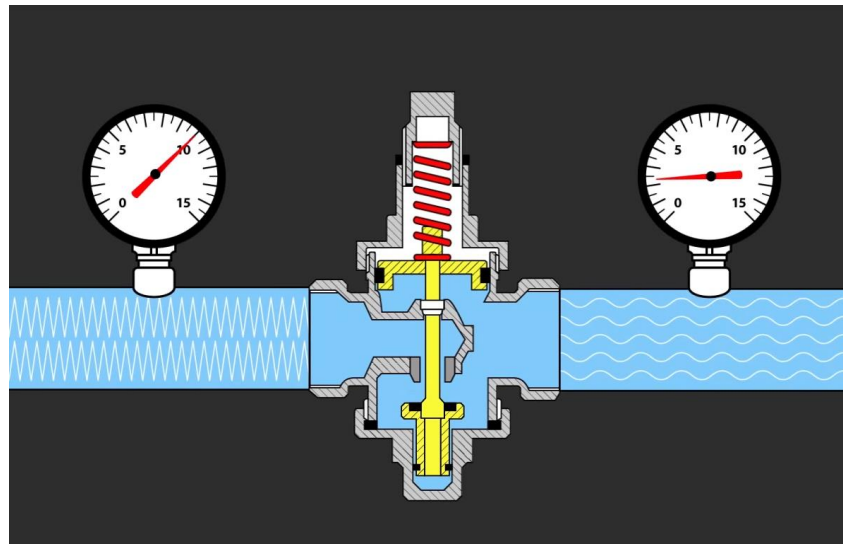


Obrázek 6: Schéma automatické tlakové stanice pro zvyšování tlaku [11]

3.4.3 Snížení tlaku na síti

3.4.3.1 Redukční ventily

Redukční ventily se na síti používají pro snížení tlaku nebo k rozdělení tlakových pásem. Vyráběné dimenze ventilů pokrývají i malé průměry potrubí, lze je tedy umístit i přímo na samostatné vodovodní přípojky. Konstrukčně se redukční ventil skládá ze škrtkového ventilu, pístu a pružiny. Tato sestava bývá doplněna manometry umístěným před a za ventilem pro kontrolu vstupních a výstupních tlaků. Na vodovodní potrubí se ventil osazuje do šachty pro umožnění přístupu, revizí a oprav. Požadovaný tlak je dán předem nastaveným stlačením pružiny. Princip fungování je založen na vzájemné interakci tlaků před a za ventilem působících na pružinu. Při zvětšení tlakové výšky před ventilem stlačuje tlak vody pružinu a přiškrcuje škrtkový ventil k sedlu, čímž se přítok vody částečně uzavře. Při poklesu tlaku je postup opačný. Odlehčený regulační píst přiměřeně otevře škrtkový ventil. Pro zajištění správné funkce i při poruše mohou být instalovány dva redukční ventily v sérii. [13] [18] [19]



Obrázek 7: Schématický řez redukčním ventilem [18]



3.5 Matematické modelování

Matematické hydraulické modelování se stává v posledních letech moderním nástrojem pro posouzení a návrh zásahů do vodovodních a kanalizačních systémů. Rozborem hydraulických a kvalitativních výsledků simulací se identifikují slabá místa sítě, a to umožní návrh optimálních technických opatření a změn v systému a tím i optimalizaci investičních nákladů. [20] Využití matematického modelování lze i při návrhu nových sítí, kdy je možné efektivně vypočítat hydraulické a kvalitativní poměry na síti a návrh dále optimalizovat. Rovněž lze snadno řešit různé scénáře budoucího vývoje a sledovat změny na síti. Pomocí matematického modelování lze v případě vodovodní infrastruktury řešit: [20] [21]

- Snížení úniků (ztrát) vody ve vodovodní síti
- Optimalizace tlakových pásem
- Protipožární zabezpečení
- Analýzy kvality vody
- Modelování vodního rázu
- Koncepční řešení dodávky vody pro rozvojová území
- Projektování nových vodovodů
- Rozšiřování stávajících trubních rozvodů a napojování nových obyvatel
- Výpočet kapacity řadů
- Posouzení stávajícího systému zásobování vodou z hlediska hydraulických a kvalitativních parametrů dodávky vody

3.5.1 Fáze procesu tvorby matematického modelu

3.5.1.1 Sestavení výpočetní sítě

Sestavení výpočetní sítě spočívá v přenesení skutečných nebo navržených dat do prostředí simulačního softwaru. Potřebnými podklady jsou data o síti (dimenze potrubí, charakteristiky čerpadel, nastavení ventilů, objemy akumulace atd.) a topologie řešené lokality. Příprava výchozího modelu sítě vyžaduje zpracování velkého množství informací, které mohou někdy už být zámkou pro pasportizaci sítě za účelem úplné revize. Dále je v některých případech účelné přistoupit ke zjednodušení pomocí schematizace sítě. Obvykle se jedná o vztažení celého spotřebiště do jednoho bodu například při řešení rozlehlých vodárenských systémů nebo vypuštění drobných úseků a vztažení odběrů do přilehlých výpočetních bodů na schematizované síti. Geometrie sítě modelu je pak tedy tvořena dvěma základními prvky:

- **Uzly**

Uzly jsou bodové prvky v modelu. Představují jednotlivé výpočetní body rozložené po délce potrubí, vodojemů a ostatní akumulací objemy. [22]



- **Úseky**

Úseky jsou liniové prvky spojující jednotlivé uzly. V drtivé většině se jedná o úseky potrubí. Jako úseky jsou zadávány také čerpadla a ventily. [22]

V dalším kroku dojde k distribuci uvažovaných odběrů do jednotlivých uzlů. Odběry, které nelze přesně lokalizovat (např. úniky) se rozpočítají po síti.

3.5.1.2 Výpočet

Samotný výpočet vede ke stanovení základních hydraulických veličin (průtok, rychlost, tlaková ztráta atd.) a k posouzení navržených profilů v jednotlivých prvcích sítě, která je definována svojí topologií a fyzikálními parametry. Hydraulická analýza může být: [21]

- **Statická**

Statická analýza je pro konkrétní okamžitý zatěžovací stav odběrů na síti, který je pro daný časový úsek neměnný (ustálené proudění). [21]

- **Kvazi-dynamická**

Kvazi-dynamická analýza řeší posloupnost statických analýz pro určitý počet časových intervalů. Ke změně zatěžovacích stavů odběrů a dalších fyzikálních parametrů (např. kóty hladin) dochází pouze na rozhraní jednotlivých časových intervalů. Posuzovaný časový úsek je zpravidla delší a časové intervaly mají obvykle stejnou délku (např. hodina). [21]

- **Dynamická**

Dynamická analýza řeší relativně krátké časové úseky s velmi krátkým intervalem (sekundy), v rámci nichž je uvažována změna průtokových a tlakových poměrů. Využívá se např. při hydraulické analýze vodního rázu (neustálené proudění). [21]

3.5.1.3 Kalibrace

Výsledky získané výpočtem výchozího modelu se často liší od skutečných dat. Z tohoto důvodu je v případě analýz stávajících systémů žádoucí provést proces kalibrace. Zdrojovým podkladem jsou tlaková a průtoková data získaná v rámci měrných kampaní prováděných na stávající síti. V této fázi jsou nejisté parametry modelu vyhodnoceny a vhodně upraveny. Obecně se jedná o drsnost potrubí, průměr některých potrubí (průměr se mohl zmenšit) a spotřeby přiřazené uzlům, a to z důvodu nejistoty, obzvláště pokud jde o odběry, které nelze přesně lokalizovat. Dále se kalibruje kolísání průtoků vlivem hodinové nerovnoměrnosti, charakteristiky čerpadel a nastavení redukčních ventilů. Model by se měl rekalibrovat pokud dojde ke změnám fungování celého systému nebo ke konstrukčnímu zásahu do sítě. [23]



3.5.1.4 Verifikace

Verifikace modelu slouží k ověření správnosti kalibrovaného modelu. V praxi to znamená ověření výpočtu a porovnání výsledků pro odlišná data, než byla použita pro kalibraci. Využívají se opět průtokové údaje a údaje o tlacích, které byly pořízeny v jiném časovém období. Předpokladem pro úspěšnou verifikaci je zachování fungování a konstrukčního uspořádání modelu jako byl použit ve fázi kalibrace. [23]

V případě, že dosažené výsledky pomocí zkalibrovaného a verifikovaného matematického modelu budou v rámci povolené odchylky, lze jej použít pro analýzy sítě. Pro návrh nové sítě nezbývá než využít výchozí nekalibrovaný a neverifikovaný model, jelikož není možné provést měrnou kampaň. Data měrné kampaně jsou unikátní, a nelze je proto aplikovat pro jiné podobné sítě.

3.5.2 Software Epanet

EPANET je počítačový program používaný po celém světě k modelování vodovodních systémů, který provádí simulaci hydraulického chování a kvality vody za delší období. Výpočetní síť se obecně skládá z uzlů a úseků. Objekty na síti se modelují jako speciální typy uzlů (zdroj, vodojem) a úseků (čerpadlo, ventily) – podrobněji kapitola 3.5.2.1. Stav sítě je dále nutné popsat okrajovými podmínkami. Velikost sítě není softwarem nijak omezena. EPANET sleduje při výpočtu průtok vody v každém potrubí, tlak v každém uzlu, výšku vody v potrubí a výšku hladiny v nádrži a koncentraci chemických látek v celé síti. Časový krok výpočtu a délku sledovaného období lze libovolně měnit. Nastavení časového kroku úzce souvisí s řešenou úlohou. Například při řešení úloh, jež se týkají modelování kvality vody je nutné zavést kvazi-dynamický model (kapitola 3.5.1.2) s modelováním kvality vody. Výstupem jsou kromě datových tabulek i grafy časových řad a barevně odlišené mapy. [22] Software je volně dostupný a jeho výpočetní mechanismy jsou implementovány do některých jiných programů používaných pro matematické modelování vodovodních sítí.



3.5.2.1 Základní části sítě pro hydraulické modelování

Prvky sítě a objekty

1. Uzly

Uzly představují místa, kde se spojují jednotlivá potrubí. V případě, že po délce dochází ke změně charakteristik potrubí, musí být tyto jednotlivé oblasti odděleny uzlem. Uzly lze dále rozmísťovat libovolně po síti za účelem přesnější alokace jednotlivých odběrů a pro pozdější podrobnější představu o tlakových poměrech. [22]

Zadávané vstupy nutné k výpočtu jsou: [22]

- výška uzlu nad srovnávací hladinou, obvykle se používá nadmožská výška
- odebírané množství, ke kterému je možné dále přiřadit nerovnoměrnost
- počáteční kvalita vody, která je vyjádřena zadáním počáteční koncentrace sledované látky (zpravidla chloru). Většinou se ale počáteční kvalita vody přiřazuje zdroji a v jednotlivých uzlech se pak dopočítává.

Výsledky pro uzly jsou: [22]

- hydraulická výška
- tlak
- kvalita vody

2. Zdroje

Zdroje jsou uzlové prvky, které představují nekonečný externí zdroj nebo zásobárnu vody v síti. Mohou reprezentovat například jezera, řeky, podzemní vodonosné vrstvy a napojení na jiné systémy.

Základními vstupními vlastnostmi nádrže jsou: [22]

- hydraulická výška (rovná se výšce vodní hladiny, pokud nádrž není pod tlakem)
- výchozí kvalita pro analýzu kvality vody.

Protože nádrž je hraničním bodem sítě, její výšku a kvalitu vody nelze ovlivnit tím, co se děje uvnitř sítě. Proto nemá žádné vypočtené výstupní vlastnosti. Její výšku však lze nastavit tak, aby se měnila v čase. [22]



3. Vodojemy

Vodojemy jsou uzlové prvky, které jsou charakteristické tím, že se objem obsažené vody může měnit v čase. Jako vodojemy lze modelovat i libovolné objemy pro akumulaci vody [22].

Základní vstupní vlastnosti vodojemů jsou [22]:

- výška dna, kde je hladina vody nulová
- průměr nebo tvar, pokud nechceme použít válcový
- počáteční minimální a maximální hladina vody
- počáteční kvalita vody

Hlavní výstupy vypočítané v čase jsou: [22]

- hydraulická výška (výška vodní hladiny)
- kvalita vody

4. Potrubí

Potrubí je úsekový prvek. Stejně jako ve skutečnosti převádí vodu z jednoho místa do druhého. Software předpokládá, že všechna potrubí jsou ve všech časových okamžicích plná. Směr je dán spádem hydraulické výšky. [22]

Hlavní vstupní parametry jsou: [22]

- označení počátečního a koncového uzlu, kam je potrubí napojeno.
- vnitřní průměr
- délka, kterou program umí dopočítat automaticky, pokud jsou uzly zadány v jednotném souřadném systému
- koeficient drsnosti dle nastavené rovnice pro výpočet ztrát třením
- stav, zda je potrubí otevřené nebo zavřené
- pro simulace jakosti vody je třeba zadat modelovaný parametr a dle toho modelovat narůstající dobu zdržení nebo nárůst či úbytek dané látky, například chloru, kde je pak zadán koeficientem úbytku chloru v proudící vodě a u stěny potrubí

Výstupy pro potrubí, které EPANET počítá jsou: [22]

- průtok
- rychlost
- ztrátová výška
- kvalita vody – doba zdržení, změny modelovaných parametrů kvality vody (například koncentrace chloru)



5. Čerpadla

Čerpadla se do softwaru zanáší jako úsek propojující dva uzly. Zadání charakteristik čerpadla je propojeno se zadáním Q-H křivky Průtok čerpadlem je jednosměrný. Pokud podmínky v systému vyžadují větší dopravní výšku, než je čerpadlo schopno vyrobit, software EPANET čerpadlo vypne. Pokud je požadován větší než maximální průtok, EPANET extrapoluje křivku čerpadla na požadovaný průtok, a to i v případě, že se tím vytvoří záporný tlak. V obou případech se zobrazí varovné hlášení. [22]

6. Ventily

Ventily jsou úsekové prvky vkládané do modelu za účelem regulace průtoku nebo tlaku. [22]

Pro výpočet je nutné minimálně zadat: [22]

- vnitřní průměr
- typ a nastavení ventilu
- průměr
- stav

Vypočítané výstupy jsou pak: [22]

- průtok
- ztrátová výška

Z hlediska typu ventilu software dává k dispozici celkem šest možností

- PRV – ventil redukuje tlak na odtoku na zadanou hodnotu
- PSV – ventil udržuje tlak na přítoku
- PBV – ventil představuje místo, kde tlak klesá o určitou hodnotu
- FCV – ventil redukuje průtok na zadanou hodnotu
- TCV – ventil škrťí průtok a simuluje tak významnou místní ztrátu
- GPV – obecný typ ventilu. Pro zadání je nutné přidat křivku popisující závislost mezi ztrátou a průtokem

Charakteristiky

1. Křivky

Křivky jsou charakteristiky k objektům, které obsahují dvojice dat představující vztah mezi dvěma veličinami. Dva nebo více objektů mohou sdílet stejnou křivku. Model EPANET může využívat následující typy křivek [22]:

- Křivka čerpadla – představuje Q-H charakteristiku čerpadla. Do modelu ji lze zadat pomocí jednoho i více bodů ležících na křivce. Software pak spojitý průběh sestaví sám.
- Křivka účinnosti – popisuje účinnost čerpadla ve vztahu k průtoku. Její využití přichází v případech, kdy si chceme udělat představu o spotřebě energie.



- Křivka objemu – Uplatní se v případech, kdy chceme přesně znázornit, jak se průřezová plocha vodojemu mění v závislosti na výšce.
- Křivka ztrátové výšky – popisuje vztah mezi ztrátovou výškou a průtokem. Používá se ve spojení s GPV ventily, kdy je potřeba přesně simulovat ztrátovou výšku například pro zpětné klapky.

2. Časové řady

Časová řada je řada násobitelů, kterými lze měnit fixně dané charakteristiky jednotlivých prvků v čase. Časový krok je stejný pro všechny řady v modelu. Při výpočtu dochází k cyklickému opakování časových řad, pokud je délka simulace delší, než je počet násobitelů. Využití časových řad je využíváno nejčastěji pro postižení nerovnoměrnosti odběrů. [22]

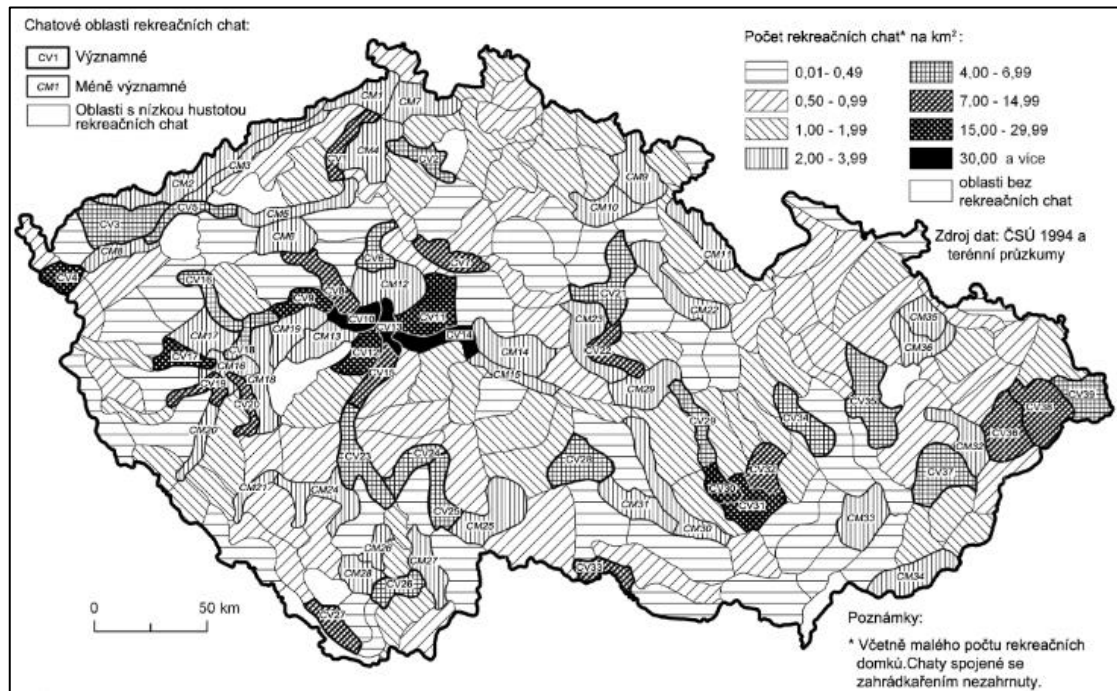
3. Podmínky

Podmínky určují, jak bude síť v průběhu času pracovat. Určují stav jednotlivých prvků v čase. Pomocí nastavení podmínek lze například popsat zapínání a vypínání čerpadel, dopouštění vodojemů nebo uzavírání potrubí. Příkaz podmínky lze vztáhnout k časovému okamžiku, úrovni hladiny v nádrži nebo tlaku v libovolném uzlu. [22]

3.6 Problematika zásobování chatových oblastí pitnou vodou

3.6.1 Vývoj chataření v tuzemsku

Chataření patří k charakteristickým rysům způsobu individuální rekreace obyvatel v České republice. Chataření v rekreačních chatách zůstává převážně víkendovou a letně prázdninovou rekreací, ovšem mnoho rekreačních chat (a rekreačních domků) začalo být využíváno po celý rok. Obrázek 8 vyobrazuje nerovnoměrnost hustoty zástavby rekreačními chatami na území České republiky. Z obrázku vyplývá značná plošná nerovnoměrnost. Větší soustředění chat se nalézá v blízkosti větších měst v oblastech s cenným krajinným rázem. Jedná se často o oblasti vodních nádrží a vodních toků nebo lesních celků, které nabízejí širokou škálu možností pro volnočasové vyžití. [24]



Obrázek 8: Rozložení hustoty rekreačních chat v České republice [24]

Tabulka 7 pak ukazuje časový vývoj počtu rekreačních chat. K největšímu rozvoji došlo po konci 60. let 20. století. Příčiny tohoto výrazného nárůstu lze spatřit v rozvoji veřejné a osobní automobilové dopravy a zavedení pětidenního pracovního týdne. Jistý vliv měly i tehdejší politické události. Od začátku 90. let tento rozvoj ustává. [25] Zároveň lze po v posledních letech zaznamenat i rušení zahrádkářských a chatových oblastí na exponovaných územích na okraji velkých měst. [24]

Tabulka 7: Vývoj výstavby objektů individuální rekreace v ČR do roku 2000 [25]

období výstavby	počet objektů	% roční přírůstek
do 1930	3 000	100
1931–1945	5 000	333
1946–1955	5 000	500
1956–1965	40 000	4 000
1966–1971	103 000	17 160
1971–1980	124 000	12 400
1981–1990	117 000	11 700
1991–2000	36 000	3 600
Celkem OIR	433 000	

Po roce 1989 se značně rozrůznila intenzita využívání jednotlivých chat, zatímco některé jsou navštěvovány pouze zřídka, jiné pravidelně tradičně o víkendech, svátcích a prázdninách. [24]



3.6.2 Demografie

Nezanedbatelný podíl rekreačních chat je využíván k trvalému pobytu. Důvodem může být dostatečná vybavenost těchto objektů a možnost práce na dálku [24]. Dalšími důvody pro trvalý pobyt mohou být ekonomické aspekty i záměrná volba životního stylu, o čemž zároveň svědčí i rovnoměrné rozložení věkových skupin. Nárůst počtu trvale obývaných chat zároveň zachycují výsledky Českého statistického úřadu (Tabulka 8). Za rekreační chaty se považují budovy s číslem evidenčním, které byly postaveny a zkolaudovány jako objekty určené k rekreaci. [26] Zpracovaná data jsou k roku 2011. Výsledky sčítání lidu, domů a bytů za rok 2021 budou zveřejněny až 28.4. 2023. [27]

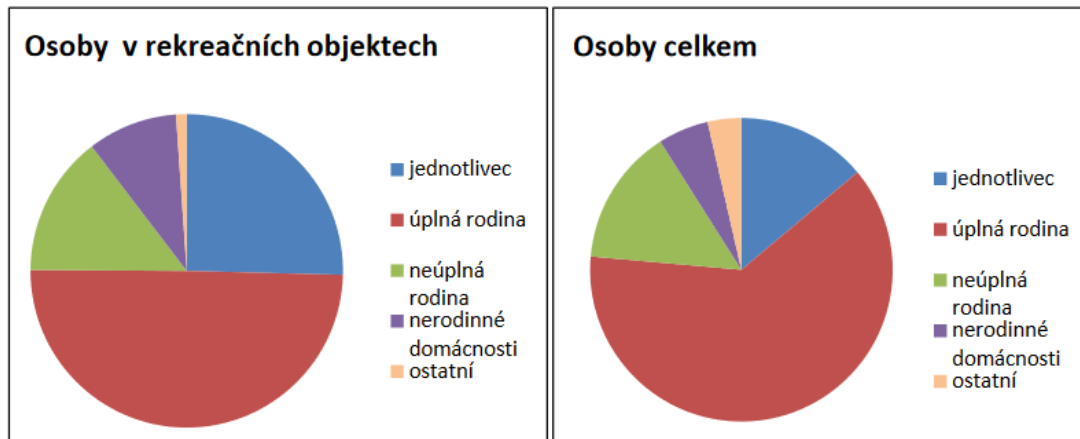
Tabulka 8: Vývoj počtu osob bydlících v rekreačních chatách [28]

	1991	2001	2011
Počet osob bydlících v rekreační chatě	3 282	12 519	35 480

Tabulka 9: Věkové složení obyvatel bydlících v rekreačních chatách [26]

věk	2001	2011
celkem	12 519	35 480
0-14	1 724	4 547
15-19	517	1 451
20-29	1 873	3 370
30-39	1 518	5 831
40-49	1 743	5 010
50-59	2 410	6 066
60-64	788	3 741
65+	1 939	5 216
nezj.	7	248

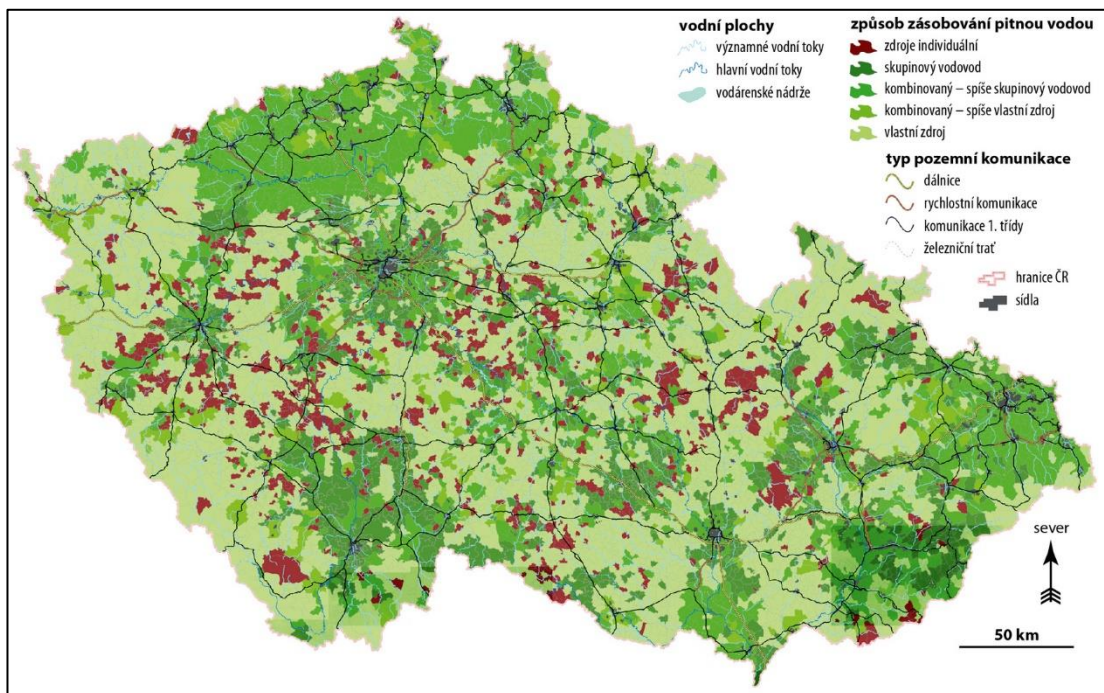
Z hlediska složení obyvatel je zajímavé, že v případě rekreačních objektů se téměř v polovičním počtu případů jedná o úplné rodiny (49,7 %) tvořené manželským párem. Na druhou stranu v kontextu celkového bydlení (porovnání Obrázek 9) se zde jedná o pokles. Zastoupení jednotlivců je větší u rekreačních objektů, kde tvoří více než čtvrtinu (25,4 %) z celkové struktury. 14,5 % osob žilo v rekreačních objektech v neúplných rodinách.



Obrázek 9: Struktura obyvatel bydlících v rekreačních objektech a celkově [26]

3.6.3 Zásobování z vlastních zdrojů

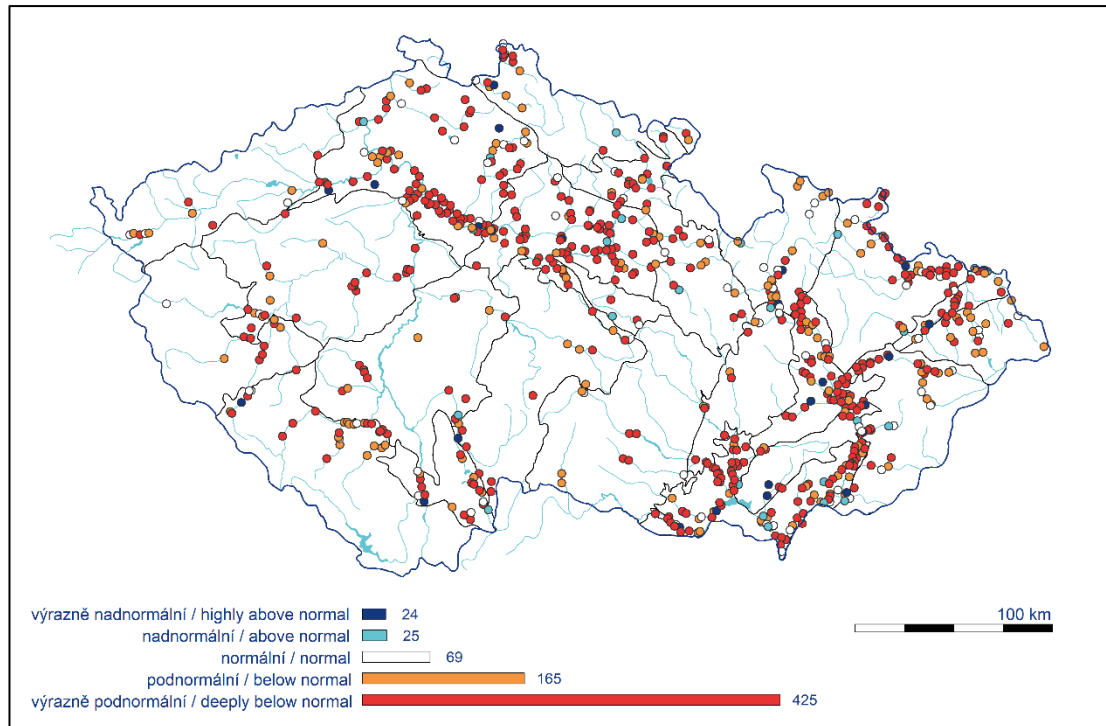
Trvale i přechodně bydlící obyvatelé jsou v České republice v mnoha případech odkázáni na vlastní zdroje vody – především studny. Tento zdroj není jistý jak z kvalitativního hlediska, tak i z pohledu zajištění dostatečné vydatnosti. Obrázek 10 ukazuje převažující způsob zásobování obcí pitnou vodou. Je patrné, že vlastní zdroje převažují v oblastech mimo hlavní aglomerace. Tyto oblasti jsou zároveň častou destinací pro rekreaci.



Obrázek 10: Přehled způsobů zásobování obcí ČR pitnou vodou [29]



Hladina podzemních vod dlouhodobě kolísá. Český hydrometeorologický ústav sleduje úrovně hladin v mělkých a hlubokých vrtech a zároveň i vydatnost pramenů v měrných profilech. Data jsou pak porovnávána s třicetiletým normálem. Dle zveřejňovaných výsledků je většina měrných profilů pod dlouhodobým normálem [30]



Obrázek 11: Úroveň hladiny v mělkých vrtech v roce 2020 v porovnání s normálem 1971-1990 [30]

Jakost pitné vody v soukromých studních upravuje vyhláška č.252/2004 sb. Příloha č.1 obsahuje celkem hodnotících 63 ukazatelů [31]. Za kvalitu vody ve studni zodpovídá každý majitel sám. Problémy s jakostí tak plynou ze zanedbané údržby a rozborů jakosti vody. Nejčastějšími příčinami nevyhovující jakosti jsou nevhodná úprava okolí, nedostatečná vodotěsnost pláště studny, nevhodný kryt a nevyhovující čerpací zařízení. [32]



3.6.4 Zásobování z veřejných vodovodů a stanovení potřeby vody

Zvyšující se životní úroveň ryze rekreačního pobytu i trvalého pobytu v chatových objektech klade nároky i na související infrastrukturu, kam spadají i vodovodní sítě. Překážkou je nejčastěji ekonomická neefektivita výstavby vodovodních sítí v těchto oblastech. Nicméně pro návrh nových vodovodních sítí do těchto oblastí je klíčové stanovení potřeby vody pro chatové objekty. Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č.428/2001 Sb. se na jednu osobu rekreační chaty potřeba vypočte obdobně jako pro bytový fond s přihlédnutím k době pobytu pro kterou je chata během roku využívána [33]. Jak počet osob, tak délka pobytu jsou pro chatové oblasti relativně obtížně zjistitelné parametry. S problémem přesného stanovení potřeby vody se setkáme i v případě výpočtu s využitím směrnice č.9/1973 nebo dle ČSN 75 54555 kdy je metodika výpočtu založena na obtížně určitelných parametrech.

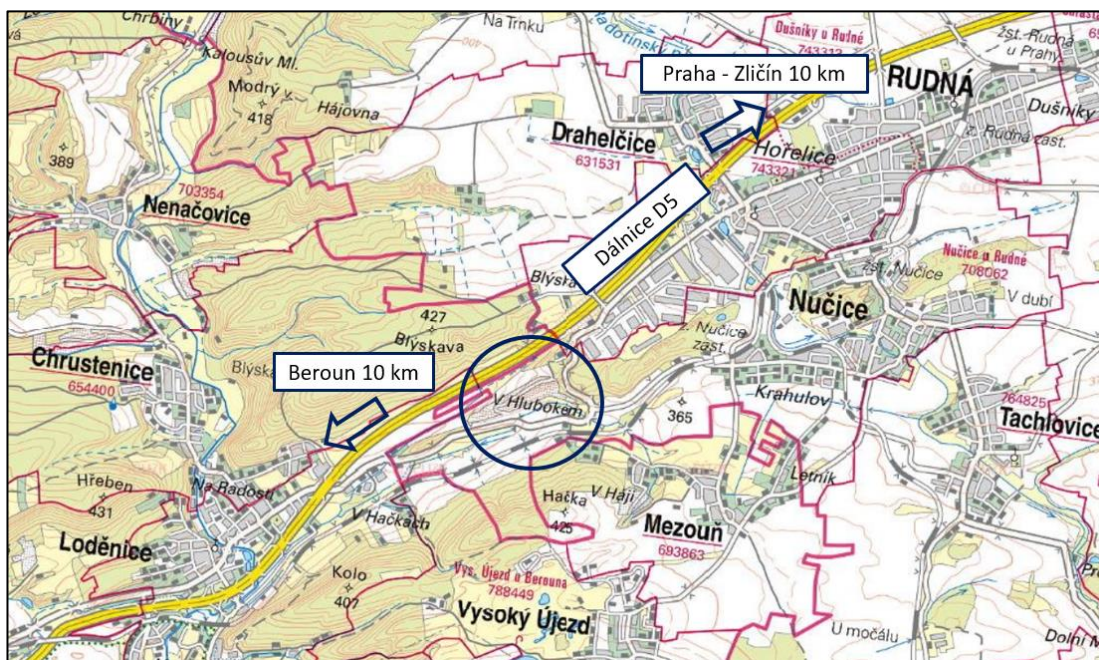
Možností pro výpočet průměrné potřeby vody a lepší přiblížení ke skutečnému stavu je využití dat z již vybudovaných sítí v oblastech, které svým charakterem zástavby co nejlépe odpovídají řešené lokalitě. Vodárenské společnosti zpravidla evidují v rámci zákaznických informačních systémů (ZIS) pro fakturaci vodného a stočného data vodoměrů k jednotlivým nemovitostem. Celý systém většinou funguje na platformě geografického informačního systému (GIS), kdy na mapovém podkladu je zobrazena celá vodovodní síť a jsou připojeny související informace ve formě atributů jednotlivých prvků. Konkrétní výsledky šetření zpracovaného v rámci mé diplomové práce za účelem zpřesnění výsledků matematického modelu v praktické části jsou uvedeny a popsány v kapitole 4.3.



4. Praktická část

4.1 Popis zájmového území

Řešenou lokalitou je chatová osada „V Hlubokém“ spadající pod katastrální území obce Nučice. Osada „V Hlubokém“ leží přibližně 10 km směrem na západ okraje hlavního města Prahy na výrazném terénním výběžku. Tento hřeben se táhne přibližně v ose SZ – JV mezi silnicí II/605 a dálnicí D5. Zastavěné území zahrnuje přibližně 150 jednopodlažních a dvoupodlažních chatových objektů, které jsou obsluhovány po místních nezpevněných komunikacích vedoucích převážně po vrstevnici. Objekty občanské vybavenosti a vyšší nadvybavenosti se v zájmové lokalitě nevyskytují, obdobně jako objekty pro průmyslovou a zemědělskou výrobu. Relativní blízkost velkého města a dobrá dopravní obslužnost mají za následek i jejich využití k trvalejšímu pobytu.



Obrázek 12: Situace širších vztahů řešené lokality

4.1.1 Stávající stav zásobení pitnou vodou

V chatové oblasti není v současné době (2022) vybudován vodovod pro veřejnou potřebu. Obyvatelstvo je zásobeno z lokálních veřejných studní. Některé chaty disponují vlastní studnou. Místní zdroje pravděpodobně nesplní nároky kladené vyhláškou č.252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, jelikož podobným problémem trpí dle Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje i studny v nedalekých Nučicích. Skutečná jakost vody ve studních však není známá. Jako nejisté se může jevit i množství vody ve studních. [34]

Podél silnice II/602 prochází přivaděč propojující skupinový vodovod BKDZH zásobující oblast okolí měst Beroun, Králův Dvůr, Zdice a Hořovice z vodojemu



Kopanina $2 \times 25.000 \text{ m}^3 + 4 \times 6.000 \text{ m}^3$ (392,60 m n. m. / 387,60 m n. m.). Přivaděč byl realizován v roce 2010. [34]

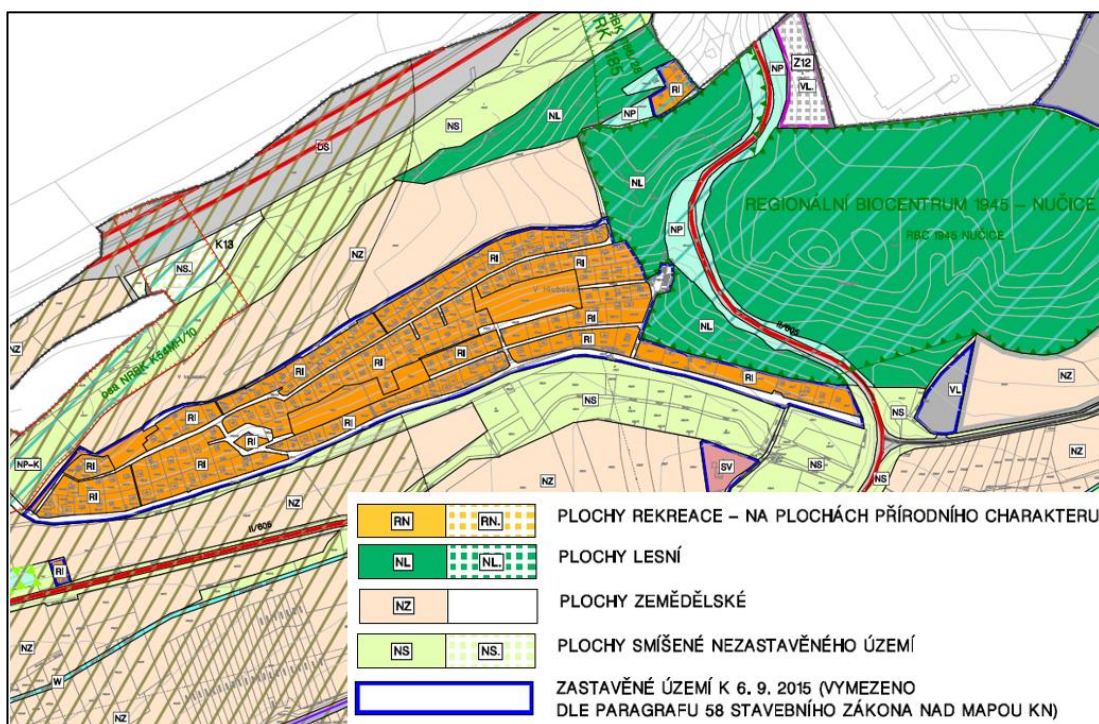
Východně sousedící město Rudná má vybudovaný vodovod pro veřejnou potřebu, který je napojen z VDJ Rudná (2000 m^3 363/368 m n. m.) [34]. Z vodojemu je voda do sítě z důvodu malého převýšení dopravována čerpáním.

4.2 Podklady a související dokumentace

4.2.1 Územní plán obce

Územní plán je jeden ze stupňů zpracovávané územně plánovací dokumentace, který stanovuje využití jednotlivých pozemků dle rozložení v katastru dané obce. Soulad nově navržených objektů je nutný pro vydání územního pro rozhodnutí.

Zástavba v řešené lokalitě je v platném územním plánu obce Nučice vymezena jako plochy staveb pro rekreaci a koresponduje se stávajícím zastavěným územím. Další plošný rozvoj se nepředpokládá. Okolí chatové oblasti tvoří lesní, zemědělské a smíšené plochy. [35]



Obrázek 13: Výřez z hlavního výkresu územního plánu se zjednodušenou legendou

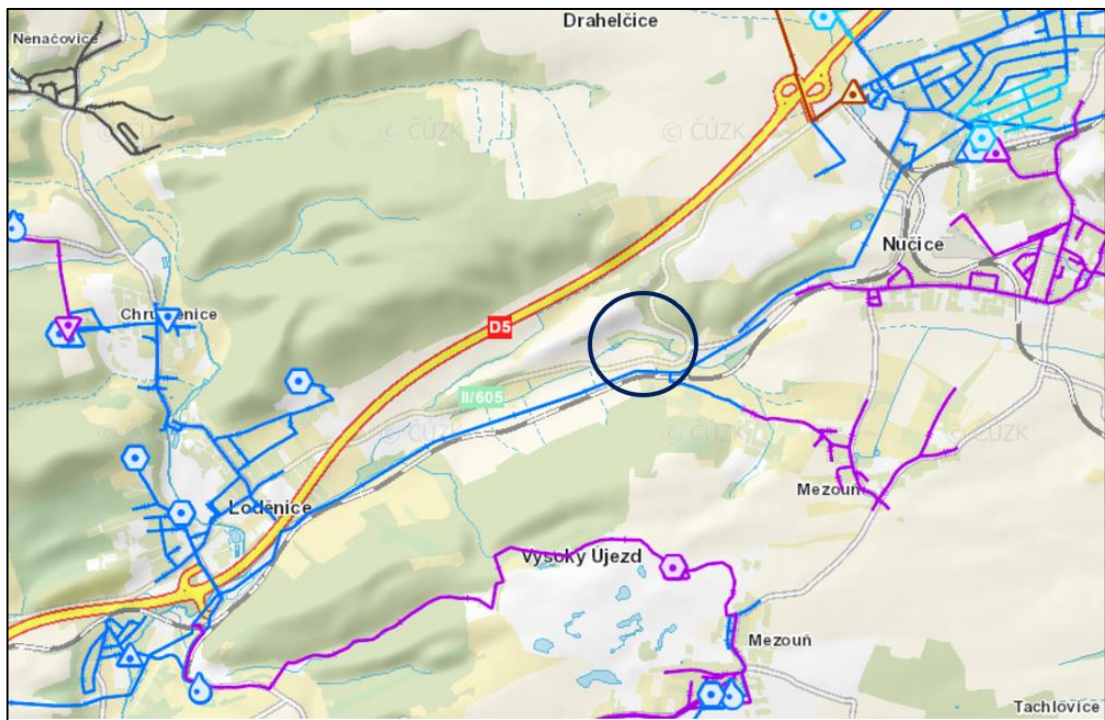
4.2.2 Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje

Plány rozvoje vodovodů a kanalizací jsou vypracovávány dle zákona o vodovodech a kanalizacích č. 274/2001 Sb. Stanovují koncepci plánování vodovodních a kanalizačních sítí a současně analyzují stávající stav. [9] Plány zahrnují souhrnnou zprávu pro celé území na úrovni České republiky a jednotlivých krajů. Pro jednotlivé



sídelní celky obsahují popis infrastruktury a jejího budoucího rozvoje (karty obcí). Součástí je mapová aplikace zobrazující přehledné mapy sítí.

V Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje (PRVKSK) je chatová osada „V Hlubokém“ součástí karty obce Nučice u Rudné. V mapové části ani na kartě obce není zmíněno plánované rozšíření vodovodní sítě do chatové osady. Konečné realizaci vodovodu by musela předcházet žádost o změnu PRVKSK ze strany obce Nučice v případě, že by byl zájem o pokrytí částí nákladů dotačními programy, které soulad s krajskými plány rozvoje mají jako jednu z podmínek pro žadatele.



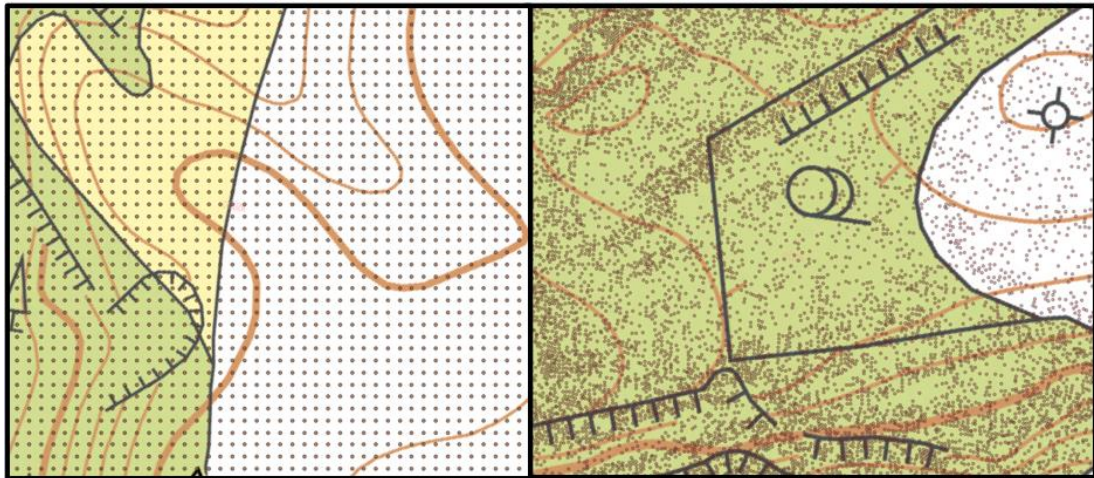
Obrázek 14: Výřez z mapové aplikace Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje

4.2.3 Datové listy digitálního modelu reliéfu 5G

Pro potřeby této práce jsou použity datové listy DMR 5G (Digitálního modelu reliéfu páté generace) Beroun 4-4 a Beroun 3-4. DMR 5G představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. Datové listy obsahují v textovém formátu mračno bodů se souřadnicemi S-JTSK X a Y a nadmořskou výškou Z (Balt po vyrovnání), ze kterých lze pomocí například GIS nástrojů vytvořit digitální model reliéfu pro následnou extrakci nadmořských výšek výpočetních uzlů na síti. DMR 5G se oproti starší čtvrté generaci 4G liší rozložením bodového pole a z toho pramenící vyšší přesností. U DMR 5G jsou data rozložena do nepravidelné trojúhelníkové sítě, zatímco u DMR 4G jsou body rozloženy do pravidelné rasterové sítě 5 x 5 m. Uváděná přesnost je udávána úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu



oproti DMR 4G se střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. [36] [37]

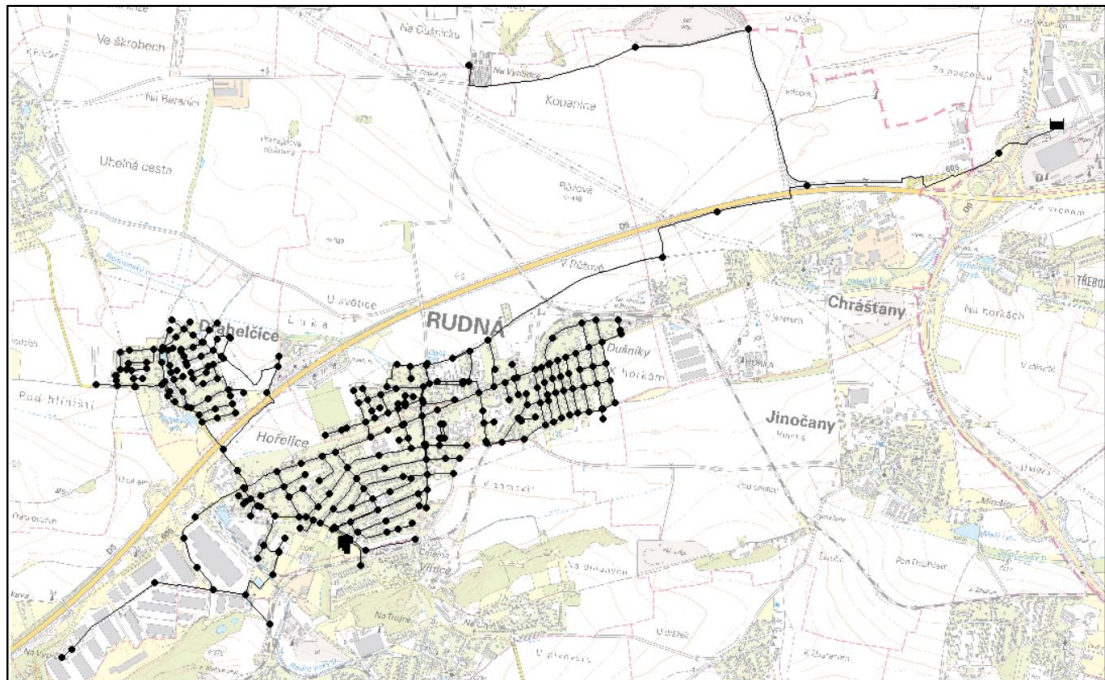


Obrázek 15: Porovnání plošného rozložení bodových polí na dvou různých lokalitách. DMR 4G vlevo, DMR 5G vpravo.

4.2.4 Generel vodovodu města Rudná

Generel vodovodu města Rudná byl zpracovaný firmou Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. v roce 2021. V rámci nového návrhu rozšíření vodovodní sítě do chatové oblasti „V Hlubokém“ bude jedna z variant navazovat a stávající vodovodní síť v Rudné. Generel poskytuje podrobné informace o potrubí v místě napojení, charakteristiky klíčových objektů a množství a rozložení odběrů. Mimo jiné je součástí generelu i posouzení výhledového stavu v roce 2030. [38]

Pro potřeby diplomové práce jsem využil část již modelované sítě v oblasti od vodojemu do prostoru plánovaného napojení přivaděče do chatové osady „V Hlubokém“ s příslušnými okrajovými podmínkami a charakteristikami, které v tomto případě zahrnují data o čerpadle, a průběh hodinové nerovnoměrnosti zjištěný na základě měrné kampaně. Zbývající část bude v mém modelu řešena schematicky.



Obrázek 16: Rozsah zpracované sítě v rámci generelu

4.2.5 Studie proveditelnosti – Připojení Nučice na přivaděč BKDZH

Studie proveditelnosti vypracovaná v roce 2021 firmou Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. řeší možnost napojení obce Nučice z nově plánovaného vodojemu situovaného nad obcí a zásobeného z oblastního přivaděče BKDZH (Beroun, Králův Dvůr, Zdice, Hořovice). Nový vodojem bude zároveň jedním z možných míst napojení nového vodovodu pro chatovou oblast „V Hlubokém“. Součástí studie je bilance spotřeby vody na základě dat předaných provozovatelem a současně predikce výhledové potřeby pro rok 2030. [39]

Pro model sestavený v rámci zpracování mé diplomové práce jsem využil údaje o potřebě vody stanovené v této studii a dále průběh hodinové nerovnoměrnosti pro odběr obcí Nučice.

4.2.6 Studie stavby VDJ Nučice

V roce 2021 byla společností Vodohospodářské inženýrské služby a.s. zpracována studie týkající se řešení konstrukčního řešení nového zemního vodojemu pro obec Nučice, která řeší problematiku umístění vodojemu na pozemku vymezeným územní plánem, který není dostatečně rozlehlý. Práce obsahuje i výkresovou dokumentaci nového objektu. Vodojem je navržen jako zemní dvoukomorový (2 x 550 m³ 361,7/338,2 m n. m). [40]

Pro zpracování modelu jsem vycházel z navrženého umístění vodojemu, jeho objemu a rozpětí hladin.



4.3 Stanovení průměrné potřeby vody pro chatové objekty

Ke stanovení průměrné potřeby vody pro chatové objekty je využito skutečných dat získaných na základě měření odebraného množství fakturačními vodoměry pro stanovení ceny vodného. Za tímto účelem jsem oslovil významné provozovatele vodohospodářské infrastruktury v regionu – VAK Beroun a Středočeské vodárny a.s., s žádostí o zaslání výpisu ze ZIS. Z důvodu ochrany osobních údajů jsou získaná data bez konkrétního ztotožnění s odběrným místem, a proto bylo předem nutné nalézt s využitím veřejně dostupných zdrojů v širším okolí řešené lokality několik oblastí s co nejvíce podobným typem zástavby a současně s vybudovaným vodovodem pro veřejnou potřebu pod správou některého z oslovených provozovatelů. Výběr probíhal na základě subjektivního hodnocení podobnosti druhu zástavby se zástavbou v chatové osadě „V Hlubokém“ a zároveň byla snaha o nalezení rozsáhlejších chatových oblastí. Zpracovávaná data pak představovala průměrnou denní spotřebu jednotlivých fakturačních míst v předem vymezené oblasti. Data pocházejí celkem ze 7 různých lokalit a obsahují 193 odběrných míst. Obrázek 17 vyobrazuje širší vztahy rozmístění jednotlivých lokalit.



Obrázek 17: Rozmístění jednotlivých lokalit pro stanovení průměrné potřeby



4.3.1 Přehled zpracovaných lokalit

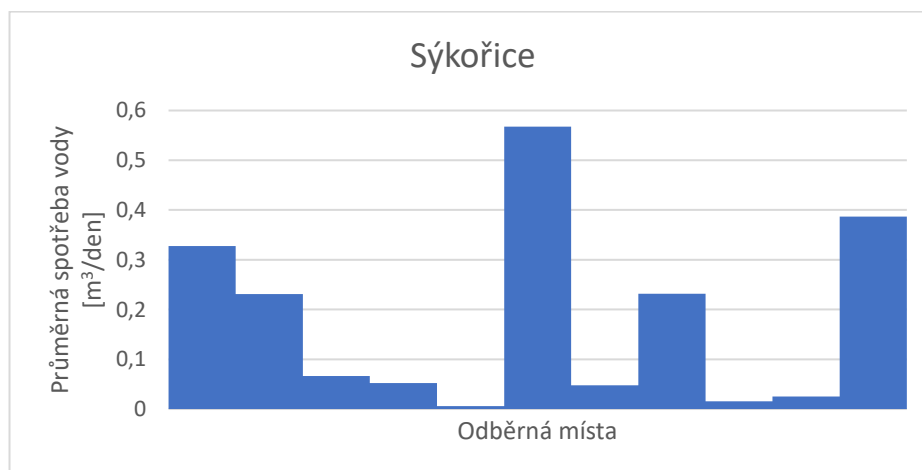
4.3.1.1 Sýkořice

Vybraná oblast je součástí obce Sýkořice. Lokalita leží v prudkém svahu nad řekou Berouňkou v CHKO Křivoklátsko. Oblast je hůře dopravně dostupná bez významné komunikace, která by ji propojovala s větším městem. Větší sídla jako města Rakovník, Beroun a Kladno se nacházejí v přímé vzdálenosti větší jak 15 km. Zástavbu tvoří menší objekty do dvou podlaží, které jsem vyhodnotil jako rekreační objekty. Součástí jsou udržované zahrádky. Ve vybraném území je několik studní a rovněž zde dochází k akumulaci srážkových vod a jejich pravděpodobnému využívání pro závlahu.

Obec Sýkořice má vybudovaný vodovod pro veřejnou potřebu, který je napájen přivaděčem DN 150 z oblastního přivaděče zásobujícím Kladensko z úpravy vody Klíčava [41]



Obrázek 18: Letecký pohled na lokalitu Sýkořice



Obrázek 19: Průměrné denní odběry v lokalitě Sýkořice



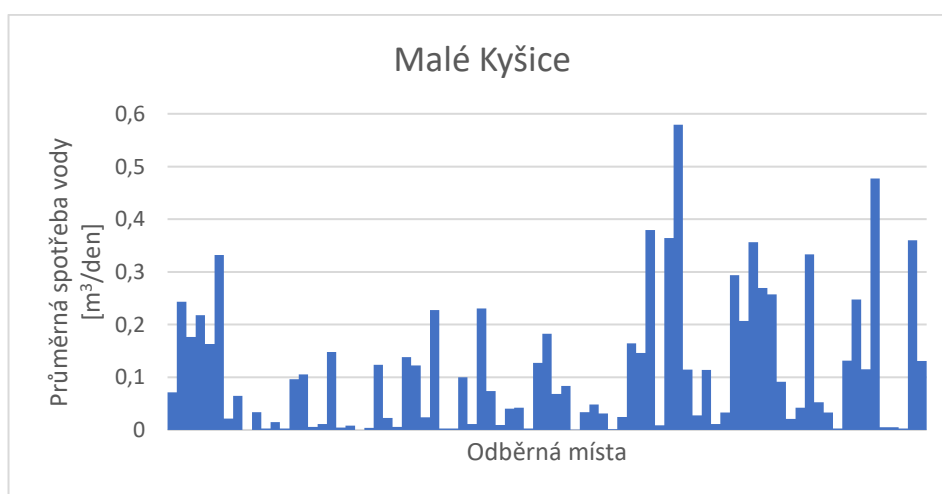
4.3.1.2 Malé Kyšice

Vybrané území je součástí obce Malé Kyšice vzdálené asi 10 km jižně od Kladna a 5 km od dálnice D6, která je důležitou dopravní tepnou spojující region s Prahou. Z tohoto důvodu se lze domnívat, že některé objekty jsou využívány k trvalému pobytu. Srážkové vody jsou akumulovány a využívány pro zavlažování zahrad. V lokalitě bylo nalezeno i několik studní. Oblast leží na hranici krajiny hodnotného území CHKO Křivoklátsko a přírodního parku Údolí Kačáku.

Vodovod v obci je součástí systému vodovodu KSKM. Z vodojemu Unhošť – Horka je veden zásobní řad DN 200 přes obec Braškov a Kyšice do obce Unhošť. Mezi Kyšicemi a Unhoštěm je na tento zásobní řad napojen zásobní řad DN 150, kterým je gravitačně dopravována voda přes obec Nouzov do obce Malé Kyšice. [34]



Obrázek 20: Letecký pohled na lokalitu Malé Kyšice



Obrázek 21: Průměrné denní odběry v lokalitě Malé Kyšice



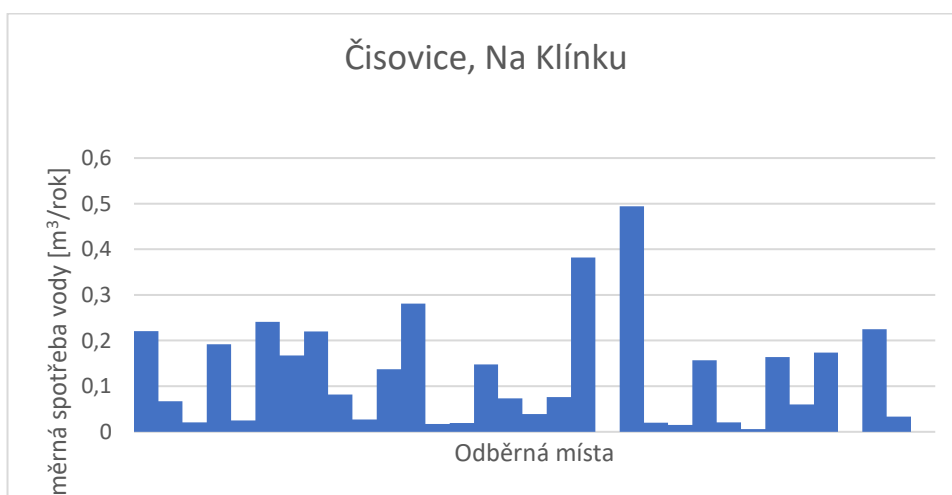
4.3.1.3 Čisovice, Na Klínku

Obec Čisovice leží východně od Mníšku pod Brdy. Jde o příměstskou rekreační oblast jižně od Prahy, odkud patrně bude dojíždět nejvíce rekreatantů. V lokalitě se dle [34] nachází 287 objektů pro rekreační bydlení. Pro mé zpracování jsem vybral pouze dílčí oblasti, kde je charakter rekreačních objektů nejvíce zřejmý. Lokalita na Klínku se nachází na západním okraji obce a tvoří ji zejména malé chaty se zahrádkami.

Obec Čisovice má vybudovaný vodovod pro veřejnou potřebu. Voda pochází z úpravny vody Malá Hraštice. Obec je zásobována z vlastního vodojemu gravitačně. [34]



Obrázek 22: Letecký pohled na lokalitu Čisovice, Na Klínku



Obrázek 23: Průměrné denní odběry v lokalitě Čisovice, Na Klínku



4.3.1.4 Čisovice, Višňovka

Lokalitu Višňovka je rozložena na jižním okraji obce Čisovice ve svahu. Zástavba je zde oproti lokalitě Na Klínku více různorodá. Mimo drobných chat se zahrádkami se zde nachází i několik větších objektů, které mohou sloužit k trvalému pobytu. Z hlediska vybavenosti je nutné zmínit nezanedbatelné procento objektů s rodinným venkovním bazénem. Udržované a intenzivně využívané zahrady jsou zavlažovány s využitím srážkových vod.

System zásobování pitnou vodou je shodný se sousední lokalitou Na Klínku.



Obrázek 24: Letecký pohled na lokalitu Čisovice, Višňovka



Obrázek 25: Průměrné denní odběry v lokalitě Čisovice, Višňovka

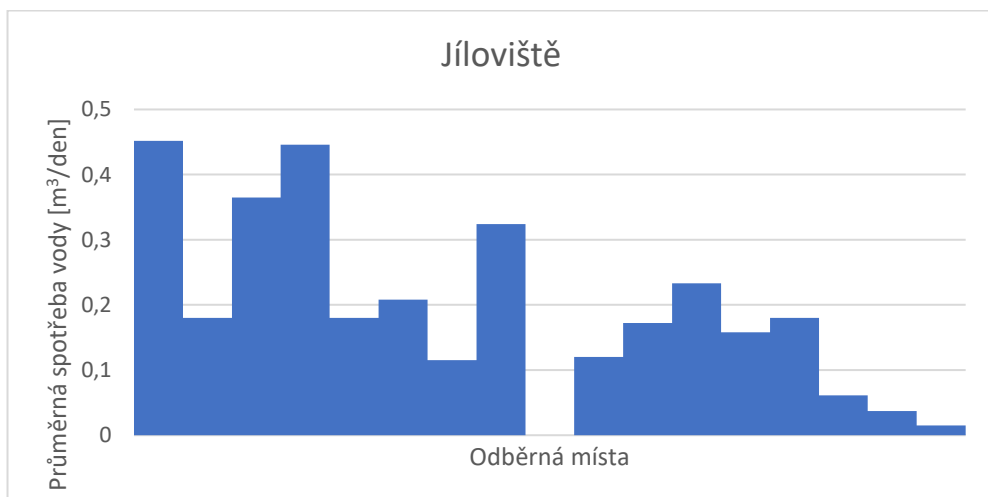
4.3.1.5 Jíloviště

Vybraná část obce Jíloviště se nachází na jejím okraji. Chatová oblast splynula s rozrůstající se zástavbou obce. Jedná se dopravně velice dobře dostupnou lokalitu ležící v blízkosti rychlostní komunikace č I/4, která zajišťuje rychlé dopravní propojení s Prahou, které je dále podpořeno i pravidelnými přímými linkami autobusové dopravy. Krátká dojezdová vzdálenost do Prahy, která činí přibližně 15 minut může být příčinou pro častější rekreační pobyt.

Obec je zásobena s využitím několika vlastních zdrojů přes úpravnu vody. Z úpravny je voda čerpána do vodojemu a spotřebiče je zásobeno gravitačně [34].



Obrázek 26: Letecký pohled na lokalitu Jíloviště



Obrázek 27: Průměrné denní odběry v lokalitě Jíloviště



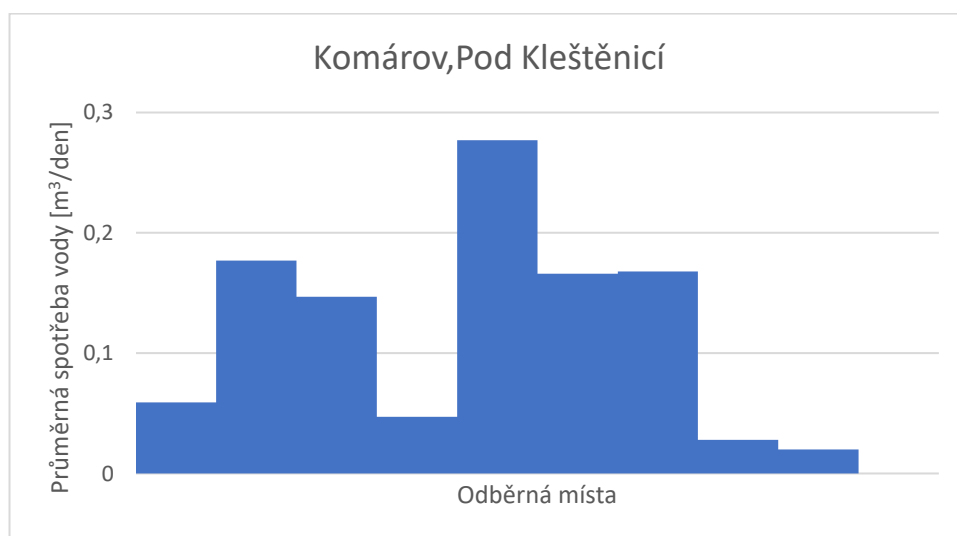
4.3.1.6 Komárov, Pod Kleštěnicí

V obci Komárov jsem vybral dvě lokality. Území leží na hranici CHKO Brdy přibližně v polovině vzdálenosti mezi okresními městy Beroun a Rokycany. Lokalita Pod Kleštěnicí se nachází na jihozápadním okraji obce Komárov. Je tvořena řadou menších rekreačních chat. Směrem do centra obce jsou objekty větší, z nichž některé i dle spotřeby vody mohou být využívány k trvalému pobytu.

Obec pro zásobení pitnou vodou využívá vlastní zdroje. Voda je akumulována ve vodojemu Kleštěnice a odtud je spotřebiště zásobováno gravitačně a je pokryto jedním tlakovým pásmem.



Obrázek 28: Letecký pohled na lokalitu Komárov, Pod Kleštěnicí



Obrázek 29: Průměrné denní odběry v lokalitě Komárov, Pod Kleštěnicí



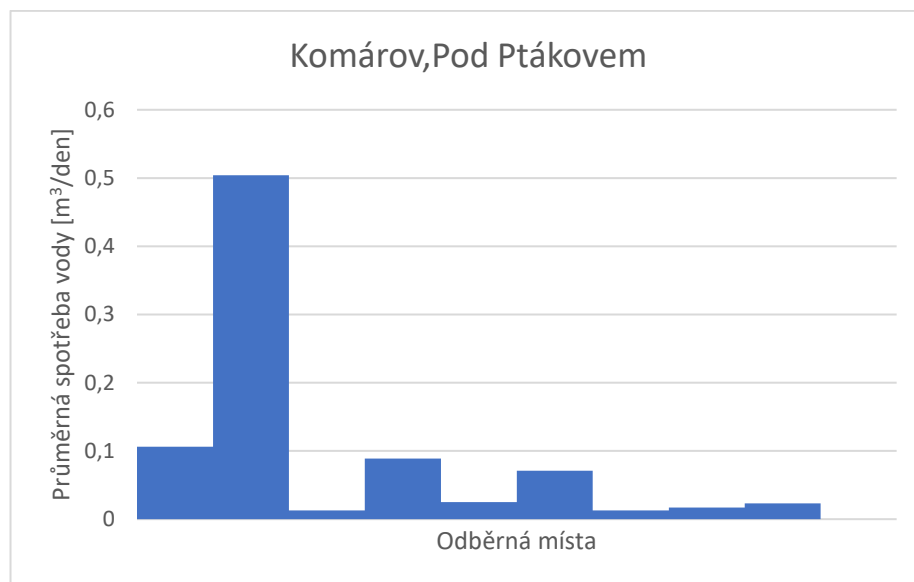
4.3.1.7 Komárov, Pod Ptákovem

Lokalita Komárov, Pod Ptákovem se nachází na jihozápadním okraji obce. Jedná se o ucelené uskupení několika dvoupodlažních chat, které je obestavěno běžnou vesnickou zástavbou rodinných domů.

Systém zásobování pitnou vodou je shodný se sousední lokalitou Pod Kleštěnicí.



Obrázek 30: Letecký pohled na lokalitu Komárov, Pod Ptákovem



Obrázek 31: Průměrné denní odběry v lokalitě Komárov, Pod Ptákovem



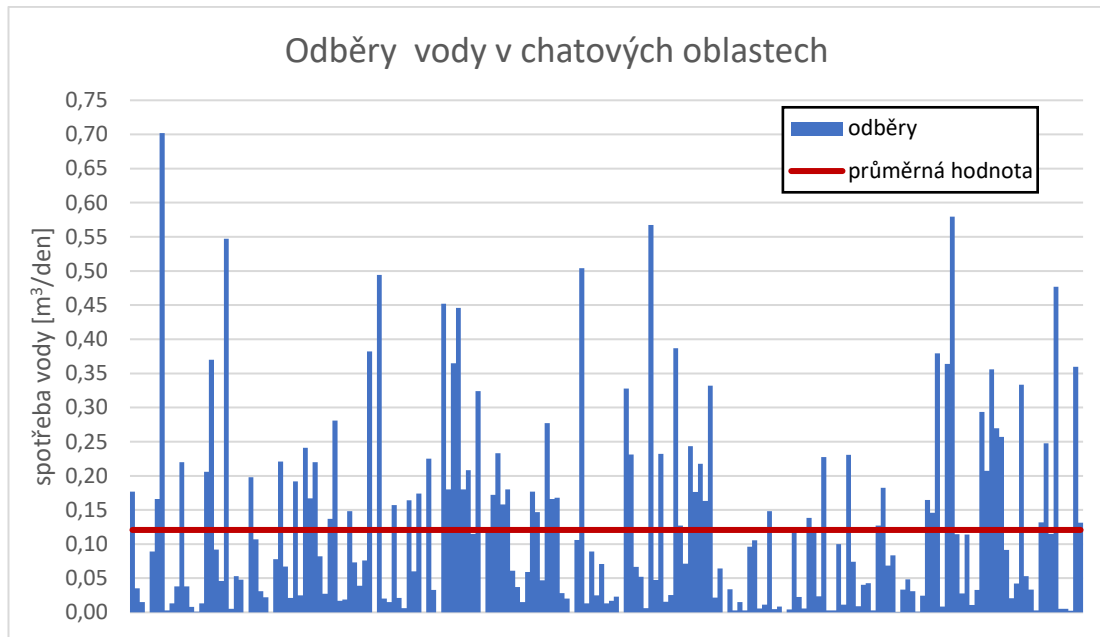
4.3.2 Vyhodnocení

Z přehledu vyhodnocených lokalit (Kapitola 4.3.1) je patrné, že počet odběrných míst plně nekoresponduje s počtem chat ve vybraném polygonu. Tuto skutečnost lze vysvětlit faktem, že ne všechny chaty mají svojí vlastní vodovodní přípojku. Mezi jednotlivými daty je vidět značná rozkolísanost. Dle informací od provozovatele jsou některé nemovitosti ve vybraných oblastech již využívány k trvalému pobytu. Některé chaty současně mohou využívat vlastní studnu a zde je pak odběr z řadu je minimální. Spotřebu pak dále v případě chatových objektů ovlivňuje délka pobytu a vybavenost. Vysoké hodnoty průměrné denní spotřeby v některých případech je obtížné zdůvodnit, neboť nemohly být poskytnuty informace o přesné lokalizaci těchto odběrů. Lze se domnívat, že pravděpodobně může jít o kombinaci řady nepříznivých faktorů, například trvalý pobyt vícečlenné rodiny, výrazná vybavenost objektu a zahrady (bazén, využití pitné vody na závlahu) a celkově nešetrný přístup k hospodaření s vodou. Naopak objekty s nulovými odběry lze považovat za nevyužívané k rekreaci nebo plně závislé na vlastním zdroji. Jak příliš vysoké, tak nulové odběry jsou zohledněny v celkovém průměru, neboť i tato odběrná množství se mohou v řešené lokalitě vyskytovat. Chybné měření lze vzhledem k povaze dat téměř jistě vyloučit.

Celková průměrná hodnota denní spotřeby vody na jeden odběr ve vybraných oblastech je 0,121 m³/den (0,0014 l/s). Průměrná potřeba vody na připojeného obyvatele Středočeského kraje byla v roce 2021 33,1 m³/rok. [1] Pro případ výpočtu chatových oblastí, kdy bývá potřeba vody počítána pomocí počtu obyvatel pak vychází 1,3 obyvatele na chatový objekt.

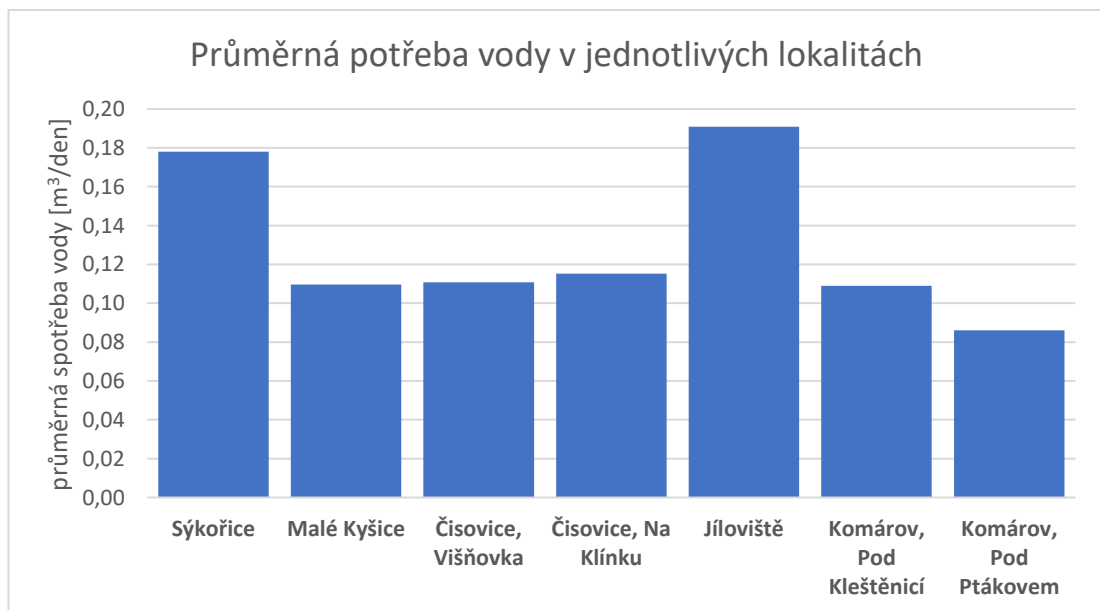
Tabulka 10: Celkový přehled zpracovaných lokalit

	počet odběrných míst v lokalitě	průměrná spotřeba vody [m ³ /den/odběr. místo]	počet nulových odběrů	nulové odběry [%]
Sýkořice	11	0,178	0	0,00
Malé Kyšice	82	0,110	2	2,47
Čisovice, Višňovka	30	0,111	3	10,34
Čisovice, Na Klínku	33	0,115	3	9,38
Jíloviště	17	0,191	1	6,25
Komárov, Pod Kleštěnicí	10	0,109	1	11,11
Komárov, Pod Ptákovem	10	0,086	1	11,11
celkem	193	0,121	11	5,70



Obrázek 32: Odběry v chatových oblastech s vyznačením průměrné hodnoty

Zajímavé může být porovnání průměrných hodnot denní potřeby mezi jednotlivými lokalitami (Obrázek 33). Z porovnání je patrná vyrovnaná hodnota přibližně 0,11 m³/den ve čtyřech případech. V případě vyšších hodnot je v rámci lokality pravděpodobně více objektů využíváno k trvalému pobytu. V případě lokality Sýkořice se nevyskytují žádné nulové odběry, což je další důvod, proč je průměrná spotřeba vyšší. U lokality Jíloviště roli hraje i velmi dobrá dopravní dostupnost a blízkost hlavního města. U ostatních lokalit trend blízkého velkého města nebo situování do krajinně hodnotného území není patrný.



Obrázek 33: Porovnání průměrných denních odběrů v jednotlivých lokalitách



4.4 Varianty řešení

Pro návrh nového vodovodu do chatové oblasti „V Hlubokém“ je základní uspořádání sítě navrženo s maximálním důrazem za zokruhování, které zajistí lepší cirkulaci vody při značně nepravidelných odběrech. Vedení řadů je v lokalitě definováno zejména trasami obslužných komunikací. Pro připojení zájmové lokality na stávající vodovodní infrastrukturu jsou v práci navrženy následující tři varianty (Obrázek 34). Trasování přívaděčích řadů do lokality je navrženo pouze orientačně, kdy je předpokládán minoritní vliv délky potrubí, respektive ztrát třením na tlakové poměry v nově zásobené lokalitě oproti morfologickým poměrům po trase přivaděče a výchozích bodů (vodojemů).

4.4.1 Varianta 1 – napojení z vodovodní sítě v Rudné

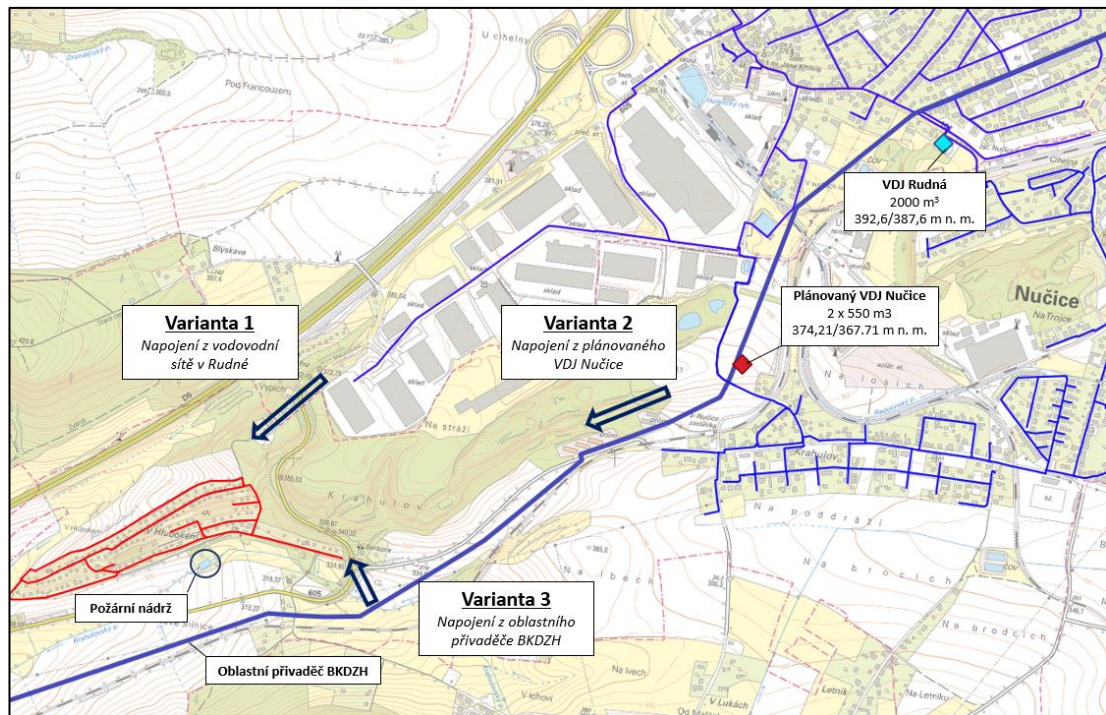
Tato varianta si klade za cíl posoudit aspekty připojení ze stávající vodovodní sítě v Rudné. Předávací bod bude v logistickém areálu u autobusové točny. Trasa přívaděčích řadů je uvažována podél komunikace II/603 a dále v ose příjezdové cesty do lokality ze severovýchodu. Pro účely modelu je výchozím bodem vodojem v Rudné, ze kterého je přes čerpací stanici zásobeno město Rudná, logistický areál Prologis s.r.o. a okolní obce Drahelčice a Nučice.

4.4.2 Varianta 2 – napojení z nově plánovaného vodojemu v Nučicích

Druhá varianta uvažuje napojení chatové oblasti „V Hlubokém“ z plánovaného vodojemu na katastrálním území obce Nučice. Přívod vody z vodojemu je plánován z oblastního přivaděče BKDZH. V modelu je uvažováno s nezávislým potrubím z tohoto vodojemu vedoucím paralelně s přivaděčem BKDZH a přívaděčím gravitačně vodu do chatové oblasti „V Hlubokém“.

4.4.3 Varianta 3 – napojení z oblastního přivaděče BKDZH

Třetí varianta představuje napojení přímo z oblastního přivaděče BKDZH. Napojení je předpokládáno na louce na pozemku parc. č. 624/10 u rozcestí Krahulov, kdy je vzdálenost pro trubní vedení nejkratší a potrubí lze vést převážně nezpevněným povrchem. Bod napojení je umístěn pod spotřebišťem. V modelu je uvažována koncepce čerpací stanice u přivaděče a následným čerpáním nezávislým řadem do vlastního vodojemu. Pro vodojem je vybráno vhodné umístění nad spotřebišťem na nevýrazném vršku na parc. č. 788/1 v majetku obce Nučice. Umístění poskytuje minimální nadvýšení nad spotřebišťem pro gravitační zásobování a je zároveň dobře dopravně dostupné.

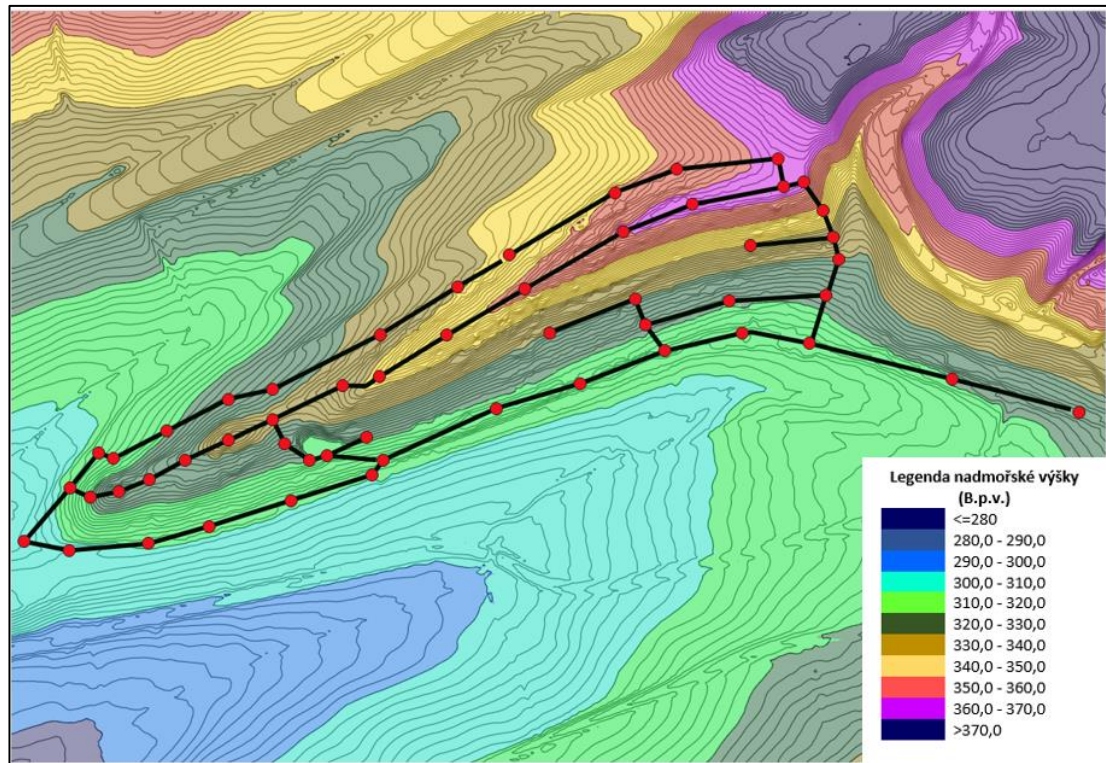


Obrázek 34: Situace stávající vodovodní infrastruktury (modře) a schéma variant napojení nové sítě (červeně).

4.5 Sestavení modelu

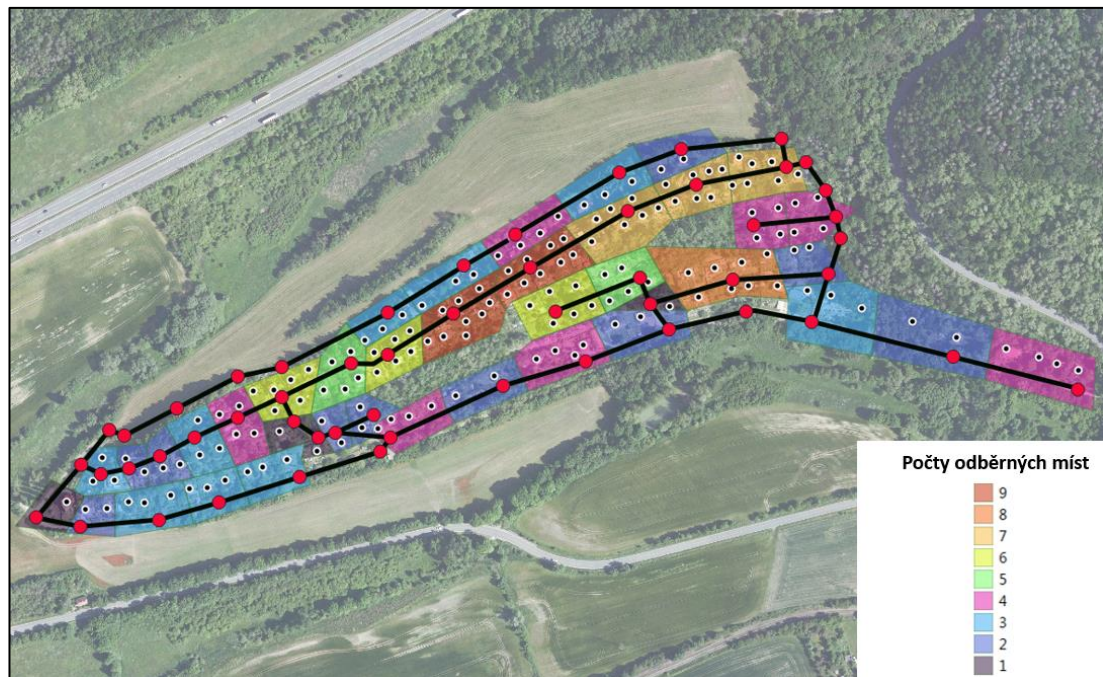
Při sestavení modelu jsem využil nástrojů GIS. Související přípravné činnosti probíhaly konkrétně v prostředí softwaru QGIS. Práce na sestavení modelu započaly základním návrhem rozvodné sítě za uvážení maximálního zokruhování. Trasy vodovodních řadů jsou v řešené lokalitě navrženy s využitím mapových podkladů a jsou vymezeny zástavbou a obslužnými komunikacemi a s přihlédnutím k majetkoprávní situaci. Dále jsem s využitím mračna bodů z datových listů DMR 5G sestavil v QGIS digitální model terénu v rastrovém formátu. Pro lepší přehlednost jsem dále vyextrahoval vrstevnice s intervalem 1 m.

Dalším krokem je pro nově navrhovanou síť volba rozmístění jednotlivých výpočetních uzlů. Uzly jsem rozmístil v lomových bodech, v místech výraznějších terénních zlomů a v intervalu přibližně po 200 m. V místech, kde je sklon svahů vyšší je tato vzdálenost snižována a body jsou zahuštěny, aby bylo po výpočtu možné lépe sledovat změny tlakových poměrů. Obrázek 35 vyobrazuje zvolené rozmístění uzlů na podkladu vytvořeného rastrového digitálního modelu terénu a vrstevnic. Stejným přístupem jsou dále doplněny uzly na přivaděcích řadech.



Obrázek 35: Rozložení uzlů na podkladu vytvořeného digitálního modelu terénu.

Obrázek 36 vyobrazuje následné přiřazení počtu odběrných míst k jednotlivým uzlům. Při stanovení počtu objektů jsem využil data z katastru nemovitostí (definiční body budov), poznatky zjištěné při terénním průzkumu a mapové podklady. Jedno odběrné místo představuje jeden nově připojený objekt. Jednotlivé počty odběrných míst jsem poté přenásobil s využitím hromadné editace specifickou potřebou vody dle uvažovaného zatěžovacího stavu (viz. dále kapitola 4.6).



Obrázek 36: Mapa polygonů znázorňující přiřazení odběrných míst k jednotlivým výpočetním uzlům

Pro úseky potrubí jsou délky vypočteny v QGIS. Tabulka 11 je použita k přepočtům mezi vnějším průměrem D_e používaným běžně pro označení vodovodního potrubí a vnitřním průměrem, který je důležitý pro výpočet hydraulických charakteristik v modelu. Uvažoval jsem s potrubím PE 100 RC SDR 11(PN 16), které vyhovuje běžným přetlakům na síti. Zvolená drsnost potrubí pro výpočet s využitím Darcy-Weissbachovy rovnice je zvolena na hodnotu 0,02. Nadvýšená hodnota zároveň postihne i místní ztráty například v lomových bodech.

Tabulka 11: použitá tabulka pro přepočet vnějšího průměru D_e a vnitřního průměru DN. Zpracováno dle [42]

vnější průměr D_e [mm]	tloušťka stěny s [mm]	vnitřní průměr DN [mm]
40	3,7	32,6
50	4,6	40,8
63	2,8	57,4
75	6,8	61,4
90	8,2	73,6
110	10,0	90,0
125	11,4	102,2
140	12,7	114,6
160	14,6	130,8



Při prvním návrhu dimenzí jsem využil i doporučení nejmenších průměrů pro zásobování malých obytných zón dle ČSN EN 805.

Tabulka 12: Doporučené nejmenší průměry potrubí pro zásobování malých obytných zón dle ČSN EN 805 [2]

DN	Předpokládaný počet osob
50^a	30
80	100
100	150
^a pokud délka řady nepřesahuje přibližně 100 m	

Jednotlivé varianty modelu jsou sestaveny tak, aby výchozím bodem byl nejlépe vodojem se známými charakteristikami, který zároveň bude tvořit i vyrovnávací objem pro pokrytí denních špiček. Konkrétně se jedná o vodojem Rudná pro navrhovanou variantu 1 a plánovaný vodojem v Nučicích pro variantu 2. Vodojemu v modelu předchází uměle převýšená fiktivní nádrž jako neomezený zdroj vody, ze kterého je pak gravitačně pomocí FCV ventilu modelováno regulované dopouštění do vodojemu, které je dále ošetřeno pomocí podmínek – controls. Ve variantě 3 je počátečním bodem fiktivní nádrž v uvažovaném místě napojení na oblastní přivaděč BKDZH, ze které je veden výtlačný řad do nově navrženého vodojemu nad spotřebišťem.

4.5.1 Schematizace stávající sítě

V případech sestavení modelu ve variantě 1 a 2 je stávající síť schematizována. Dotčené okolní obce (Nučice a Drahelčice) jsou do modelu zadány jako jeden bodový odběr. Vodovodní síť ve východní části Rudné jsem v modelu zohlednil pomocí vytvoření bodových odběrů v místech propojovacích řadů se schematizovanou oblastí dle průměrného průtoku těmito úseky. Velikost těchto bodových odběrů je daná průměrným průtokem v propojovacích řadech.

4.5.2 Hodinová nerovnoměrnost

V modelu je uvažováno s hodinovou nerovnoměrností spotřeby, aby bylo možné vypočítat chování sítě v době denních špiček a zároveň i v nočních hodinách, kdy jsou odběry minimální. Za tímto účelem jsou využita data z měrné kampaně pořízená pro vypracování generelu vodovodní sítě v Rudné [38] [39]. Jedná se tedy o časové řady hodinové nerovnoměrnosti pro 3 obce:

- Rudná
- Drahelčice
- Nučice

K nově napojené chatové oblasti „V Hlubokém“ je přiřazen průběh hodinové nerovnoměrnosti dle směrnice č.9 [3]. Je použito hodinové procentuální rozložení



během dne pro $k_h=1,8$. Pro potřeby modelu je ovšem místo procent nutné zadat průběh pomocí násobků hodinové potřeby (Tabulka 13).

Další řady hodinové nerovnoměrnosti jsou sestaveny pro propojovací řady v Rudné se schematizovanou částí stávající sítě. Jedná se celkem o tři řady ve variantě 1.

Výpočet je nastaven po dobu 72 hodin s časovým krokem 1 hodina. Časové řady se tedy opakují v 24hodinovém cyklu.

Tabulka 13: Rozpočítání hodinové nerovnoměrnosti pro nově napojené objekty dle směrnice č.9 pro $k_h=1,8$.

hodina	K_h	K_h	hodina	K_h	K_h
od-do	[%]	[-]	od-do	[%]	[-]
0-1	1	0.24	12-13	5	1.20
1-2	0.7	0.17	13-14	5	1.20
2-3	0.7	0.17	14-15	4	0.96
3-4	0.7	0.17	15-16	5	1.20
4-5	2	0.48	16-17	5	1.20
5-6	3	0.72	17-18	6	1.44
6-7	5	1.20	18-19	6.5	1.56
7-8	6.4	1.54	19-20	7.5	1.80
8-9	4.5	1.08	20-21	5	1.20
9-10	5.5	1.32	21-22	5	1.20
10-11	5.5	1.32	22-23	4	0.96
11-12	5.5	1.32	23-24	1.5	0.36
kontrola celkového průměru					1

4.6 Zatěžovací stavy

Pro jednotlivé varianty jsou počítány dva zatěžovací stavy. Motivací je pokusit se podchytit okrajové podmínky zatížení sítě, neboť je obtížné přesně popsat budoucí rozvoj lokality. Zároveň poslouží pro sledování změn hydraulických poměrů na nově navržené síti vyvolaných změnou zástavby, a tedy i odebíraného množství vody.

Požadavky na zásobení při požárním zásahu z nového vodovodu nejsou kladeny. Pod lokalitou se nachází požární nádrž s panelovou cestou pro příjezd požární techniky. Nádrž je boční průtočná a je trvale zásobena vodou z Krahulovského potoka.



Obrázek 37: Nádrž pro požární vodu v lokalitě

4.6.1 Zatěžovací stav 1

Zatěžovací stav 1 má za cíl simulovat odběry stávající zástavbou. Z tohoto důvodu je uvažováno se specifickou potřebou vody jedné nemovitosti $0,121 \text{ m}^3/\text{den}$, kterou jsem stanovil na základě šetření skutečných dat podobných lokalit a zohledňuje tak veškeré parametry (např. délku pobytu, počet osob, vnitřní vybavení), které by byly při využití tabulkových hodnot obtížně zjistitelné. Popis zjištění této hodnoty je uveden v kapitole 4.3. Současně jsou pro zohlednění propojených lokalit do výpočtu zadávány odběry pro stávající stav dle souvisejících již vypracovaných dokumentů. (kapitoly 4.2.4 a 4.2.5). Jedná se konkrétně o obec Drahelčice, část města Rudná a obec Nučice.

4.6.2 Zatěžovací stav 2

Zatěžovací stav 2 zachycuje možný budoucí vývoj lokality a s jednotlivými objekty jsem uvažoval jako s rodinnými domy. K výpočtu je použito dat Českého statistického úřadu, kdy průměrná potřeba vody na jednoho připojeného obyvatele Středočeského kraje činila v roce 2021 $33,1 \text{ m}^3/\text{rok}$ [1]. Tato hodnota v sobě obsahuje i související položky potřeby vody a v podstatě se shoduje s údajem dle přílohy č.12 vyhlášky č. 120/2011 vyhlášky – směrná roční čísla potřeby vody, kdy je uváděno $35 \text{ m}^3/\text{rok}$ na jednoho obyvatele bytu s tekoucí teplou vodou. [33] Na jeden objekt jsem počítal se 3 obyvateli. Tabulka 14 představuje tabelovaný výpočet potřeby vody pro jeden rodinný dům.



Tabulka 14: Tabelovaný výpočet potřeby vody jednoho rodinného domu pro zatěžovací stav 2

potřeba vody na jednoho obyvatele	33,1	m ³ /rok
počet obyvatel na objekt	3	-
celková potřeba vody na jeden objekt	0.272	m ³ /den
	0,003	l/s

Oproti zatěžovacímu stavu 1 tak dojde k zvýšení odběrů o více jak 50 % (Tabulka 15). Dále je navázáno na predikce potřeby vody v roce 2030 pro již napojené obyvatele v dotčených sousedících sídlech, dle již zpracované dokumentace (kapitoly 4.2.4 a 4.2.5). Jedná se opět o vodovodní síť v Rudné a Drahelčicích (kapitola 4.2.4) a Nučicích (kapitola 4.2.5).

Tabulka 15: Souhrnný přehled odběrů pro oba zatěžovací stavy v závislosti na počtu uvažovaných připojených objektů k uzlu (Obrázek 36)

počet připojených objektů	1	2	3	4	5	6	7	8	9
zatěžovací stav 1 [l/s]	0,0014	0,0028	0,0042	0,0056	0,007	0,0084	0,0098	0,0112	0,0126
zatěžovací stav 2 [l/s]	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,024	0,027

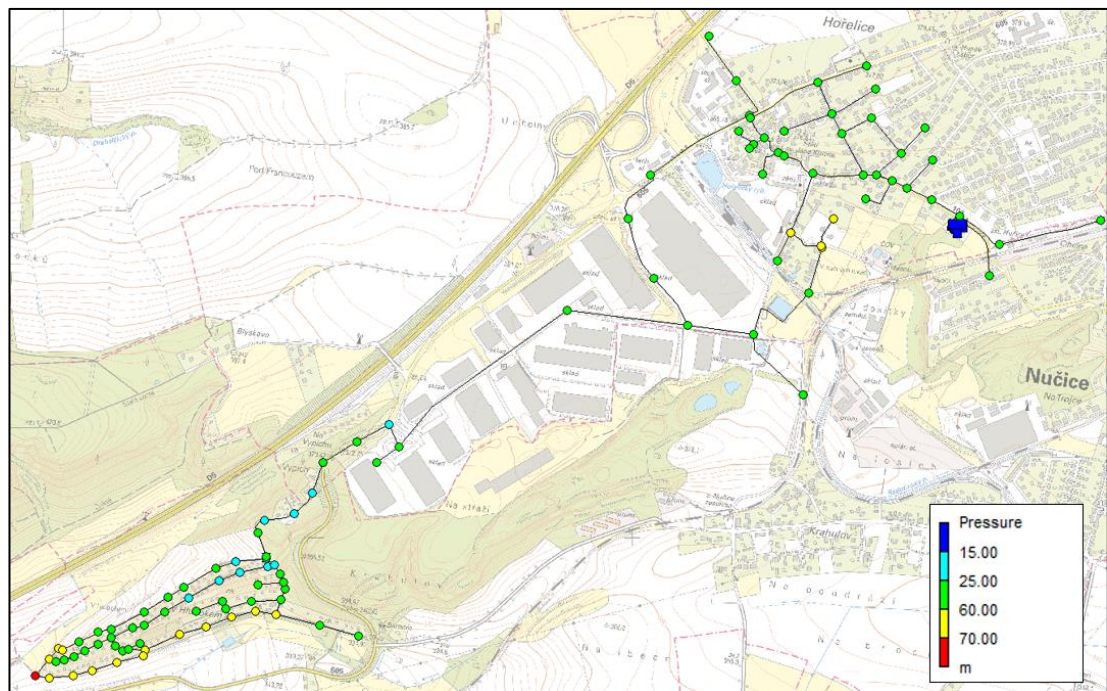
4.7 Výsledky

Výpočet je celkem prováděn na 3 variantách vodovodní sítě. Každou z variant jsem dále zatížil dvěma různými zatěžovacími stavy. Síť je v jednotlivých variantách navržena tak, aby vyhověla oběma zatěžovacím stavům. Důraz je kladen na splnění tlakových poměrů na síti, které jsou dané legislativou. Obecně platí, že tlakové a průtokové poměry jsou posuzovány pro oba zatěžovací stavy. Nejmenší tlaky nastávají při zatěžovacím stavu 2 (výhledový) v době večerní špičky v 19 hodin a v důsledku toho větších ztrát. Nejvyšší tlaky jsou zjištěny ve 3 hodiny ráno v zatěžovacím stavu 1. Pro tyto časové okamžiky jsem vytvořil výsledné mapy tlakových poměrů. Splnění doporučených rychlostí dle ČSN EN 805 je pro malé odběry obtížné i při zatěžovacím stavu 2.



Minimální tlakové výšky

Minimální tlaky je možné očekávat v oblasti za redukčním ventilem ve výhledovém zatěžovacím stavu (Obrázek 39). V této části lokality se jedná pouze o zástavbu do dvou podlaží, a proto je uvažováno s minimální tlakovou výškou 15 m v. sl. Současně se jedná i o geodeticky nejvýše položené objekty, dále na síti jsou minimální tlaky bezpečně zajištěny vlivem výrazného výškového rozdílu. Ve výhledovém zatěžovacím stavu 2 jsem předpokládal, že budoucí případná změna zástavby nepřesáhne dvě nadzemní podlaží.

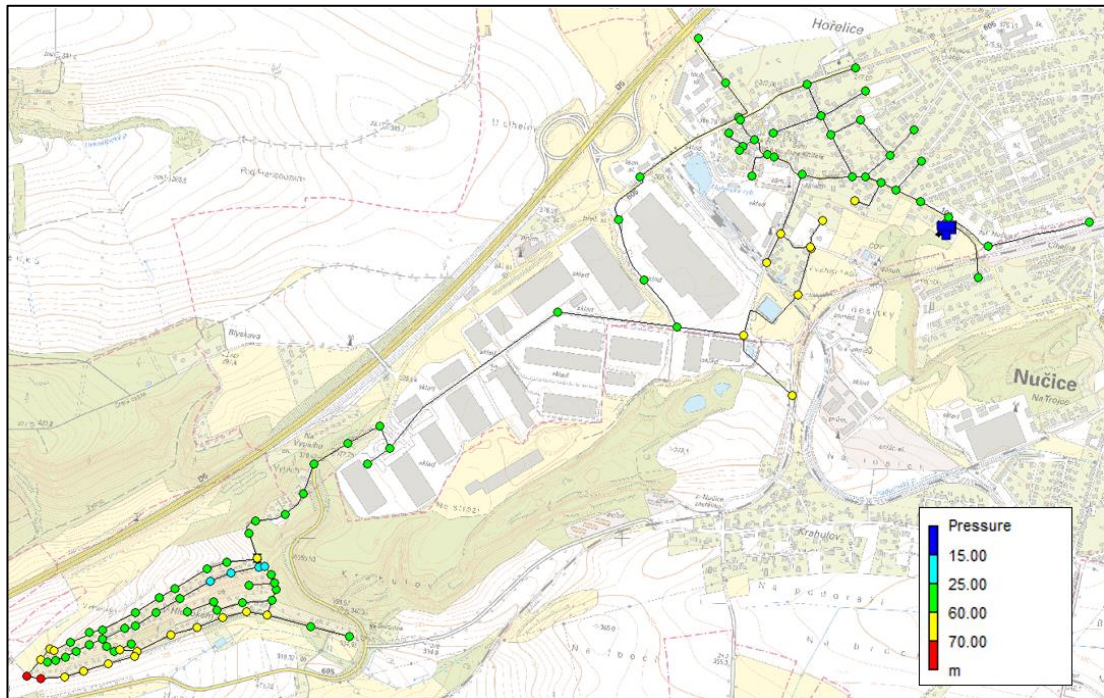


Obrázek 39: Minimální tlaky na síti, zatěžovací stav 1, varianta 1



Maximální tlakové výšky

Maximální tlaky nastávají v nejnižše položených místech spotřebišť. Tlaková výška zde přesahuje 60 m v.sl. Pro většinu objektů napojených z řadu v nejnižše položené ulici ovšem hodnota nepřesáhne 70 m v.sl. Hodnoty v této oblasti lze odůvodnit celkovou koncepcí sítě, kdy vzhledem k místním podmínkám pro trasování řadů a na zokruhování sítě není možné spotřebišť rozdělít do více tlakových pásem a tlak snížit níže položeným jedním redukčním ventilem. Jednotlivé objekty jsou zde vybudovány dle terénu o přibližně 2-5 m nad obslužnou komunikací, ve které je navrženo vedení řadu. V jihozápadní části lokality (výpočetní uzly 1 a 16) bude tlak v nočních hodinách vyšší než 70 m v.sl. Dle uzlových potřeb je v této části uvažováno s napojením tří objektů. V tomto případě je navrženo osazení redukčních ventilů na domovní přípojky. Další redukce na rozvodné síti není vzhledem k počtu dotčených objektů navržena.



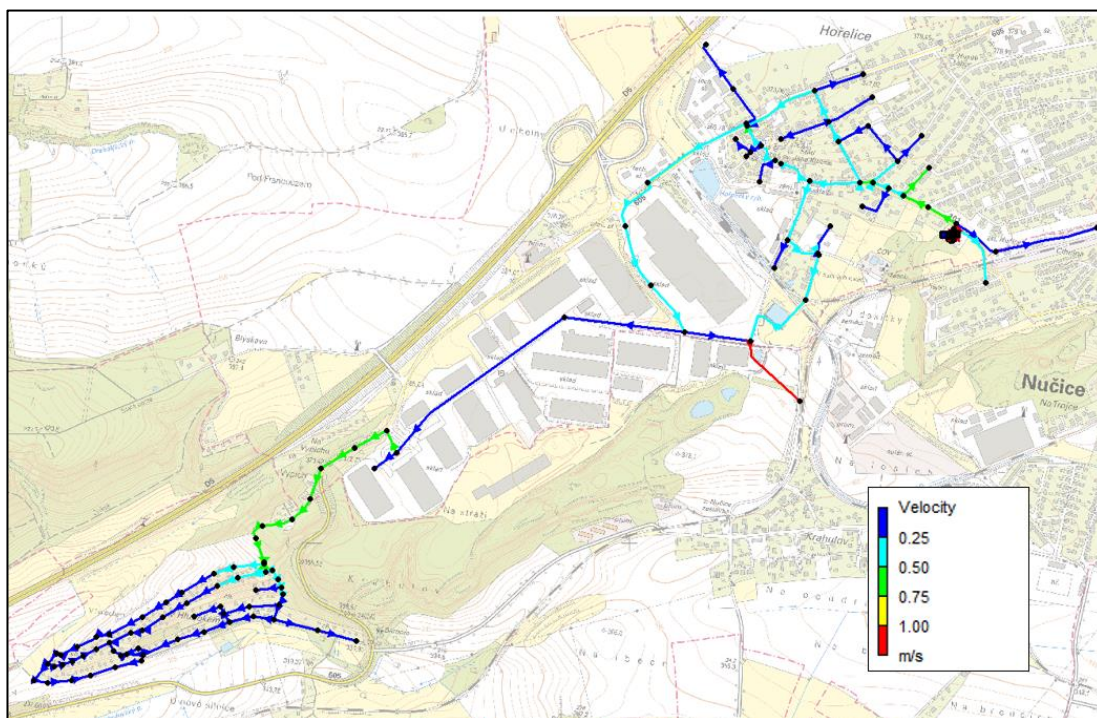
Obrázek 40: Maximální tlaky na síti, zatěžovací stav 2, varianta 1

4.7.1.3 Průtočné rychlosti

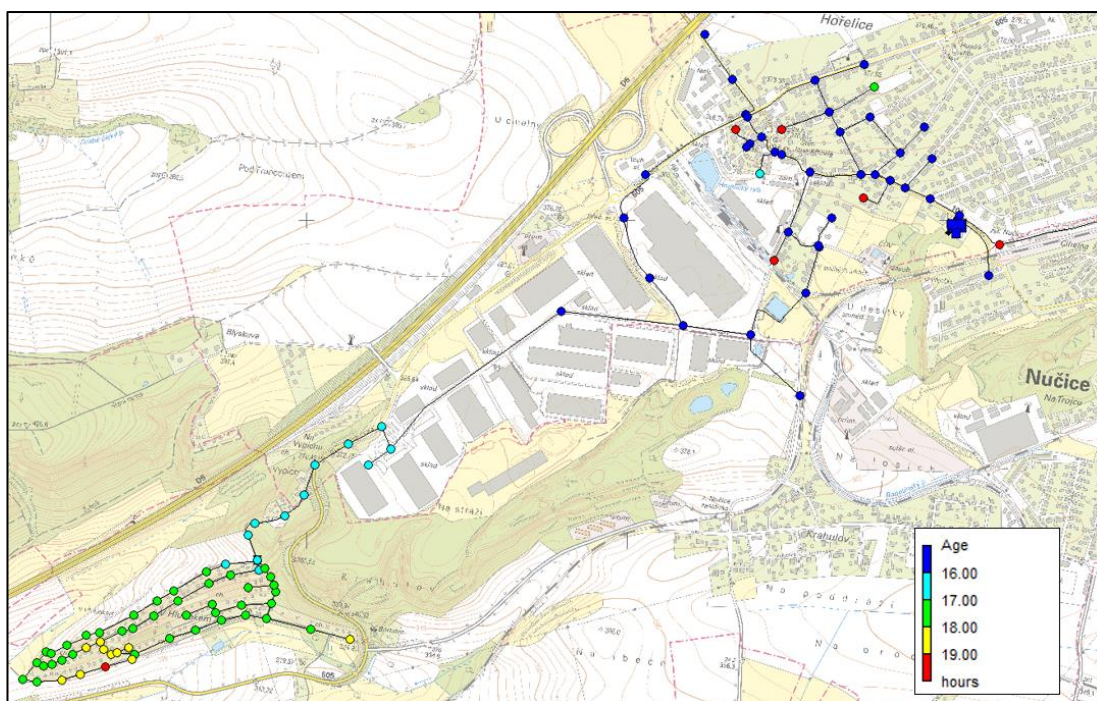
Zokruhování sítě má za následek lepší cirkulaci vody, dojde ovšem ke snížení průtočných rychlostí v potrubí, a tudíž i prodloužení doby zdržení. Obrázek 41 ukazuje maximální průtočné rychlosti na síti. Jedná se o večerní špičku v 19:00 při největších odběrech. Normou ČSN EN 805 jsou doporučené rychlosti dosaženy pouze na příváděcím řadu. Ve spotřebišti vlivem větvení proudění a nízkých odběrů budou rychlosti výrazně nižší. Červeně vyznačený úsek potrubí s vysokou průtočnou rychlostí představuje propojovací potrubí mezi obcemi Rudná a Nučice. Návrh okruhů však přispěje k lepší cirkulaci vody v síti. Obrázek 42 zobrazuje dobu zdržení vody v síti pro zatěžovací stav 2 v čase 20:00, tedy 20 hodin od počátku simulace a hodinu po



večerní špičce odběrů. Patrná je delší doba zdržení v koncových uzlech jednotlivých větví a dále v centrální části spotřebišť.



Obrázek 41: Maximální průtočné rychlosti, zatěžovací stav 2, varianta 1



Obrázek 42: Doba zdržení vody v síti, zatěžovací stav 2, varianta 1.

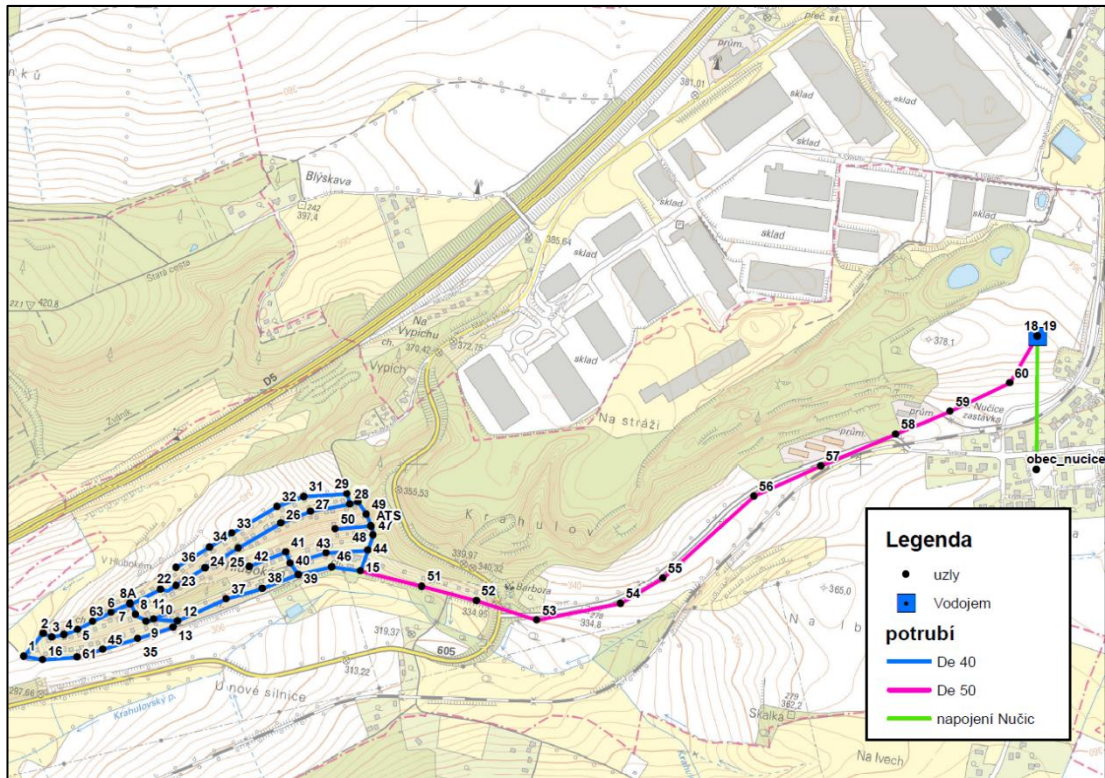


4.7.2 Varianta 2 – napojení z nově plánovaného vodojemu v Nučicích

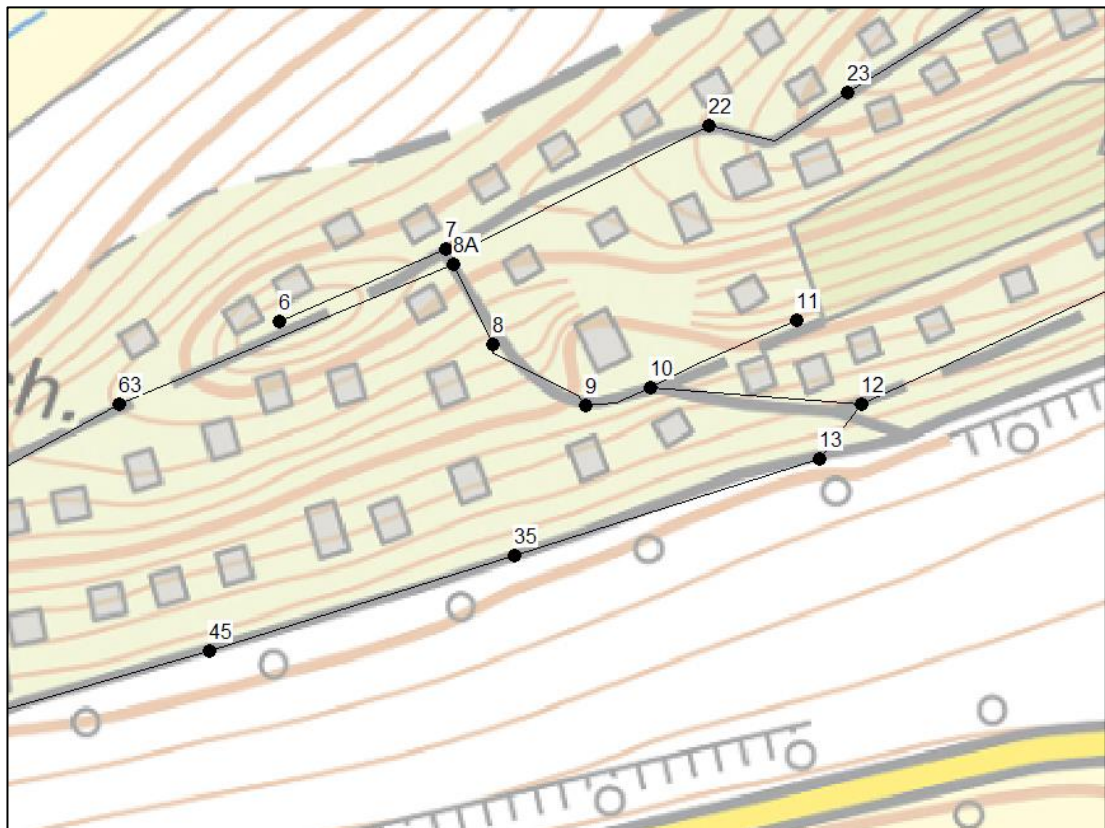
4.7.2.1 Navržená síť

Varianta uvažuje napojení na nově plánovaný vodojem nad obcí Nučice. Obrázek 43 vyobrazuje uvažované dimenze potrubí a označení výpočetních uzlů. V modelu jsem zohlednil odběr obcí Nučice z plánovaného vodojemu zjednodušeně pomocí bodového odběru, neboť doprava vody bude z vodojemu zajišťována nezávislým potrubím. Při optimalizaci sítě z hlediska tlaků bylo nutné provést zásah do základní okružové koncepce řadů ve spotřebišti. Vzhledem k napojení do jihovýchodní části spotřebišť a geodetickému rozdílu mezi navrženými hladinami vodojemu a spotřebišťem je nutné posílit tlaky v nejvyšších bodech spotřebišť pomocí automatické tlakové stanice. Umístění ATS je navrženo na západním okraji spotřebišť před odbočkou k uzlu č. 50, což má za následek rozdělení chatové oblasti do dvou tlakových pásem a rozpojení okruhů v severní části. Toto řešení je z dlouhodobého hlediska hospodárnější než osazení centrální ATS před celým spotřebišťem z důvodu menšího čerpaného množství. Tento návrh dále podporuje skutečnost, že řady, které jsou vlivem rozdělení do dvou tlakových pásem nezokruhané, zajišťují přívod vody do oblasti s největší hustotou zástavby (viz. Obrázek 36).

Podrobné pokrytí morfologických podmínek zájmové lokality výpočetními uzly dále při výpočtu pomohlo zajistit odpovídající tlakové poměry i pro menší výškové rozdíly. Z tohoto důvodu je nutné uzlu č. 6 zásobovat z horního tlakového pásma, neboť leží na ostré lokální kótě a při napojení z dolního tlakového pásma není možné zajistit minimální tlak 15 m. v. sl. po celou dobu simulace. Obrázek 44 podrobně ukazuje situaci uvažovaného propojení v centrální části spotřebišť. Uzly 6,7,22 a 23 jsou napojeny z horního tlakového pásma s posilovací ATS, zatímco spodní tlakové pásmo je tvořeno uzavřeným okruhem – uzly 63, 8A, 8 a 9. Novému rozložení je uzpůsobeno odebírané množství.



Obrázek 43: Uvažované dimenze potrubí a ID výpočetních uzlů ve variantě 2



Obrázek 44: Detail uvažovaného propojení centrální části spotřebišť ve variantě 2



4.7.2.2 Tlakové poměry

Automatická tlaková stanice

V této variantě je na síti navržena ATS, která zajišťuje požadované minimální tlaky pro nejvýše položené objekty. Její umístění je zvoleno před odbočkou k uzlu č. 50, kde není vzhledem k navrženým hladinám vodojemu už možné zajistit požadované přetlaky gravitačně. Ačkoliv je zde řad veden v prudkém svahu, její umístění bude možné zrealizovat na rovných plochách na konci ulic, které jsou využívány jako parkoviště (Obrázek 45). V modelu jsem ATS simuloval jako čerpadlo se zadáním jednoho bodu pro Q-H křivku a redukčního ventilu typu PRV, aby tlakové výšky dále po síti vyhověly oběma zatěžovacím stavům. Průtok se pak v tomto úseku pohybuje od 0,04 do 0,44 l/s dle zatěžovacího stavu a dle nerovnoměrnosti odběru. Následný ventil PRV pak zajišťuje nepřekročení maximálního výstupního tlaku 45 m v.sl.

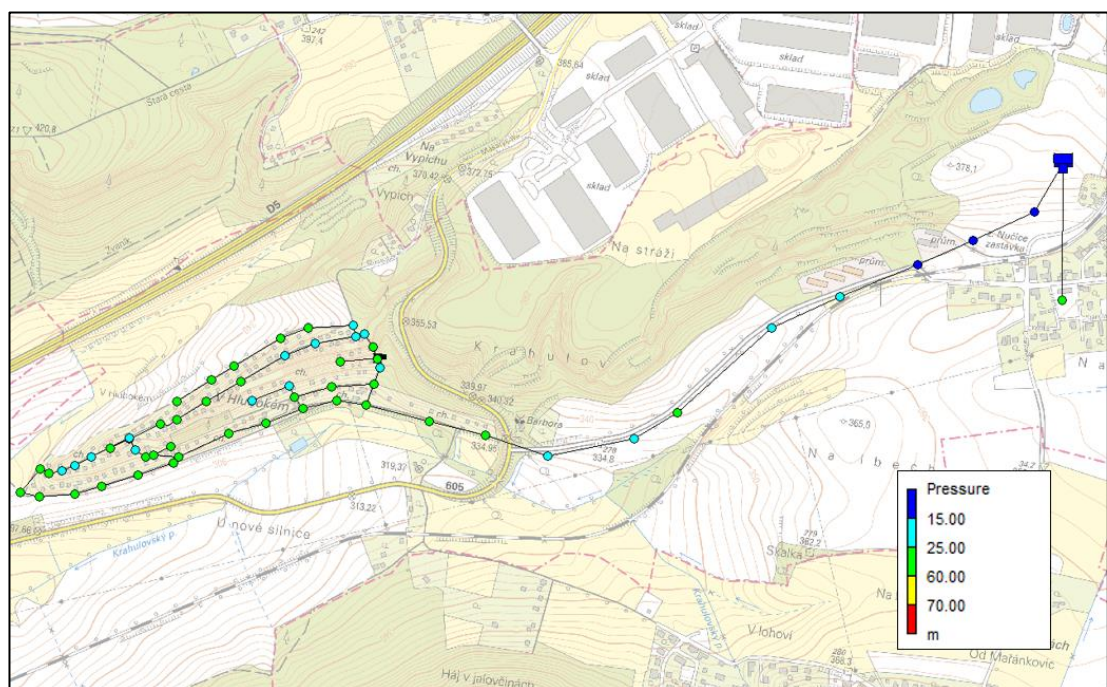


Obrázek 45: Situace v místě navržené ATS .



Minimální tlakové výšky

Napojení na plánovaný vodojem Nučice s již navrženými hladinami dle studie [40] vyvolá po síti místa s minimálními tlaky v rozmezí 15–25 m v.sl. v období večerní špičky odběru. V případě ATS je obdobně jako ve variantě 1 možné v nejvýše položených objektech toto rozmezí tlaků považovat za dostatečné, neboť se v těchto místech nachází zástavba do dvou podlaží. Ostatní místa na síti byla při terénním průzkumu prověřena a byla zjištěna rovněž zástavba do dvou podlaží, kde je výsledné rozpětí tlakových výšek dostačující. V této souvislosti považuji za důležité upozornit, že v případě výhledové změny zástavby na rodinné domy je uvažováno, že jejich výška nepřesáhne dvě podlaží.

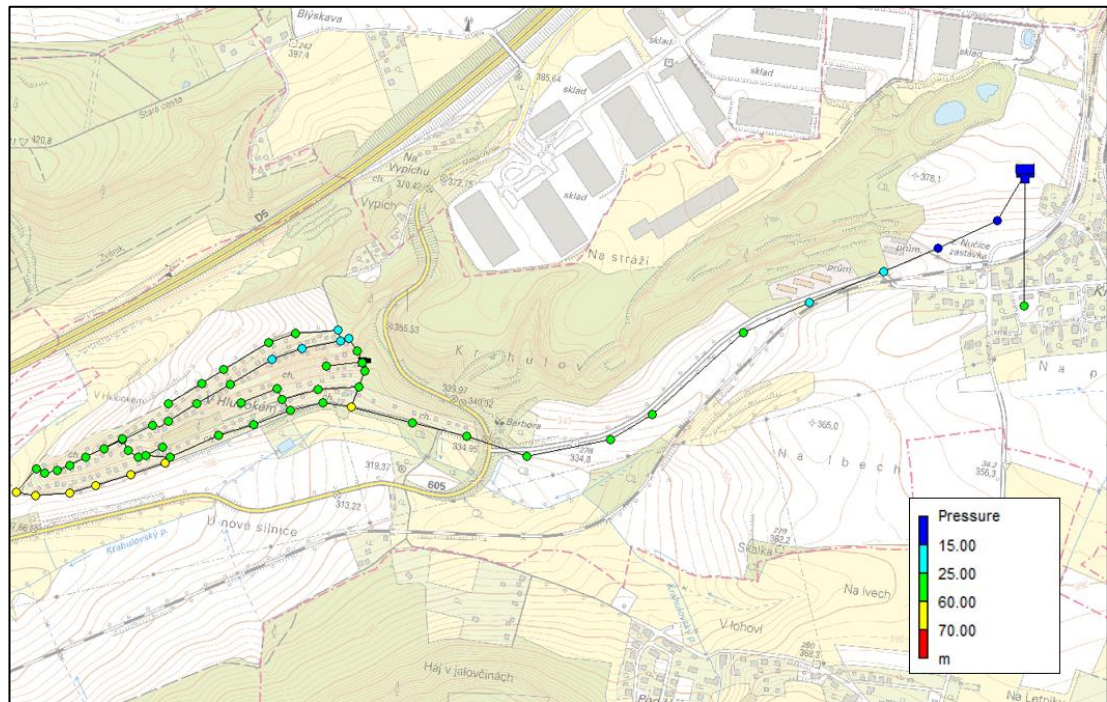


Obrázek 46: Minimální tlaky na síti, zatěžovací stav 1, varianta 2



Maximální tlakové výšky

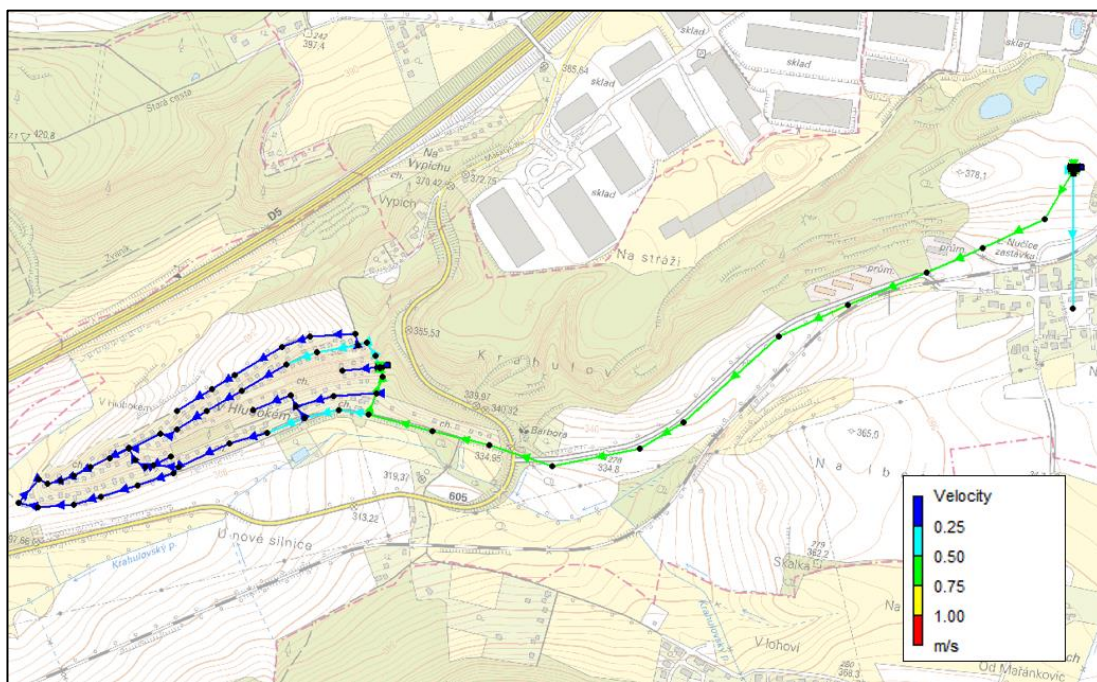
Největší tlakové výšky nastávají na navržené síti v nočních hodinách. Nikde nedojde k překročení tlaků nad hodnotu 70 m v.sl. , a tudíž odpadá nutnost osazovat redukční ventily pro domovní přípojky. Hodnoty v rozpětí 60-70 m v. sl. se vyskytují u nejnižše položených objektů obou tlakových pásem a je možné je zdůvodnit celkovou koncepcí návrhu, kdy není možné zajistit redukcí tlakových výšek do optimálního intervalu.



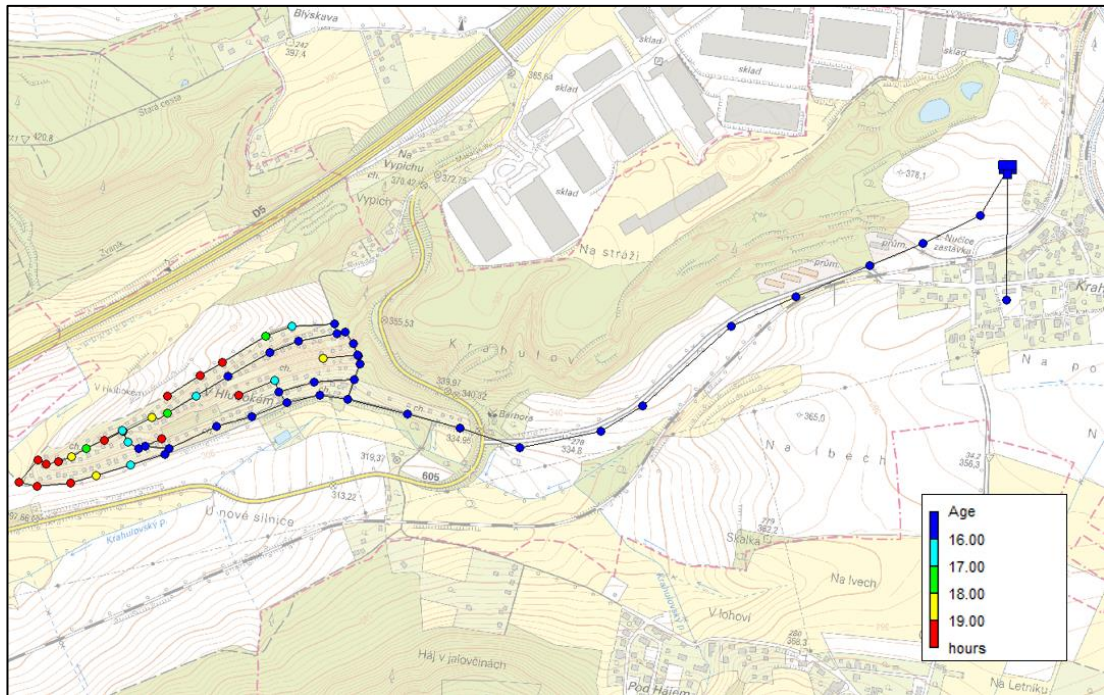
Obrázek 47: Maximální tlaky na síti, zatěžovací stav 2, varianta 2

4.7.2.3 Průtočné rychlosti

Doporučené hodnoty dle [2] je možné zajistit na přiváděcím řadu a dále na odbočce vedoucí k samostatným větvím do severní, nejvýše položené části chatové osady, což dokládá skutečnost, že je zde největší koncentrace zástavby. Ve zbylé části spotřebiště jsou rychlosti vlivem nízkých odběrů a rozložení průtoků do více řadů velmi malé i v okamžiku maximálního zatížení sítě. Vzhledem k bližší vzdálenosti vodojemu ke spotřebišti oproti variantě 1 je doba zdržení v síti kratší. Rozpojení okruhů v severní části má za následek delší dobu zdržení v koncových uzlech jednotlivých větví, zejména pak uzlu č.6. Ve spodním okruhu je nejdelší doba zdržení pro nejzápadněji situované objekty kvůli vzdálenosti od vodojemu. Obrázek 49 pak vyobrazuje dobu zdržení v síti v 7 hodin ráno tzn. 31 hodin od počátku simulace. Z důvodu napojení přiváděcího řadu do východní části spotřebiště k největší době zdržení dochází v západní části chatové osady „V Hlubokém“ a dále v koncových uzlech samostatných větví, kde jsou odběry minimální.



Obrázek 48: Maximální průtočné rychlosti na síti, zatěžovací stav 2, varianta 2



Obrázek 49: Doba zdržení vody v síti, zatěžovací stav 2, varianta 2.

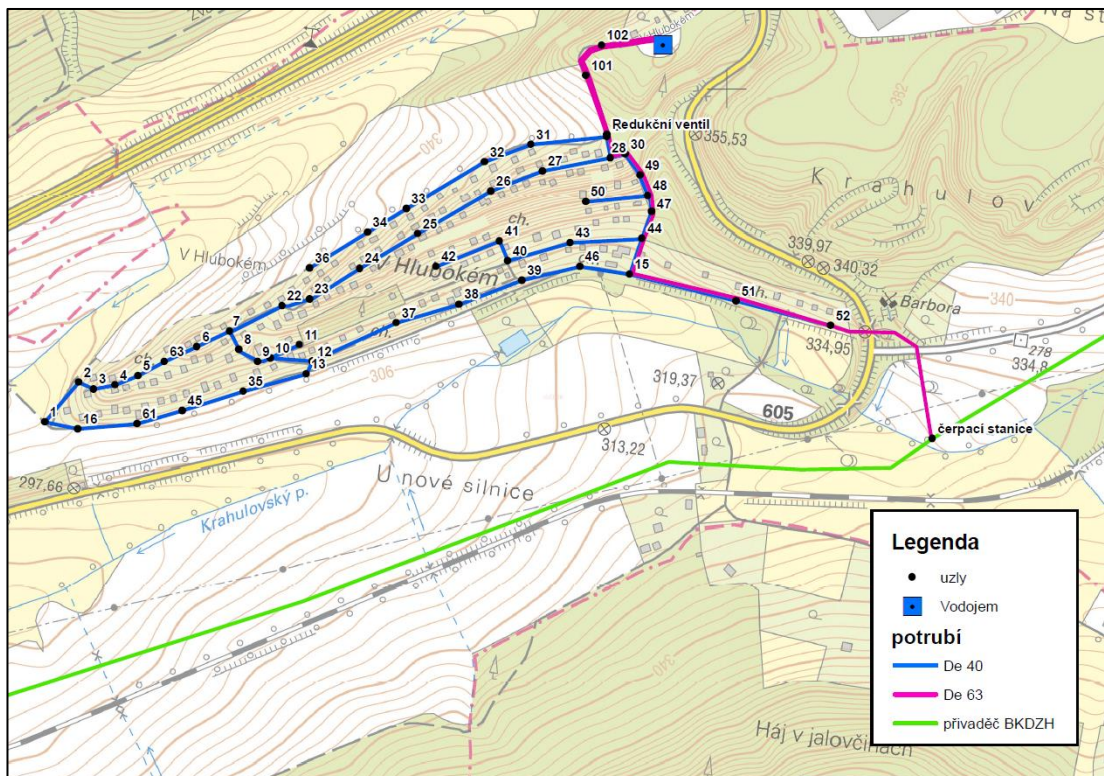


4.7.3 Varianta 3 – napojení z oblastního přivaděče BKDZH

4.7.3.1 Navržená síť

Varianta 3 je návrh napojení chatové osady „V Hlubokém“ přímo z oblastního přivaděče BKDZH, odkud bude voda čerpána samostatným výtlačným řadem do vlastního vodojemu, který bude umístěn nad spotřebišťem. Z důvodu minimálního převýšení vodojemu nad spotřebišťem je přivaděcí řad z vodojemu do spotřebišť navržen v dimenzi De 63, neboť menší vnitřní průměr by vlivem vyšších ztrát třením nezajistil minimální tlaky v nejvyšších bodech spotřebišť.

Vzhledem ke stejnému místu napojení spotřebišť na přivaděcí řad z vodojemu a tím pádem téměř totožné koncepci sítě s variantou 1, jsem variantu 3 upravil tak, že došlo k rozpojení vybraných okruhů. Toto řešení vede ke snížení délky tras a dílčím cílem je tak zjistit zároveň rozdíl v tlakových a průtokových charakteristikách oproti variantě 1. Není uvažováno propojení mezi uzly 36 a 2, kdy je nutné vést řad v dlouhé trase bez přípojky. Dále není uvažováno s propojením mezi uzly 39 a 40. Uzly 40–44 nyní tvoří samostatnou větev. Toto řešení je výhodnější, neboť při obráceném přístupu tzn. rozpojení úseku mezi uzly 43–44 by bylo nutné tuto oblast větvit do dvou samostatných větví se dvěma koncovými uzly. Obrázek 50 vykresluje navrženou síť včetně průměrů potrubí a označení uzlů.



Obrázek 50: Uvažované dimenze potrubí a ID výpočetních uzlů ve variantě 3



Čerpání do vodojemu

Dimenze výtlačného řadu je navržena s uvážením ČSN 75 5301 vodárenské čerpací stanice. Průtočná rychlost se pohybuje okolo 0,45 m/s. Menší dimenze by způsobila vyšší ztráty a vyšší dopravní výšku čerpání, což by se v budoucnu projevilo vyššími provozními náklady. Čerpání je v modelu nastaveno pomocí podmínek na noční hodiny od 22:00 do 7:00 hodin z důvodu hospodárnějšího provozu. Q-H charakteristika čerpadla je do modelu zadána jako jednobodová a softwarem extrapolována dle vztahu (4.7.3.1):

$$H = 66.67 - 2,894Q^2 \quad (4.7.3.1)$$

Čerpané množství do vodojemu se pak pohybuje v rozmezí 1,25-1,36 l/s dle aktuální hladiny ve vodojemu a tím pádem dopravní výšky.

Návrh nového Vodojemu

Vodojem je navržen jako zemní nad spotřebišťem, které odtud bude zásobeno gravitačně. Toto řešení sice bude představovat realizaci samostatného nového vodojemu, ale provozně je výhodnější nežli čerpání vody přímo do spotřebiště.

Navržené hladiny vodojemu jsou 382,0/380,0 m n.m. Toto rozpětí hladin zároveň zajistí minimální tlaky pro nejvýše položené objekty.

Celkový objem se skládá z objemu provozního a objemu pro překlenutí poruchy. S objemem pro zásobu požární vody jsem neuvažoval, protože nový vodovod pravděpodobně nebude plnit požární funkci. V lokalitě je vybudována otevřená požární nádrž. Provozní objem jsem stanovil zjednodušeně s využitím matematického modelu tak, aby se vodojem v denním cyklu plnil a prázdnil v celém svém rozsahu při zatížení většími odběry zatěžovacím stavem 2. Zjištěný provozní objem je 39,27 m³.

Objem pro překlenutí poruchy V_{por} je vypočten ze vztahu (4.7.3.2):

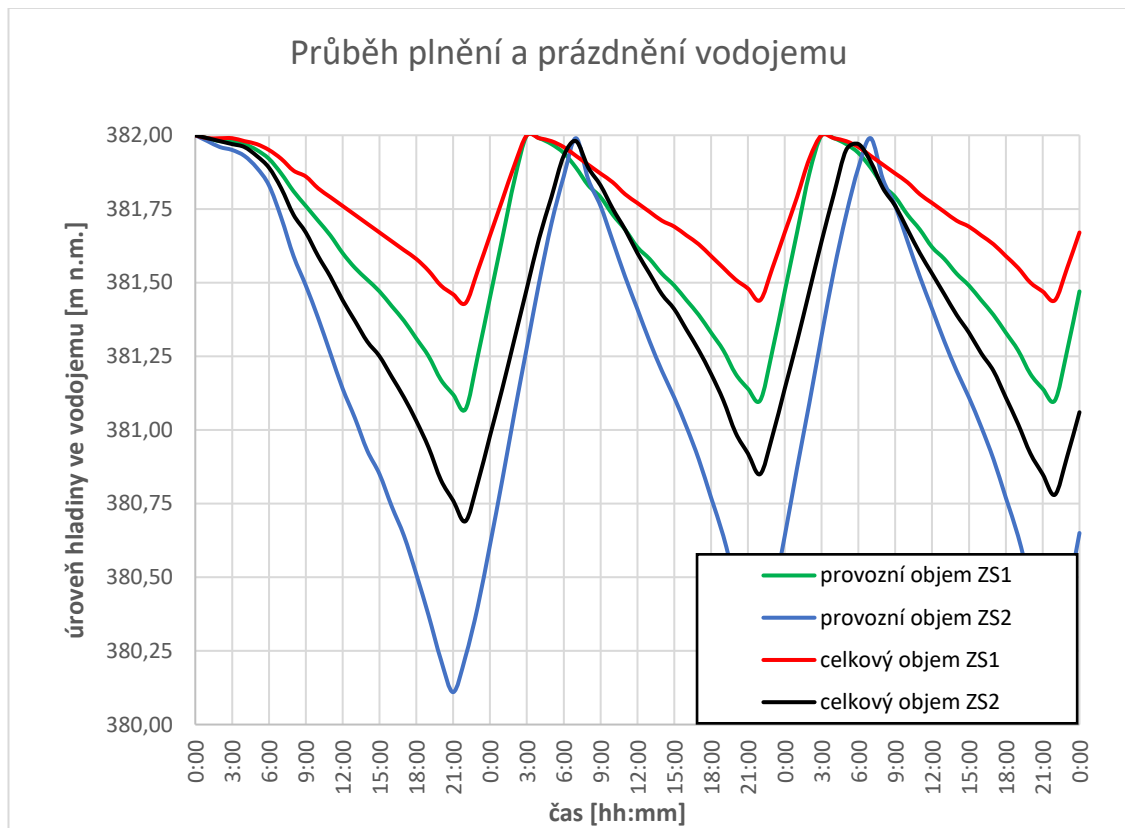
$$V_{por} = TQ_{max,d} \quad (4.7.3.2)$$

Kde:

T	Doba nutná pro opravu poruchy, uvažováno 8 hodin
$Q_{max,d}$	Maximální denní průtok, stanoveno 62,42 m ³ /den dle rovnice (3.1.1.1)

Objem pro překlenutí poruchy je tedy 20,808 m³. Celkový objem navrženého vodojemu a zadaná hodnota do modelu je 60,07 m³.

Obrázek 51 zobrazuje periody plnění a prázdnění navrženého vodojemu pro zatěžovací stav 1 – ZS1 (stávající zástavba) a zatěžovací stav 2 – ZS2 (výhledová zástavba). Do obrázku je vykreslen průběh plnění a prázdnění jak pouze provozního objemu, tak zároveň celkového objemu. Patrné je noční čerpání pro zajištění přítoku. Z obrázku vyplývá, že provozní objem vodojemu se nebude při stávajícím stavu prázdnit v celém svém objemu. Z tohoto důvodu trvá dočerpání vody do vodojemu v noci podstatně kratší dobu a plného stavu se dosáhne o 4 hodiny dříve, než je uvažovaná doba čerpání. Parametry jsou navrženy zejména pro zatěžovací stav 2, kdy nárůst odběrů ve spotřebišti zapříčiní plné využití objemu a čerpání bude probíhat pro celou dobu.



Obrázek 51: Průběh plnění a prázdnění nově navrženého vodojemu pro oba zatěžovací stavy

4.7.3.2 Tlakové poměry

Návrh redukčního ventilu

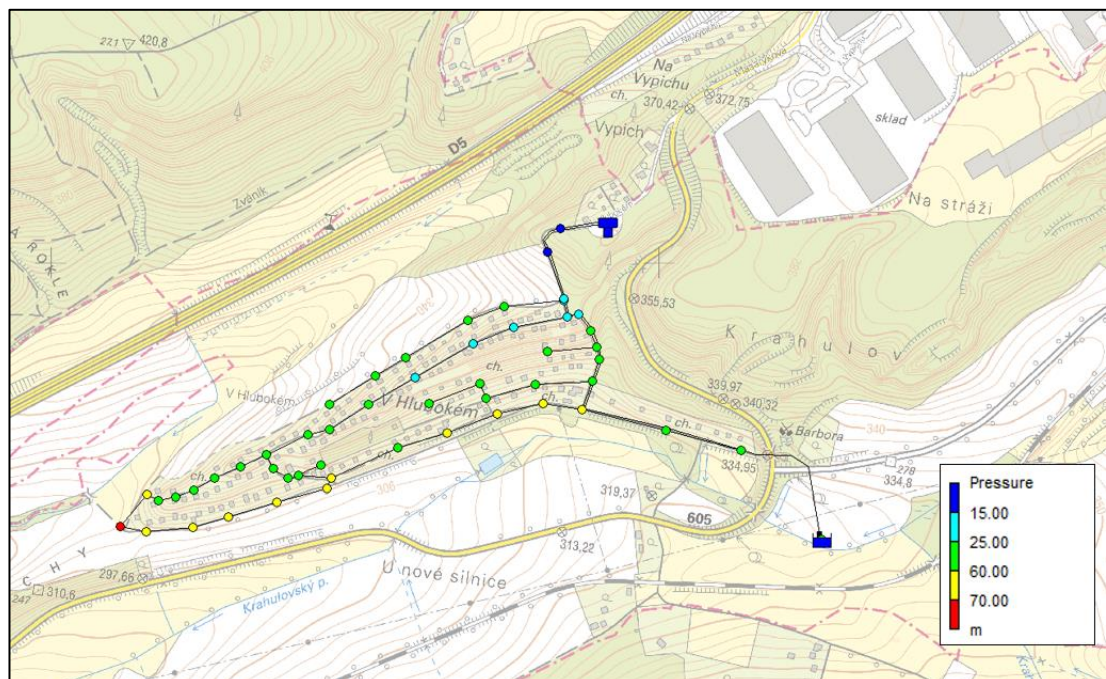
Na síti je navržen redukční ventil na příváděcím řadu z vodojemu do spotřebišť. Výstupní tlak je navržen na hodnotu 17,25 m v. sl. což je o 0,5 m v. sl. vyšší hodnota než ve variantě 1. Nyní je spodní část spotřebišť od redukčního ventilu propojena pouze dvěma úseky, což způsobí vyšší průtoky a tím pádem ztráty třením. Nižší hodnota by nezajistila dostatečný tlak pro uzly č. 26 a 27. Rozmezí tlaků před ventilem se pohybuje mezi 17,25-20,50 m v.sl. Návrh je tedy proveden spíše za účelem vyhlazení průběhu výstupního tlaku, neboť dále po síti v nejnižších bodech by bez něj



vlivem noční stagnace odběrů tlak přesahoval 70 m.v.sl a jednalo by se již o nezanedbatelný počet objektů, kde se nejeví jako efektivní řešit příliš vysoký tlak až na domovní přípojce.

Minimální tlakové výšky

Rozložení minimálních tlaků ve variantě 3 je velmi podobné s variantou 1 (Obrázek 39) z důvodu stejného bodu napojení a stejných odběrů. Minimální tlaky je možné očekávat v oblasti za redukčním ventilem ve výhledovém zatěžovacím stavu. V této části lokality se jedná pouze o zástavbu do dvou podlaží, a proto je uvažováno s minimální tlakovou výškou 15 m v. sl. Současně se jedná i o geodeticky nejvýše položené objekty, dále na síti jsou minimální tlaky bezpečně zajištěny vlivem výrazného výškového rozdílu.

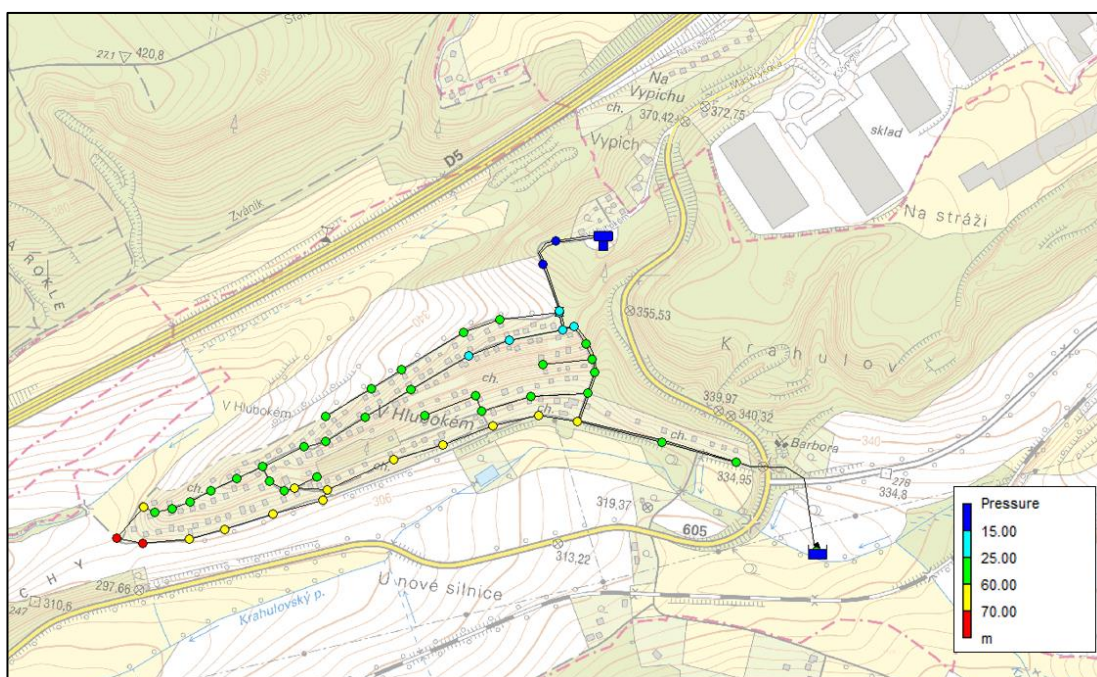


Obrázek 52: Minimální tlaky na síti, zatěžovací stav 2, varianta 3



Maximální tlakové výšky

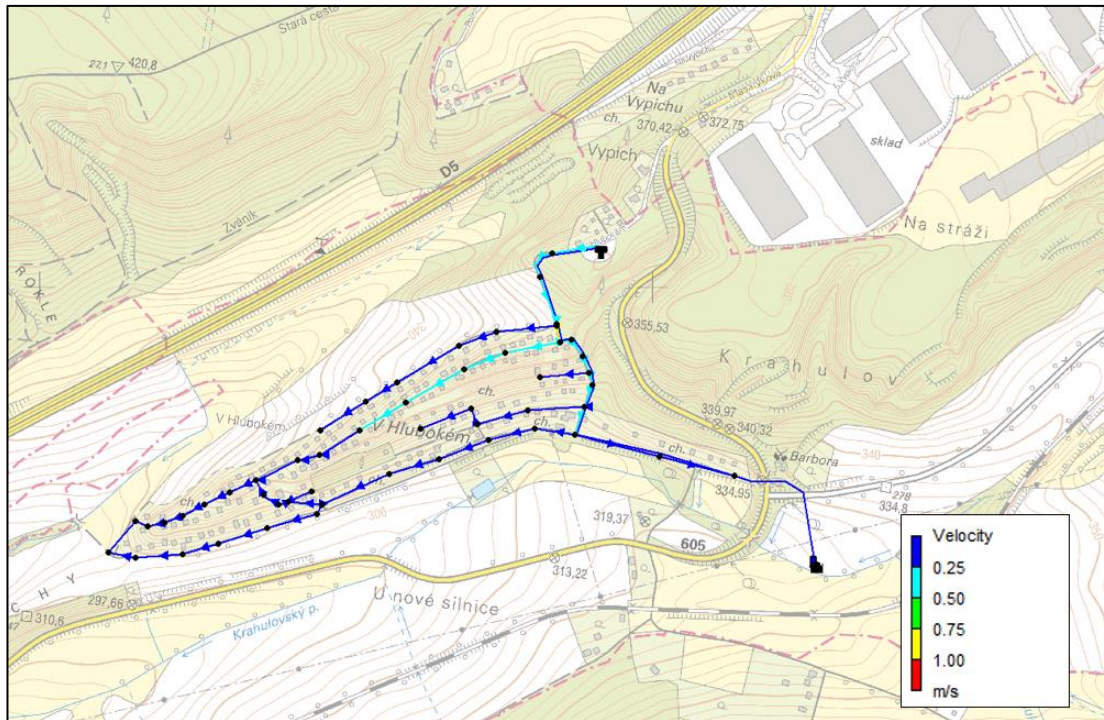
Maximální tlaky na síti jsou rozloženy obdobně jako ve variantě 1. Tlaková výška u objektů ležících na jižním úpatí hřebene přesahuje 60 m v.sl. Rozdělení spotřebišť do více tlakových pásem pomocí druhého redukčního ventilu by v tomto případě znamenalo významný zásah do koncepce zokruhování sítě a nebylo by hospodárné. V jihozápadní části lokality (výpočetní uzly 1 a 16) bude tlak v nočních hodinách vyšší 70 m v.sl. Dle uzlových potřeb je v této části uvažováno s napojením tří objektů. V tomto případě je navrženo osazení redukčních ventilů na domovní přípojky.



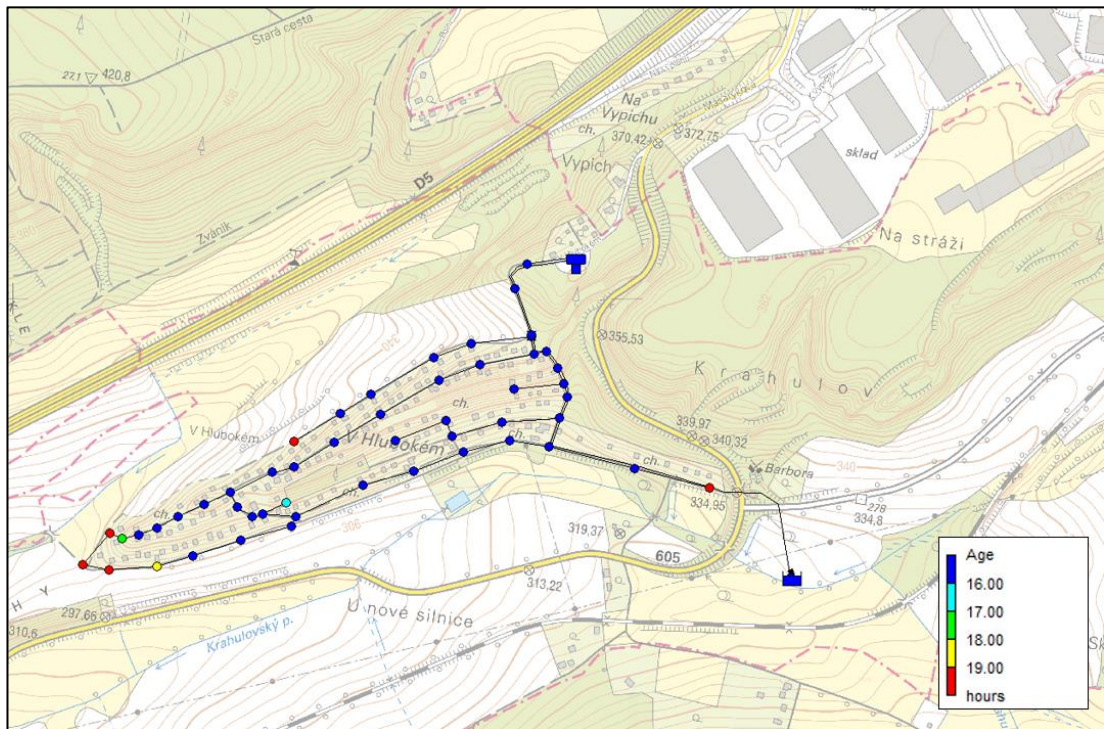
Obrázek 53: Maximální tlaky ve spotřebišti, zatěžovací stav 1, varianta 3

Průtočné rychlosti

Maximální průtočné rychlosti jsou obdobně s ostatními variantami nízké. Rozpojení severního zokruhování a koncentrace průtoků pro západní část chatové osady pouze do dvou úseků nevede k významným změnám oproti variantě 1. Důvodem jsou příliš nízké odběry ve spotřebišti. Nejvyšší rychlosti nastávají v době večerní špičky (19:00), kdy zároveň ovšem nedochází k čerpání do vodojemu. Na stagnaci proudění jsou nejnáchylnější koncové uzly samostatných větví a západní nejnižše položená část spotřebišť. Obrázek 55 ilustruje tuto skutečnost.



Obrázek 54: Maximální průtočné rychlosti na síti, zatěžovací stav 2, varianta 3



Obrázek 55: Doba zdržení vody v síti, zatěžovací stav 2, varianta 3



5. Vyhodnocení

5.1 Tlakové poměry na síti

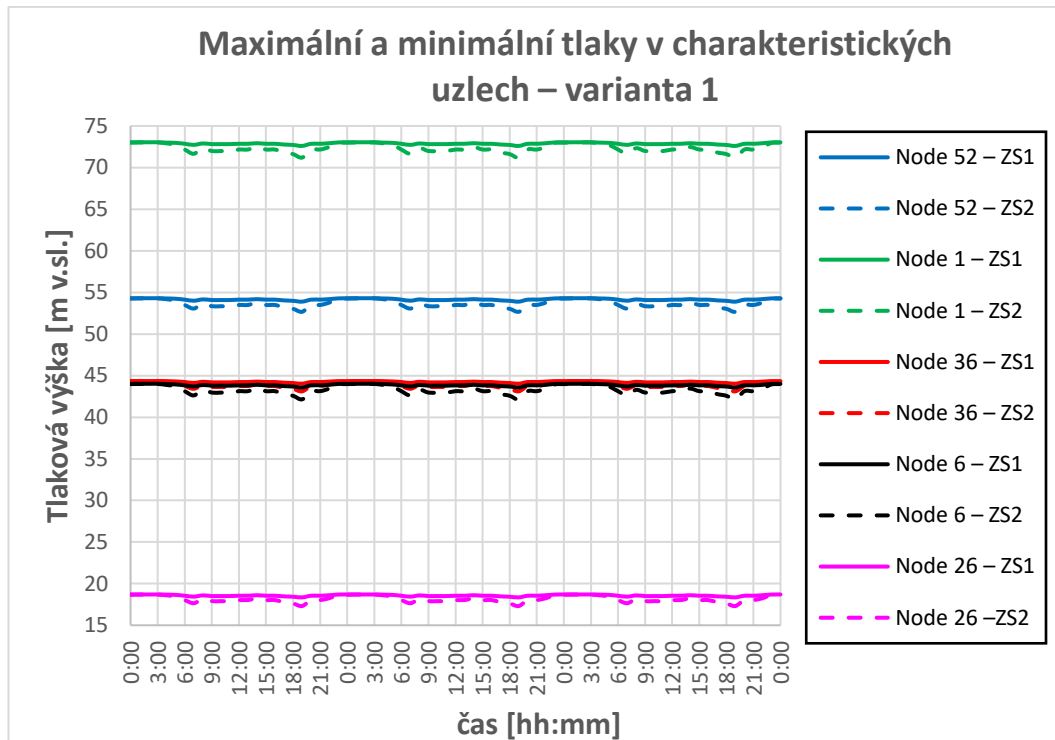
Pro porovnání tlakových poměrů, které nastanou na síti v jednotlivých variantách napojení je vybráno 5 charakteristických uzlů ve spotřebišti. Označení a umístění uzlů je shodné ve všech variantách (viz. např. Obrázek 38). Jedná se konkrétně uzly:

- Node 52
 - Uzel 52 situovaný na okraji jihovýchodní části spotřebišť. Ve variantě 2 je sem napojen přiváděcí řad z vodojemu.
- Node 1
 - Uzel 1 je geodeticky nejnižším uzlem ve spotřebišti. Nachází se na západním okraji chatové osady.
- Node 36
 - Uzel 36 se nalézá na nejsevernější větvi (Varianty 2 a Varianta 3) respektive okruhu (Varianta 1). Jedná se o poslední uzel, ze kterého jsou uvažovány odběry v severní ulici.
- Node 6
 - Uzel 6 je umístěn na výrazné terénní vyvýšenině v západní části řadu vedoucím po hřebeni. Ve variantě 2 je tento uzel napojen z horního tlakového pásma.
- Node 26
 - Uzel 26 je jedním z nejvýše položených uzlů ve spotřebišti. Při návrhu byl právě tento uzel nejproblematictější z hlediska dodržení minimální tlakové výšky. V případě variant 1 a 3 zároveň leží v blízkosti napojení spotřebišť.

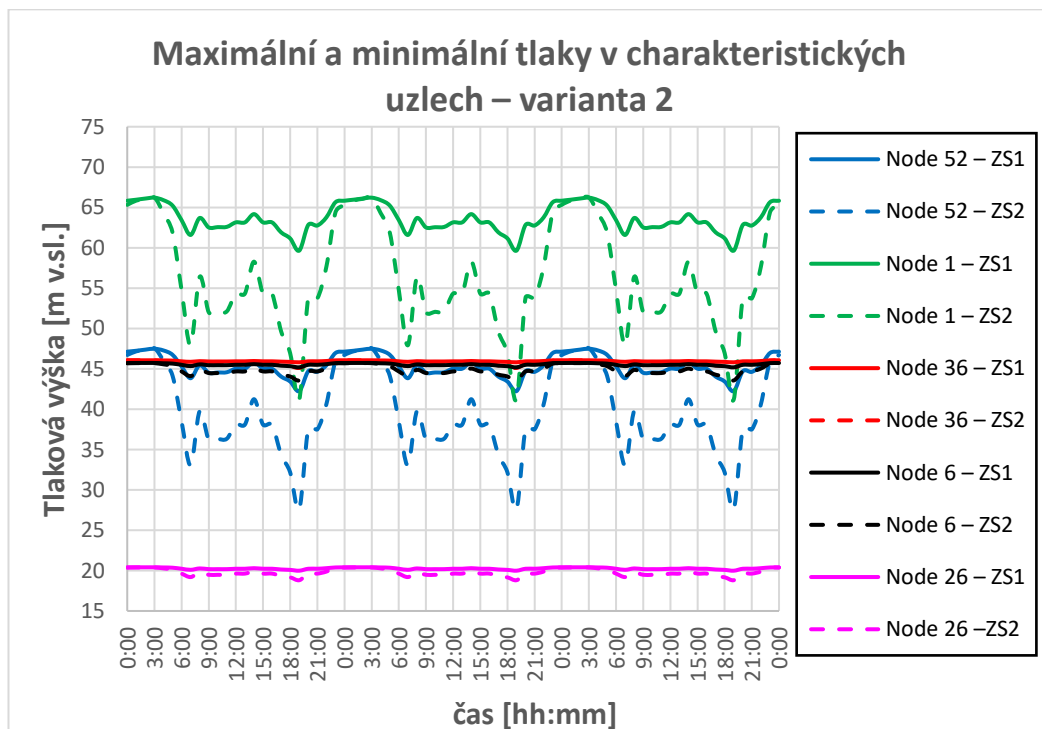
Obrázek 56, Obrázek 57 a Obrázek 58 zobrazují průběh tlaků v těchto uzlech po dobu simulace. Minimální tlaky nastávají při zatěžovacím stavu 2 (ZS2), který představuje výhledový charakter zástavby s vyššími odběry. Vyšší odběry způsobí vyšší hydrodynamické ztráty. Největší rozdíl oproti zatěžovacímu stavu 1 (ZS1) – stávající chatová zástavba, je patrný v době denních špiček, tedy okolo 7:00 ráno a v 19:00 večer. V nočních hodinách, kdy jsou odběry minimální je průběh tlaků pro oba zatěžovací stavy téměř totožný.

Rozdíly v průběhu tlakových výšek jsou v jednotlivých variantách způsobeny celkovou koncepcí sítě. Vliv má umístění napojení, zokruhování a přítomnost objektů pro úpravu tlaku na síti.

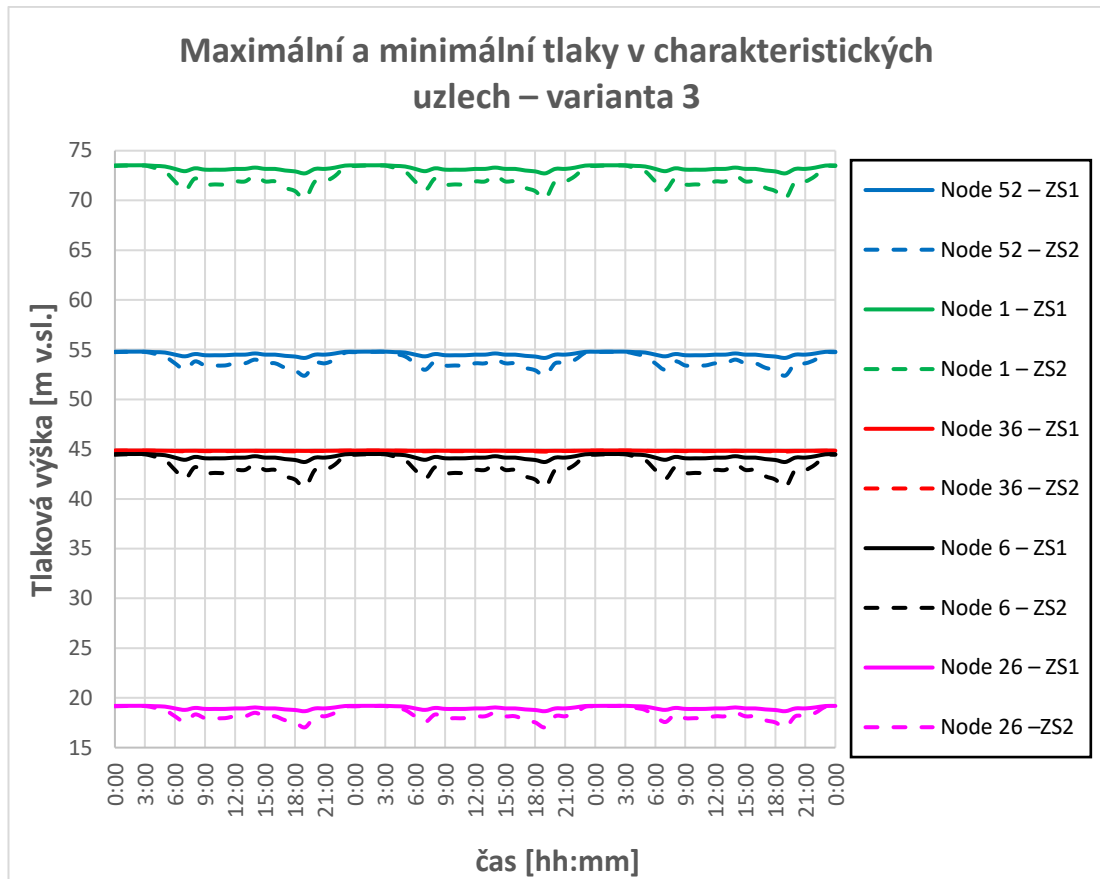
Obecně dále platí, že ačkoliv jsou si varianty 1 a 3 koncepčně podobné, hlavní rozdíl, který spočívá v rozpojení dvou okruhů se na síti (podrobně kapitola 4.7.3.1) se v konečném důsledku projeví v průběhu tlakových výšek zcela minimálně.



Obrázek 56: Minimální a maximální tlaky v charakteristických uzlech – varianta 1



Obrázek 57: Minimální a maximální tlaky v charakteristických uzlech – varianta 2



Obrázek 58: Minimální a maximální tlaky v charakteristických uzlech – varianta 3

5.1.1 Porovnání tlakových poměrů

- Node 52
 - Průběh tlaků v uzlu 52 vyhovuje ve všech variantách a zatěžovacích stavech intervalu tlakových výšek. Velká rozkolísanost ve variantě 2 je daná skutečností, že se v tomto případě jedná o vstupní uzel spotřebiště a gravitačně z vodojemu zde protéká celková potřeba vody pro chatovou osadu. Ve variantě 1 a 3 je tomuto uzlu předřazen po síti od vodojemu redukční ventil a jedná se o koncový uzel samostatné větve. Z tohoto důvodu jsou fluktuace tlaků minimální.
- Node 1
 - V uzlu 1 nastávají ve všech případech nejvyšší tlaky v nově navržené síti pro rozvod pitné vody v chatové oblasti „V Hlubokém“. Tlaky přesahují 60 m. v. sl. V návrhu není z důvodu hospodárnosti uvažováno s dalšími redukčními ventily na síti. V případě varianty 1 a 3 se dále počítá s osazením redukčních ventilů přímo na domovních přípojkách. Rozkolísanost je v těchto variantách malá z důvodu navrženého redukčního ventilu na příváděcím řadu z vodojemu.
- Node 36
 - Tlakové výšky se pohybují ve všech variantách i zatěžovacích stavech v optimálních hodnotách a zároveň jsou minimálně rozkolísané. Malá



rozkolísanost je daná blízkostí k redukčnímu ventilu (varianta 1 a 3) nebo automatické tlakové stanice (varianta 2). Minimální rozkolísanost je také ovlivněna malým průtočným množstvím. Z tohoto důvodu je průběh ve variantě č.3 pro oba zatěžovací stavy téměř totožný, neboť se jedná o samostatnou větev hned za redukčním ventilem na přívaděči z vodojemu.

- Node 6
 - V uzlu 6 lze pro všechny varianty očekávat podobný průběh tlakových výšek, neboť směr hlavního přívodu vody je ve všech případech totožný a je ovlivněn výstupními tlaky z redukčního ventilu, respektive automatické tlakové stanice. U uzlu 6 je zároveň patrný rozdíl průběhu tlaků, kterým se projeví rozpojení severního okruhu. Ve variantě 3 jsou prostředním řadem po hřebeni převáděny větší průtoky, a tudíž je rozkolísanost ztelnější. Rozdíl oproti plně zokruhované variantě 1 je nejvýše o přibližně 2 m což lze označit za zanedbatelné.
- Node 26
 - Uzel 26 se vyznačuje nejnižšími tlaky ve spotřebišti. Tlaky ale oscilují s minimální amplitudou vlivem těsné blízkosti k redukčnímu ventilu nebo ve variantě 2 k automatické tlakové stanici. Tlakové výšky zde dosahují hodnot mezi 17 a 20 m v.sl. V této souvislosti je třeba poznamenat, že v tomto prostoru se vyskytuje zástavba do dvou nadzemních podlaží. Tato výška je předpokládána i ve výhledovém stavu.

5.2 Hrubé stanovení investičních nákladů

Součástí vyhodnocení návrhů je i hrubé stanovení investičních nákladů. Předběžně stanovená cena bude dalším parametrem, který má vliv na výsledné porovnání a závěrečné doporučení.

Primárním podkladem pro stanovení investičních nákladů je ceníková publikace „Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury v poslední dostupné aktualizaci z roku 2021, zpracovaná Ústavem územního rozvoje spadajícího pod Ministerstvo pro místní rozvoj ČR [43]. Ceny uváděné v této publikaci jsou bez DPH. Dále jsem nahlížel do Metodického pokynu Ministerstva zemědělství Čj.: 14000/2020-15132-1 [44]. Ceny uváděné v této publikaci jsou s DPH a pro další zpracování jsou tedy od DPH očištěny. Jednotlivé položky dále jsou porovnávány se současnými tržními cenami a případně empiricky upraveny. Ceny pro menší dimenze potrubí, než uvádí [43] jsou stanoveny lineární extrapolací.



Investiční náklady pro trubní vedení dle [43] zahrnují:

- Zemní práce:
 - Výkop
 - těžitelnost hornin: 40 % tř. 3, 50 % tř. 4 a 10 % tř. 5
 - hloubka krytí nad potrubím 150 cm + 10 cm na nerovnosti terénu
 - šířka rýhy je stanovena podle ČSN EN 1610
 - zřízení a odstranění pažení příložného hl. do 2 m
 - zpětný zásyp zeminou
 - lože pod potrubí z písku v tl. 10 cm
 - obsyp potrubí pískem 30 cm nad potrubí
 - odvoz přebytku výkopu do vzdálenosti 10 km, uložení na skládku
 - poplatek za uložení na skládku.
- Potrubí:
 - dodávka a montáž potrubí s podílem tvarovek a armatur, vč. spojů a těsnění
 - tlakové zkoušky vč. zabezpečení konců potrubí při tlakových zkouškách,
 - dezinfekce potrubí
 - identifikační vodič + PE páska s nápisem vodovod.

Údaje o cenách pro vodojem a čerpací stanice vycházejí z Metodického pokynu Ministerstva zemědělství a jsou odvislé od objemu vodojemu, respektive výkonu čerpací stanice.

V cenovém ukazateli pro výpočet ceny vodojemu jsou zahrnuty všechny základní objekty (nádrže, manipulační komora, přívodní potrubí, odběrné potrubí, výpustné potrubí, bezpečnostní přeliv, oplocení, příjezdová komunikace, rozvody elektrické energie technologického charakteru, elektrické zařízení – rozvaděče a ovládací systémy, zdvihací zařízení, trvalé porosty). [44]

V cenovém ukazateli pro výpočet ceny čerpacích stanic jsou zahrnuty všechny základní objekty, vybavení technologickým zařízením, příjezdná komunikace apod. Technologie pak představuje přibližně 50 % z celkových nákladů. [44]

Uváděné tabulkové hodnoty cen je nutné dle metodiky [44] dále ještě přenásobit koeficientem dle velikosti obce (polohovým koeficient) k . Pro chatovou oblast „V Hlubokém“ je uvažováno s $k=0,8$.



Pro cenový ukazatel je vztah pro určení výsledné ceny objektu (5.1.1.1):

$$C_{TO} = k * C_u \quad (5.1.1.1)$$

Kde:

C_{TO}	Cena objektu
k	Koeficient velikosti obce (polohový koeficient)
C_u	Cenový ukazatel

Tabulka 16: Hrubé stanovení nákladů, Varianta 1

Varianta 1				
stavební objekt	jednotková cena	množství	měrná jednotka	cena bez DPH
	[Kč/MJ]	[-]	[-]	[tis. Kč]
potrubí HD PE 100 RC, SDR 11 (PN 16) De 50	2 950	744	m	2 195
potrubí HD PE 100 RC, SDR 11 (PN 16) De 40	2 840	3476	m	9 872
protlak pod komunikací 605	6 980	22	m	154
šachta s redukčním ventilem a vystrojením	500 000	1	ks	500
redukční ventily na domovní přípojky	3 000	3	ks	9
celkem				12 730

Tabulka 17: Hrubé stanovení nákladů, Varianta 2

Varianta 2				
stavební objekt	jednotková cena	množství	měrná jednotka	cena bez DPH
	[Kč/MJ]	[-]	[-]	[tis. Kč]
potrubí HD PE 100 RC, SDR 11 (PN 16) De 50	2 950	1748	m	5 156
potrubí HD PE 100 RC, SDR 11 (PN 16) De 40	2 840	2903	m	8 244
ATS	1 000 000	1	ks	1 000
celkem				14 399



Tabulka 18: Hrubé stanovení nákladů, Varianta 3

Varianta 3				
stavební objekt	jednotková cena	množství	měrná jednotka	cena bez DPH
	[Kč/MJ]	[-]	[-]	[tis. Kč]
potrubí HD PE 100 RC, SDR 11 (PN 16) De 63	3 087	1167	m	3 601
potrubí HD PE 100 RC, SDR 11 (PN 16) De 40	2 840	3098	m	8 798
protlak pod komunikací Nučice-Krahulov	6 980	20	m	140
VDJ pro chatovou oblast "V Hlubokém"	2 911 545	1	ks	2 912
čerpací stanice z přivaděče BKDZH do VDJ	1 204 434	1	ks	1 204
šachta s redukčním ventilem a vystrojením	500 000	1	ks	500
redukční ventily na domovní přípojky	3 000	3	ks	9
celkem				17 164

Z hrubého nacenění vyplývá, že nejpříznivěji vychází varianta 1 z důvodu blízkého navázání na již vybudovanou infrastrukturu a gravitačního zásobování. Varianta 2 je ovlivněna dlouhou vzdáleností přivaděče a dále nutností dočerpávat vodu k nejvýše položeným objektům chatové oblasti. Varianta 3 je nejnákladnější, protože je uvažováno s čerpáním do samostatného nově vybudovaného vodojemu.

5.3 Shrnutí

Zásobování chatové oblasti „V Hlubokém“ je navrženo ve 3 variantách a důraz je kladen na vytvoření okružové sítě. Výpočet hydraulických poměrů na síti je zpracován s využitím matematického modelu vytvořeného v softwaru Epanet. Navržené varianty splňují požadavky na rozmezí tlaků na síti v místě budoucích vodovodních přípojek jednotlivých odběratelů (výjimečně s použitím redukčních ventilů na domovních přípojkách, kdy je toto řešení zvoleno z hlediska hospodárnosti návrhu, neboť se jedná o ekonomičtější řešení (vzhledem k počtu dotčených nemovitostí) než provádění opatření přímo na zásobních řadech.

Z hlediska průtočných rychlostí nemohou být ve všech místech splněny doporučené hodnoty uváděné normou ČSN EN 805 z důvodu minimálních odběrů v síti. K nízkým průtočným rychlostem přispívá i okružová koncepce vodovodní sítě, protože průtok se dělí do více potrubí. Při porovnání výsledků varianty 1 (Obrázek 41) a varianty 3 (Obrázek 54) že rozdíl, který vznikne rozpojením vybraných okruhů a soustředěním průtoků do menšího počtu potrubí, je pouze minimální.

Zároveň je zjištěno, že rozdíl mezi variantou 1 a variantou 3 má minimální vliv i na tlakové poměry na síti.



Varianta 1

Varianta 1 celkem zahrnuje:

- Potrubí De 50 v délce 744 m
- Potrubí De 40 v délce 3476 m
- Redukční ventil pro snížení tlaku před spotřebišťem s výstupním tlakem 16,75 m v.sl. Ventil je navržen na potrubí De 50.
- 3 redukční ventily pro nejnižše položené domovní přípojky ve spotřebišti

Výhody:

- Gravitační zásobování bez nutnosti čerpání
- Spotřebišť lze pokrýt jedním tlakovým pásmem
- Očekávané investiční náklady, minimální provozní náklady

Nevýhody:

- Vyšší tlak v nejnižších místech spotřebišťe
- Nutnost osazení přibližně 3 redukčních ventilů na domovní přípojky

Varianta 2

Varianta 2 celkem zahrnuje:

- Potrubí De 50 v délce 1748 m
- Potrubí De 40 v délce 2903 m
- ATS s výstupní m tlakem 45 m v.sl. pro zajištění minimálních tlaků v nejvýše položených objektech spotřebišťe.

Výhody:

- Příznivé tlakové poměry na síti bez nutnosti osazovat redukční ventily na domovní přípojky
- Přímé napojení na nový VDJ v Nučicích

Nevýhody:

- Dlouhá vzdálenost přivaděče
- Nutnost realizace automatické tlakové stanice pro zajištění minimálních tlaků u nejvýše položených objektů



Varianta 3

Varianta 3 celkem zahrnuje:

- Výtlačný řad De 63 z čerpací stanice do nového vodojemu délky 939 m
- Potrubí De 63 v délce 228 m
- Potrubí De 40 v délce 3098 m
- Nový vodojem s hladinami 380,2/380,0 m n.m. a o objemu 60 m³
- Čerpací stanici pro čerpání z přivaděče BKDZH do nového vodojemu. Čerpání jsem v práci uvažoval v nočních hodinách od 22:00 do 7:00. Parametry čerpání jsou přibližně $Q=1,36$ l/s a dopravní výška $H=63,1$ m.
- Redukční ventil před spotřebištem na příváděcím řadu De 63 z vodojemu s výstupním tlakem 17,25 m v.sl.

Výhody:

- Nezávislost celého systému na okolních spotřebištech
- Vhodná plocha pro vybudování vlastního vodojemu a gravitační zásobování z vodojemu

Nevýhody:

- Investiční náklady
- Stavba, provozování a údržba nového vodojemu
- Čerpání do nového vodojemu z přivaděče BKDZH
- Nutnost osazení přibližně 3 redukčních ventilů na domovní přípojky



6. Závěr

V práci jsou vypracovány celkem tři varianty návrhu možného zásobování chatové oblasti „V Hlubokém“ pitnou vodou. Každá z navržených variant je prověřena matematickým simulačním modelem pro dva různé zatěžovací stavy, které charakterizují očekávanou změnu zástavby v lokalitě.

Při výpočtu potřeby vody dle tabulkových údajů je pro chatovou oblast velmi obtížné dosáhnout relevantních výsledků, protože skutečné odebírané množství je závislé na širokém spektru parametrů, které je obtížné odhadnout. Tento důvod byl pro mě motivací ke zpřesnění specifické potřeby vody chatových objektů pomocí vyhodnocení skutečných odběrů. Celkem jsem v širším okolí vytypoval 193 chat připojených již na veřejnou vodovodní síť. Vyhodnocením dat ZIS jsem určil průměrnou potřebu vody jednoho chatového objektu $0,121 \text{ m}^3/\text{den}$. S touto hodnotou jsem dále počítal v praktické části práce při zpracování matematického simulačního modelu.

Matematický model je sestaven v softwaru EPANET a pro přípravu dat jsem využil nástrojů GIS. Na základě průběžných výsledků jsem síť v jednotlivých variantách optimalizoval tak, aby splňovala tlakové a průtokové parametry pro oba zatěžovací stavy. Výsledky jsou v práci představeny ve formě barevných map a grafů. Jednotlivé varianty jsou na závěr porovnány i z hlediska investičních nákladů.

Dopad na stávající vodovodní infrastrukturu v případě jejího rozšíření do chatové oblasti „V Hlubokém“ bude minimální. Je třeba počítat, že objemy stávajících vodojemů budou zatíženy dalším odběrem, a tudíž denní cykly plnění a prázdnění bude nutné zajistit změnou dopouštění vody.

Největší nejistotu v získaných výsledcích lze přičíst obtížně predikovatelné nerovnoměrnosti odběrů ve spotřebišti. Pro pokrytí denní rozkolísanosti je využito doporučených hodnot dle směrnice č.9/1973. V této souvislosti je nutné zdůraznit, že výrazné rozdíly v odběrech lze očekávat i v průběhu roku na základě kolísání sezónních odběrů. Na jaře pravděpodobně odběry budou vyšší nežli v zimě. Rozdíl sezónních odběrů bude nejmarkantnější zejména za současného stavu chatové zástavby. V případě výhledového stavu, kdy se v zájmovém území očekává trvalejší pobyt odběratelů, bude tento rozdíl méně výrazný. Vzhledem k nízkým odběrům ve spotřebišti má ale na tlakové poměry na síti majoritní vliv morfologie lokality.

6.1 Závěrečné doporučení

Navržené varianty jsou vzájemně porovnány v kapitole 5. Varianty 1 a 2 navazují na stávající, respektive plánovaný vodojem, a je tak nutné počítat se zatížením odběrem i pro další obce. Varianta 3 je v tomto ohledu nejvíce nezávislá a těží z vhodného pozemku pro umístění vodojemu ve vlastnictví obce.



Celkově bych na prvním místě doporučil variantu 1, která je příznivá jak z hlediska ceny, tak i z provozního hlediska, kdy je voda v celém rozsahu do spotřebiště dopravována gravitačně. Umístění redukčního ventilu před spotřebištěm zajistí pokrytí celé chatové osady „V Hlubokém“ jedním tlakovým pásmem, kdy ovšem u nejnižší a nejvyšší položených objektů nastanou hraniční hodnoty rozmezí tlaků. Příliš vysoké tlaky bude nutné řešit osazením redukčních ventilů na přípojkách u třech objektů.

Varianty 2 a 3 budou provozně náročnější z důvodu nutnosti čerpání, které bude mít za následek i nezanedbatelné provozní náklady. Ve variantě 2 se jedná sice o menší čerpané množství s využitím automatické tlakové stanice. K jejímu spínání by docházelo během dne. Ve variantě 3 se bude veškerá voda určená pro chatovou osadu „V Hlubokém“ čerpat do nového vodojemu. Čerpání je možné uskutečnit v nočních hodinách, kdy je cena elektřiny nižší. S nočním čerpáním jsem uvažoval i při sestavení příslušného modelu. Obě tyto varianty navíc vyžadují výrazné rozšíření vodovodní infrastruktury. Ve variantě 2 se jedná o dlouhý přivaděč z vodojemu do chatové osady „V Hlubokém“, kde doporučení může ovlivnit i majetkoprávní situace na trase a v případě varianty 3 o vlastní vodojem, kam je nutné vodu čerpat.

Považuji za důležité upozornit, že od ledna roku 2019 není možné rozšiřovat vodovodní síť v regionu zásobovanou ze systému hlavního města Prahy. Důvodem je nedostatečná kapacita pražské sítě, která neumožňuje zajistit větší odběr vody. Stávající řešení bude spočívat ve vybudování nových komor ve vodojemu Zadní Kopanina. [45]. Z tohoto důvodu bude nutné realizaci zatím odložit. Odložení by ovšem přispělo ke zlepšení poměru zastoupení rodinných domů což by vedlo ke zmenšení rozkolísanosti sezónních odběrů.



7. Citovaná literatura

- [1] Český statistický úřad: *Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2021* [online]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/164986103/2800212201.pdf/191b8730-863d-458f-b0b4-d5aff477eea4?version=1.1>
- [2] ČSN EN 805: *Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.
- [3] *Směrnice č.9/1973: Směrnice ze dne 20. července 1973 ministerstva lesního a vodního hospodářství ČSR a ministerstva zdravotnictví ČSR - hlavního hygienika ČSR pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů* [online]. [cit. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>
- [4] *Potřeba vody - koeficienty nerovnoměrnosti: Vodovod.info* [online]. [cit. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/tabulky?catid=217&id=217:potreba-vody-koeficienty-nerovnomernosti>
- [5] ČSN 75 5455: *Výpočet vnitřních vodovodů*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2014.
- [6] *Vyhláška č. 428/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)* [online]. [cit. 2022-10-13]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428/zneni-20220701>
- [7] ČSN 75 5301: *Vodárenské čerpací stanice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [8] ČSN 73 6005: *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [9] *Zákon č. 274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)* [online]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274/zneni-20210201>
- [10] ČSN 75 5401: *Navrhování vodovodního potrubí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.



- [11] GRÜNWARD, Alexander, Lubomír MACEK a Petr ŠRYTR. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 80-902460-7-9.
- [12] TRIFUNOVIĆ, Nemanja. *Introduction to Urban Water Distribution*. Londýn: Taylor & Francis Group, 2006. ISBN 0-415-39517-8.
- [13] TESÁŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Praha: SNTL, 1987.
- [14] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Praha: SNTL, 1983.
- [15] BRANDT, Malcom, Michael JOHNSON, Andrew ELPHINSTON a Don RATNAYAKA. *Twort's Water Supply*. Oxford: Elsevier Ltd., 2017. ISBN 978-0-08-100025-0.
- [16] *Hydraulické tabulky* [online]. [cit. 2022-09-20]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_staze_ni/cviceni/tabulky_1.pdf
- [17] *Základy problematiky automatických tlakových stanic* [online]. [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/21243-zaklady-problematiky-ats-automatickych-tlakovych-stanic>
- [18] *Redukční ventily | REMONT ČERPADLA s.r.o.* [online]. [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://obchod.remont-cerpadla.cz/instalacni-material/redukcni-ventily/>
- [19] *Přednastavitelné tlakové redukční ventily | Caleffi* [online]. [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://www.caleffi.com/czech-republic/cs/news/535-prednastavitelne-tlakove-redukcni-ventily>
- [20] *VRV a.s. Matematické modelování.: VRV a.s. - Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.* [online]. [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.vrv.cz/sluzby-matematicke-modelovani-uniky>
- [21] *Hydraulická analýza vodovodní sítě: Vodovod.info* [online]. [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/extra/tema/251-hydraulicka-analyza-vodovodni-site>
- [22] ROSSMAN, A. *EPANET 2.2 User Manual: United States Environmental Protection Agency US E.P.A* [online]. In: . [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: https://epanet22.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/
- [23] ALZAMARO, Martinez a Enrique CABRERA. *Mathematical modelling of water distribution systems in service*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 1993.



- [24] KUBEŠ, Jan. Chatové oblasti České republiky. *Geografický časopis* [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: <https://www.sav.sk/journals/uploads/03101321Kubes.pdf>
- [25] VYSTOUPIL, Jiří, Josef KUNC, Martin ŠAUER a Petr TONEV. Vývoj cestovního ruchu v ČR a jeho prostorová organizace v letech 1990–2009. *Urbanismus a územní rozvoj* [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: https://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/casopis/2010/2010-05/12_vyvoj%20cestovniho.pdf
- [26] *Osoby bydlící mimo byty a zařízení (nouzové bydlení): Český statistický úřad* [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20551773/17022114a05.pdf/cb05976a-c677-41b7-b540-3b3528484380?version=1.0>
- [27] *Katalog produktů: Český statistický úřad* [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/katalog-produktu>
- [28] *Struktura obyvatel podle způsobu bydlení v období 1991 - 2011: Český statistický úřad* [online]. [cit. 2022-10-04].
- [29] *Vesmír.cz/ archiv-casopisu/2022/cislo-7: Převody vod a liniové dopravní stavby* [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2022/cislo-7/prevody-vod-liniovie-dopravni-stavby.html#&gid=1&pid=1>
- [30] *Portál ČHMÚ : Aktuální situace : Hydrologická situace : Podzemní vody : Stav podzemních vod : Roční vyhodnocení stavu podzemních vod* [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/hydrologicka-situace/podzemni-vody/stav-podzemnich-vod/rocnii-vyhodnoceni#>
- [31] *Vyhláška č. 252/2004 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody* [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252/zneni-20180427>
- [32] KOŽÍŠEK, František. *Studna jako zdroj pitné vody: Příručka pro uživatele domovních a veřejných studní*. 2. Praha: Státní zdravotní ústav, 2003. ISBN 80 - 7071 - 224 - 4.
- [33] *Vyhláška č. 428/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*



- [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [34] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje: Karty obcí* [online]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: <https://www.kr-stredocesky.cz/web/zivotni-prostredi/prvkuk>
- [35] *Územní plán Nučic* [online]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: <https://www.nucice.eu/uzemni-plan-nucic/d-21393>
- [36] *ČÚZK-Výškopis-ZABAGED-DMR 4G: Digitální model reliéfu České republiky 4.generace* [online]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(bpj54qjpaz1111hsifuegadp\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&mapid=8&menu=301](https://geoportal.cuzk.cz/(S(bpj54qjpaz1111hsifuegadp))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&mapid=8&menu=301)
- [37] *ČÚZK-Výškopis-ZABAGED-DMR 5G: Digitální model reliéfu České republiky 5. generace* [online]. [cit. 2022-09-09]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(bpj54qjpaz1111hsifuegadp\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(bpj54qjpaz1111hsifuegadp))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302)
- [38] ZROSTLÍK, Štěpán a Marek VOŽENÍLEK. *Generel vodovodu města Rudná: Vodohospodářský rozvoj a výstavba*. Praha, 2021.
- [39] ZROSTLÍK, Štěpán a Marek VOŽENÍLEK. *Studie proveditelnosti – Připojení vodovodu Nučice na přivaděč BKDZH*. Praha, 2021.
- [40] BUTOR, Martin, Hana SOUKUPOVÁ a Martin BRADA. *Studie vodojemu Nučice: Vodohospodářské inženýrské služby a.s.* Praha, 2021.
- [41] *Územní plán obce Sýkořice: textová část* [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.sykorice.cz/urad/uzemni-plan/>
- [42] *PE 100 potrubí a tvarovky: wavin-pitná voda, katalog produktů* [online]. [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://orbia.blob.core.windows.net/assets/F-36462-0.pdf>
- [43] *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury: aktualizace 2021* [online]. Ústav územního rozvoje, 2021 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.uur.cz/media/wpzlg1dg/ceny-ti-2021-celek.pdf>
- [44] *Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací (aktualizované) ceny objektů do Vybraných údajů majetkové evidence vodovodů a kanalizací, pro Plány rozvoje vodovodů a kanalizací a pro Plány financování obnovy vodovodů a kanalizací: Čj.: 14000/2020-15132-1* [online]. Ministerstvo



zemědělství, 2020 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z:
https://eagri.cz/public/web/file/40871/Upraveny_MP_ceny.pdf

- [45] *Informace pro žadatele o rozšíření vodovodu: VAK Beroun* [online]. [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: https://www.vakberoun.cz/cs/technicka-vyjadreni/rozs_vdv



8. Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní prvky vodovodních sítí [2]	17
Obrázek 2: Schéma větvné sítě [13].....	18
Obrázek 3: Schéma okruhové sítě s větvnými odbočkami [13]	19
Obrázek 4: Porovnání rovnic pro výpočet ztrát třením pro potrubí středních průměrů. [12]	24
Obrázek 5: Porovnání rovnic pro výpočet ztrát třením pro potrubí velkých průměrů. [12]	25
Obrázek 6: Schéma automatické tlakové stanice pro zvyšování tlaku [11].....	30
Obrázek 7: Schématický řez redukčním ventilem [18]	31
Obrázek 8: Rozložení hustoty rekreačních chat v České republice [24]	39
Obrázek 9: Struktura obyvatel bydlících v rekreačních objektech a celkově [26]	41
Obrázek 10: Přehled způsobů zásobování obcí ČR pitnou vodou [29]	41
Obrázek 11: Úroveň hladiny v mělkých vrtech v roce 2020 v porovnání s normálem 1971-1990 [30]	42
Obrázek 12: Situace širších vztahů řešené lokality	44
Obrázek 13: Výřez z hlavního výkresu územního plánu se zjednodušenou legendou	45
Obrázek 14: Výřez z mapové aplikace Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje.....	46
Obrázek 15: Porovnání plošného rozložení bodových polí na dvou různých lokalitách. DMR 4G vlevo, DMR 5G vpravo.	47
Obrázek 16: Rozsah zpracované sítě v rámci generelu.....	48
Obrázek 17: Rozmístění jednotlivých lokalit pro stanovení průměrné potřeby.....	49
Obrázek 18: Letecký pohled na lokalitu Sýkořice	50
Obrázek 19: Průměrné denní odběry v lokalitě Sýkořice.....	50
Obrázek 20: Letecký pohled na lokalitu Malé Kyšice	51
Obrázek 21: Průměrné denní odběry v lokalitě Malé Kyšice	51
Obrázek 22: Letecký pohled na lokalitu Čisovice, Na Klínku.....	52
Obrázek 23: Průměrné denní odběry v lokalitě Čisovice, Na Klínku.....	52
Obrázek 24: Letecký pohled na lokalitu Čisovice, Višňovka	53
Obrázek 25: Průměrné denní odběry v lokalitě Čisovice, Višňovka.....	53
Obrázek 26: Letecký pohled na lokalitu Jíloviště	54
Obrázek 27: Průměrné denní odběry v lokalitě Jíloviště	54
Obrázek 28: Letecký pohled na lokalitu Komárov, Pod Kleštěnicí.....	55
Obrázek 29: Průměrné denní odběry v lokalitě Komárov, Pod Kleštěnicí.....	55
Obrázek 30: Letecký pohled na lokalitu Komárov, Pod Ptákovem	56
Obrázek 31: Průměrné denní odběry v lokalitě Komárov, Pod Ptákovem	56
Obrázek 32: Odběry v chatových oblastech s vyznačením průměrné hodnoty	58
Obrázek 33: Porovnání průměrných denních odběrů v jednotlivých lokalitách	58
Obrázek 34: Situace stávající vodovodní infrastruktury (modře) a schéma variant napojení nové sítě (červeně).....	60



Obrázek 35: Rozložení uzlů na podkladu vytvořeného digitálního modelu terénu...	61
Obrázek 36: Mapa polygonů znázorňující přiřazení odběrných míst k jednotlivým výpočetním uzlům	62
Obrázek 37: Nádrž pro požární vodu v lokalitě.....	65
Obrázek 38: Navržené dimenze potrubí a ID výpočetních uzlů ve variantě 1.....	67
Obrázek 39: Minimální tlaky na síti, zatěžovací stav 1, varianta 1	68
Obrázek 40: Maximální tlaky na síti, zatěžovací stav 2, varianta 1.....	69
Obrázek 41: Maximální průtočné rychlosti, zatěžovací stav 2, varianta 1	70
Obrázek 42: Doba zdržení vody v síti, zatěžovací stav 2, varianta 1.....	70
Obrázek 43: Uvažované dimenze potrubí a ID výpočetních uzlů ve variantě 2	72
Obrázek 44: Detail uvažovaného propojení centrální části spotřebiště ve variantě 2	72
Obrázek 45: Situace v místě navržené ATS	73
Obrázek 46: Minimální tlaky na síti, zatěžovací stav 1, varianta 2	74
Obrázek 47: Maximální tlaky na síti, zatěžovací stav 2, varianta 2.....	75
Obrázek 48: Maximální průtočné rychlosti na síti, zatěžovací stav 2, varianta 2.....	76
Obrázek 49: Doba zdržení vody v síti, zatěžovací stav 2, varianta 2.....	77
Obrázek 50: Uvažované dimenze potrubí a ID výpočetních uzlů ve variantě 3	78
Obrázek 51: Průběh plnění a prázdnění nově navrženého vodojemu pro oba zatěžovací stavy.....	80
Obrázek 52: Minimální tlaky na síti, zatěžovací stav 2, varianta 3	81
Obrázek 53: Maximální tlaky ve spotřebišti, zatěžovací stav 1, varianta 3	82
Obrázek 54: Maximální průtočné rychlosti na síti, zatěžovací stav 2, varianta 3.....	83
Obrázek 55: Doba zdržení vody v síti, zatěžovací stav 2, varianta 3.....	83
Obrázek 56: Minimální a maximální tlaky v charakteristických uzlech – varianta 1 .	85
Obrázek 57: Minimální a maximální tlaky v charakteristických uzlech – varianta 2 .	85
Obrázek 58: Minimální a maximální tlaky v charakteristických uzlech – varianta 3 .	86



9. Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty denní nerovnoměrnosti dle směrnice č.9/1973 [3]	12
Tabulka 2: Hodnoty denní nerovnoměrnosti – empirické hodnoty [4]	13
Tabulka 3: Doporučené rychlosti vody v sacím potrubí dle [7]	15
Tabulka 4: Doporučené rychlosti vody ve výtlačném potrubí dle [7]	15
Tabulka 5: Nejmenší doporučená výška krytí dle [10]	16
Tabulka 6: Uváděná rozmezí drsností pro výpočet ztrát třením. Zpracováno dle [16] [15] [12].....	25
Tabulka 7: Vývoj výstavby objektů individuální rekreace v ČR do roku 2000 [25]	39
Tabulka 8: Vývoj počtu osob bydlících v rekreačních chatách [28]	40
Tabulka 9: Věkové složení obyvatel bydlících v rekreačních chatách [26]	40
Tabulka 10: Celkový přehled zpracovaných lokalit	57
Tabulka 11: použitá tabulka pro přepočtení vnějšího průměru D_e a vnitřního průměru DN. Zpracováno dle [42]	62
Tabulka 12: Doporučené nejmenší průměry potrubí pro zásobování malých obytných zón dle ČSN EN 805 [2].....	63
Tabulka 13: Rozpočítání hodinové nerovnoměrnosti pro nově napojené objekty dle směrnice č.9 pro $k_h=1,8$	64
Tabulka 14: Tabelovaný výpočet potřeby vody jednoho rodinného domu pro zatěžovací stav 2	66
Tabulka 15: Souhrnný přehled odběrů pro oba zatěžovací stavy v závislosti na počtu uvažovaných připojených objektů k uzlu (Obrázek 36)	66
Tabulka 16: Hrubé stanovení nákladů, Varianta 1	89
Tabulka 17: Hrubé stanovení nákladů, Varianta 2	89
Tabulka 18: Hrubé stanovení nákladů, Varianta 3	90