

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ



Posouzení systému zásobování vodou v obci Malá
Skála, místní část Sněhov

Diplomová práce

Bc. Petr Myšička

Vedoucí práce: Ing. Filip Horký Ph.D.

Leden 2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Myšička Jméno: Petr Osobní číslo: 458801
Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Posouzení systému zásobování vodou v obci Malá Skála, místní část Sněhov
Název diplomové práce anglicky: Assessment of the water supply system in the village of Malá Skála, local part of Sněhov

Pokyny pro vypracování:

Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Vytvoření matematického modelu vodovodního systému. Vyhodnocení a posouzení provozních parametrů distribuční sítě vodovodu (tlakové a průtokové podmínky, doba zdržení vody v systému,...). Zpracování orientační analýzy rizik vodovodního systému. Shrnutí výsledků, závěry a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

Grünwald A., a kol.: Vodárenství. ČKAIT, Praha 1998, ISBN 80-902460-7-9,

Tesařík I. a kol.: Vodárenství. SNTL, Praha 1987,

Kožíšek F a kol.: Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy. VÚV TGM, Praha 2013, ISBN 978-80-87402-26-9,

Kožíšek a kol.: Zjednodušená metodika na zpracování posouzení rizik malých systémů zásobování pitnou vodou podle zákona o ochraně veřejného zdraví. SZÚ, Praha 2018,

zákon č. 274/2001 Sb., vyhláška č. 482/2001 Sb., vyhláška č. 252/2004 Sb.,

ČSN EN 805 Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti,

ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí,


ČSN 75 5355 Vodojemy

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

Datum zadání diplomové práce: 24.09.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 03.01.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce



Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat 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“.

25.9.2020

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Prohlášení

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

V Praze dne 2.1.2021

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především Ing. Filipu Horkému, Ph.D. za vedení a odbornou pomoc při zpracování této diplomové práce a také, za čas, který mi během konzultací věnoval. Také bych chtěl poděkovat mé rodině a mé přítelkyni za veškerou podporu, kterou mi při mém dosavadním studiu poskytli. A v neposlední řadě také panu Bc. Karlu Tůmovi manažeru útvaru TPČ OZ Turnov za pomoc a ochotu při poskytnutí informací ohledně vodovodní soustavy v částech obce Malá Skála tj. část Bobov, Sněhov a Filka.

Abstrakt

Diplomová práce se skládá z části teoretické a z části praktické. V teoretické části práce se zaměřuji na zpracování literární rešerše z oblasti zdrojů vody, vodárenských soustav, úpravy a dopravou vody ke spotřebiteli. V praktické části je proveden matematický model vodovodní soustavy Malá Skála-Sněhov. Nejprve jsem provedl popis stávajícího systému, dále je sestaven matematický model v programu Epanet 2 a následně také návrh výhledového stavu lokality. Vodovodní systém je posuzován z hlediska hydrauliky, zdržení vody v síti a poté také z hlediska množství volného chloru v systému.

Klíčová slova

Vodní zdroj, podzemní voda, pitná voda, úprava vody, bezchlorový systém, riziková analýza, matematický model,

Abstract

The Diploma thesis consists of theoretical and practical parts. Theoretical part focuses to research of literary resources in the field of water resources, water supply system, water treatment and water transport to the consumer. In Practical part is executed mathematical model of water supply system of Malá Skála Sněhov. At the start is executed description of present water supply system then was made a mathematical model in Epanet 2 and there were designed a future location which should be supplied by this system. Water system is assessed by view point of hydraulic, water decay and active chlorin in the system

Key word

Water resource, ground water, fresh water, variant of water supply, water treatment, Non-Chlorin water treatment, risk analysis, mathematical model

Obsah

1. Úvod	11
A Teoretická část	12
1 Výpočet potřeby vody	12
1.1.1 Obecné zásady výpočtu	12
1.1.2 Potřeba vody pro obyvatelstvo	12
1.1.3 Potřeba vody pro průmysl.....	13
1.1.4 Potřeba vody pro zemědělství.....	13
1.1.5 Ztráty	13
2 Vodovodní systém	14
3 Hydraulika vodovodního systému	15
3.1 <i>Hydraulika potrubí</i>	15
3.1.1 Rovnice kontinuity	15
3.1.2 Bernoulliho rovnice	15
3.1.3 Ztráty v potrubí.....	16
3.2 <i>Hydraulika čerpadla</i>	17
3.2.1 Charakteristiky čerpadla	17
3.2.1 Charakteristika potrubí	18
3.2.2 Pracovní bod.....	19
4 Vodní zdroje	19
4.1 <i>Podzemní voda</i>	20
4.1.1 Jímání podzemních vod.....	20
4.1.2 Vertikální objekty.....	20
4.2 <i>Povrchová voda</i>	20
4.3 <i>Vzorky surové vody</i>	23
4.3.1 Úplný rozbor odebírané surové vody.....	24
4.3.2 Krácený rozbor	24
4.3.3 Provozní rozbor surové vody	24
4.4 <i>Ochranná pásma</i>	24
4.4.1 Ochranná pásma vodního zdroje.....	24
4.4.2 Ochranná pásma vodovodního řadu.....	24

5	Úprava vody	25
5.1	<i>Podzemní vody</i>	25
5.2	<i>Povrchové vody</i>	25
5.3	<i>Jakost pitné vody</i>	26
5.3.1	Dezinfekční činidla na bázi chloru	27
5.3.2	Problematika chlorování v malé vodovodní síti	29
5.3.3	Dezinfekce vody Ozonem	30
5.3.4	Dezinfekce vody UV	30
5.4	<i>Bakterie ve vodovodním potrubí</i>	31
5.4.1	Indikátory fekálního znečištění	32
6	Doprava vody	32
6.1	<i>Vodovodní síť</i>	32
6.2	<i>Vodojem</i>	33
6.3	<i>Čerpací stanice</i>	35
6.4	<i>Materiál potrubí</i>	35
6.5	<i>Návrh sítě</i>	36
6.5.1	Rychlost vody ve vodovodním řadu	36
6.5.2	Tlaky ve vodovodním řadu	37
6.6	<i>Navrhování a provoz vodovodní sítě</i>	37
6.6.1	Návrh vodovodní sítě	37
6.6.2	Provoz vodovodní sítě	38
6.6.3	Provozní řád	39
6.6.4	Provozní deník	39
6.6.5	Provoz v malých vodovodních sítích	39
6.7	<i>Kvalita pitné vody ve vodovodní síti</i>	40
6.7.1	Úbytek chloru v distribuční síti	40
6.7.2	Úbytek chloru	41
7	Proč nechlorovat	42
8	Matematické modely	44
8.1	<i>Historie matematických modelů ve vodním hospodářství</i>	44
8.2	<i>Programy pro matematické modely ve vodárenství</i>	44
8.2.1	Siteflow	44

8.2.2	Piccolo.....	44
8.2.3	WaterGEMS.....	45
8.2.4	EPANET 2.....	45
8.2.5	MIKE URBAN.....	45
8.2.6	SCADA	45
9	Water Safety Plans	46
9.1	Výběr týmu	48
9.2	Charakteristika systému zásobování.....	48
9.3	Nalezení všech nebezpečí	48
9.4	Charakterizace rizika	48
9.5	Navržení nápravných a kontrolních opatření.....	49
9.6	Zavedení kontrolních opatření a správné provozní praxe.....	50
9.7	Verifikace.....	50
9.8	Opakované přezkoumání účinnosti plánu	50
10	Měření a monitoring	50
10.1	Vodoměry.....	51
10.2	Práva a povinnosti spotřebitelů	51
10.2.1	Povinnosti spotřebitele	53
B	Praktická část	54
1	Popis zásobovaného území.....	54
2	Podklady pro vypracování praktické části DP	55
3	Základní informace o vodovodní síti.....	55
3.1	Vodní zdroje.....	55
3.2	Úprava vody.....	56
3.3	Vodojemy.....	57
3.4	Doprava vody.....	57
4	Tvorba matematického modelu.....	58
4.1	Nastavení matematického modelu	60

4.2	Řízení vodojemu.....	61
4.3	Čerpadla	61
5	Výsledky matematického modelování a jejich diskuze	62
5.1	<i>Tlakové a rychlostní podmínky.....</i>	62
5.1.1	Stávající stav	63
5.1.2	Stávající stav s redukčními ventily	65
5.1.3	Porovnání nápravných opatření	66
5.1.4	Výhledový stav	67
5.2	<i>Doba zdržení vody.....</i>	70
5.2.1	Stávající stav	70
5.2.2	Výhledový stav	73
5.3	<i>Modelování volného chloru v síti</i>	75
5.3.1	Stávající stav	76
5.3.2	Výhledový stav	81
5.4	<i>Prohlídka vodovodního systému Malá Skála</i>	84
5.4.1	Odebírání vzorků a měření.....	85
5.4.2	Porovnání koeficientů s naměřenými hodnotami	87
5.5	<i>Závislost průtoku na chloru</i>	88
5.5.1	Řad do vodojemu Filka.....	89
5.5.2	Řady za vodojemem Filka.....	89
5.5.3	Sněhov	90
5.6	<i>Popis rizik vodovodní sítě Malá Skála-Sněhov</i>	90
5.6.1	Vodní zdroje	91
5.6.2	Vodojemy	91
5.6.3	Vodovodní síť a přípojky	92
5.6.4	Organizaci a pracovní postupy provozovatele.....	92
C	Závěr	93
D	Zdroje.....	95
E	Obrázky	100
F	Tabulky.....	102

Seznam použitých veličin

Q	objemový průtok [m^3/s]
v	střední rychlost proudění v daném průřezu [m/s]
S	průřezová plocha v místě profilu [m^2]
p	tlak vody [pa]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]
ρ	hustota vody [kg/m^3]
λ	součinitel tření [-]
L	délka potrubí [m]
D	průměr potrubí [m]
v	rychlost vody [m/s]
g	gravitační konstanta [m/s^2]
α	Coriolisovo číslo [-] pro účely diplomové práce je rovno 1
ξ	součinitel místní ztráty [-]
H	dopravní výška čerpadla [m]
h	počet odběrných míst [-]
t	potřebná doba hašení [hod]
$Q_{\text{pož}}$	potřeba požární vody [l/s] závislá na typu území
T	doba nutná na opravu poruchy [hod]
Q_{maxd}	maximální denní potřeba [m^3/h]
k_w	konstanta poklesu chloru u stěny pro rovnici I. řádu [m/s]
K_f	koeficient přestupu hmoty [m/s]
R	poloměr potrubí [m]
r	rychlost reakce [$\text{mg}/\text{l}/\text{den}$]
k_b	objemový reakční koeficient [den^{-1}]
C	koncentrace chloru [mg/l]
n	reakční řád [-]
R	rychlost reakce [$\text{mg}/\text{l}/\text{den}$]

1. Úvod

Tato diplomové práce si klade za cíl v teoretické části provést literární rešerši, v oblasti vodních zdrojů, úpravy vody, návrhu a provozu vodovodních sítí a také jejich matematickému modelování. V oblasti provozu a úpravy vody se tato práce zaměřuje na omezení sekundární chlorace a na podmínky, kdy se k tomuto kroku může přistoupit, a s tím související opatření, jako je například Water safety plan.

V praktické části se věnuji zvolené lokalitě Malá Skála-Sněhov. Prvním dílčím cílem je popis dané lokality a sestavení matematického modelu v programu Epanet 2. Dále provést návrh výhledové sítě v této lokalitě. V této práci jsem provedl posouzení jak stávajícího, tak i výhledového systému z hlediska hydraulických podmínek, zdržení vody a úbytku chloru v síti. Dalším dílčím cílem bylo posouzení rizik vodovodního systému během prohlídky ze dne 7. 12. 2020.

A Teoretická část

1 Výpočet potřeby vody

Výpočet potřeby vody je základní podklad pro navržení vodovodní sítě. K zjištění se používá směrnice č. 9 z roku 1973 v rámci vyhlášky č. 120/2011 Sb. Vlivem vývoje potřeby pitné vody se musely upravit směrná čísla roční spotřeby. Tyto údaje jsou uvedeny v příloze č. 12. Tato úprava aktualizovala potřebu vody do podoby, která odpovídá dnešním požadavkům. [12]

1.1.1 Obecné zásady výpočtu

Výpočet se provádí pro výhledové období, které by mělo odpovídat stavu lokality za 30 let. Pro zjištění budoucího stavu lokality se čerpá z územních plánů a dalších dokumentů poskytnutých orgánem územního plánování. Při návrhu potřeby vody se musí přihlédnout i k nerovnoměrnosti odběrů a také k technologickým vodám. Odběr vody není v průběhu času stálý. Jeho rozkolísanost se projevuje v horizontu hodin, dnů, měsíců. Nerovnoměrnost ovlivňují například způsob života a charakter lokality, směnné provozny ale i klimatické podmínky. Pro návrh vodovodní sítě jsou nejdůležitějšími parametry: součinitel denní k_d a hodinové k_h nerovnoměrnosti. Součinitel denní nerovnoměrnosti se používá pro zdroj, úpravnu vody přiváděcího řádu a vodojemu, zatímco hodinový součinitel se používá pro zásobní řád. Tím jsou ovlivněny i případné čerpací stanice, automatické tlakové stanice a vodojemy. [12] [13] [16]

1.1.2 Potřeba vody pro obyvatelstvo

Tato potřeba vody se dále dělí na vody pro bytový fond a vodu pro občanskou vybavenost. Potřeba vody pro bytový fond je závislá na vybavenosti bytu. Proto je Specifická spotřeba vody stanovena na 1 osobu/den. Do množství obyvatel se započítávají lidé trvale i přechodně žijící v lokalitě, kteří odebírají vodu z vodovodu.

Tab. č. 1 Specifická spotřeba vody pro občanskou vybavenost a koeficient denní nerovnoměrnosti.

Počet obyvatel	l/os/den	k_d
Venkovské obce do 1000	20	1,5
1000-5000	30	1,4
5000-20 000	70	1,35
20 000-100 000	125	1,25

V tabulce Tab. č. 1 jsou uvedeny hodnoty specifické potřeby vody a koeficient denní nerovnoměrnosti. U obcí do 5 000 obyvatel je specifická potřeba vody zahrnuta pouze pro základní vybavenost. U obcí od 5000 je zahrnuta i vybavenost vyšší. V obyvatelích jsou zahrnuti všichni, kdo bydlí v území zásobovaném vodovodem. U turistických lokalit s pravidelným zvýšením spotřeby pitné vody alespoň o 10 % se vodovodní infrastruktura navrhuje tak, aby byla schopna pokrýt zvýšené sezónní potřeby vody. [12] [13] [16]

1.1.3 Potřeba vody pro průmysl

Potřeba vody v průmyslu se skládá ze specifické potřeby vody pro přímou spotřebu a ze specifické potřeby vody pro mytí, resp. sprchování. Rozděleny jsou ze dvou důvodů. Jedním je rozdílná potřeba vody, kdy voda pro přímou potřebu se odebírá rovnoměrně v průběhu směny, zatímco voda pro mytí se rozdělí na poloviny a první polovina se odebere v průběhu celé směny, zatímco druhá polovina se odebere v poslední hodině směny. U tohoto druhu odběru vody se nepředpokládá denní nerovnoměrnost v pracovní dny. Hodnoty specifické potřeby vody nalezneme ve směrnice č. 9/1973. [12] [13] [16]

1.1.4 Potřeba vody pro zemědělství

Voda potřebná pro zemědělství se skládá z vody pro pracovníky a pro živočišnou výrobu. Způsob stanovení potřeby vody pro pracovníky v zemědělství je obdobný jako pro pracovníky v průmyslu. Specifické potřeby vody pro zemědělství jsou také ve směrnice č. 9/1973. [12] [13] [16]

1.1.5 Ztráty

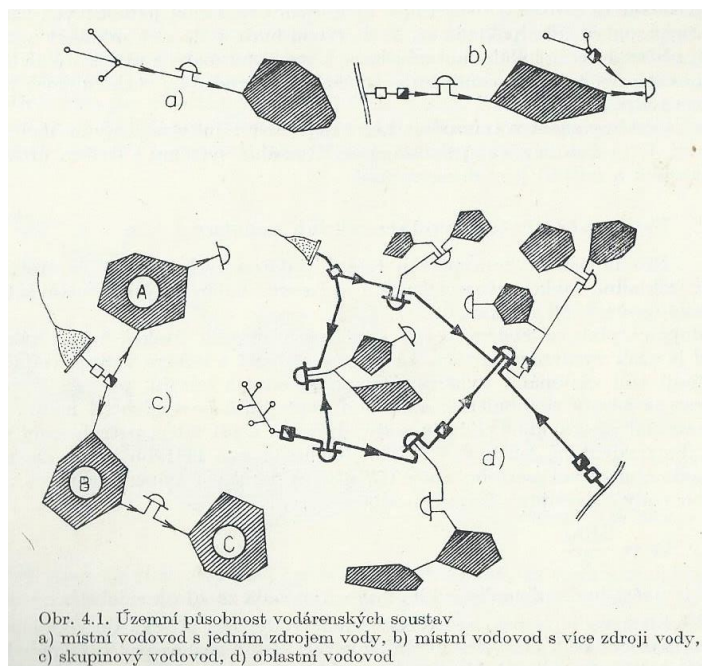
Únikům z vodovodní sítě se nedá zabránit. Proto se ztráty zahrnují do návrhu potřeby vody pro danou lokalitu. Podle aktualizované směrnice č. 9/1973 se ztráta zásadně přičítá k specifické potřebě vody. Tato ztráta je stanovena na 20 % specifické potřeby vody. Velikost ztráty vody závisí na stáří a stavu vodovodní sítě, materiálu a uložení potrubí a v neposlední řadě na geologických podmínkách. Vyhodnocení ztrát se provádí buď jako procentuální nebo metodou jednotkových úniků. Trend snižování procenta ztrát vody můžeme vidět v tabulce ztrát vody ze společnosti Pražské vodovody a kanalizace Tab. č. 2. [16]

Tab. č. 2 Trend ztrát pitné vody

Rok	1995	2001	2007	2010	2013	2017	2018
Ztráta vody [%]	42,52	33,66	21,4	21,62	20,34	15	13,5

2 Vodovodní systém

Vodovody se dělí na místní s jedním nebo více zdroji, skupinové nebo oblastní. Přičemž oblastní jsou výhodnější v tom, že lépe hospodaří s vodou a jsou spolehlivější z hlediska zásobování vody. Oblastní vodovody jsou ovšem investičně i provozně náročnější. Na obrázku Obr. č. 1 můžete vidět schémata vodárenských soustav. [12]



Obr. č. 1 Schéma vodárenských soustav a) Místní vodovod s jedním zdrojem, b) Místní vodovod s více zdroji, c) Skupinový vodovod, d) Oblastní vodovod

V současné době se klade větší důraz na to, aby vodovody byly řešeny jako skupinové či oblastní. Stále se ovšem najdou lokality, kde se provozují místní vodárenské systémy. Skupinové a oblastní vodovody vznikají díky spojení jednotlivých místních soustav případně s uvedením do provozu velkých vodních zdrojů. Mezi hlavní výhody skupinových vodovodů je možnost vyrovnávat se například s nedostatečnou vydatností některých zdrojů. Také se snáze dá pokrýt zvýšená spotřeba místních sídel. To ve svém důsledku umožňuje zefektivnit výrobu pitné vody, jak z hlediska technického, tak i z hlediska finančních nákladů na provoz. Skupinové vodovody mohou být 2 typů. První typ zásobuje jednotlivé oblasti z 1 vodojemu. Druhý typ zásobuje celou oblast z více vodojemů. Každý tento typ má své výhody i nevýhody. Kladem prvního typu, je nižší cena na výstavbu jednoho vodojemu, než na výstavbu několika byt' menších vodojemů. Podmínkou použití tohoto typu je poloha všech spotřebišť v jednom tlakovém pásmu. Hlavní nevýhodou prvního typu jsou velké rozměry potrubí. Ty jsou navrženy na maximální hodinové průtoky. Velké průměry potrubí jsou investičně dražší a mohou také

přinášet komplikace například s dopravou a manipulací na stavbě. Výhoda druhého typu spočívá především v tom, že je významně levnější trubní materiál. To je zapříčiněno díky tomu, že ze zdroje pitné vody do vodojemu je potrubí navrhováno na maximální denní průtok. Další nevýhodou tohoto typu skupinového vodojemu je i správa a provoz několika vodojemů. Ty jsou rozesety po lokalitě. To vyžaduje množství lidí, případně zvýšenou míru automatizace. Při nárůstu spotřeby vody je poměrně komplikované zvýšit přívod vody do vodojemu. [12] [13]

3 Hydraulika vodovodního systému

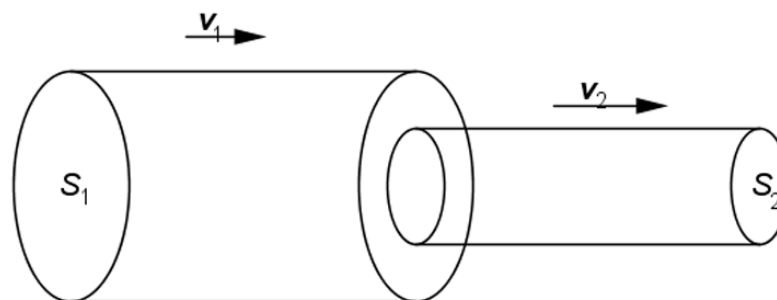
Pro zpracování matematického modelu byly použity základní hydraulické rovnice. Jedná se o rovnici kontinuity, Bernoulliho a také rovnici dle Darcy-Weisbacha. Dále bylo v práci využito čerpání pitné vody oběhovými čerpadly. [1], [12]

3.1 Hydraulika potrubí

3.1.1 Rovnice kontinuity

Ve své podstatě se jedná o formulaci zákona zachování hmotnosti. Při uvažování kontrolního elementu v daném prostředí jako nestlačitelný platí to, že hmotnost kapaliny, která do potrubí přitéká je stejná jako hmotnost kapaliny, která odtéká. Rovnici lze zapsat tedy takto viz rovnice č. 1, kde Q je objemový průtok [m^3/s] v je střední rychlost proudění v daném průřezu [m/s] S je průřezová plocha v místě profilu [m^2] [1] [12]

$$Q = v_1 S_1 = v_2 S_2 = \text{konst.} \quad (1)$$

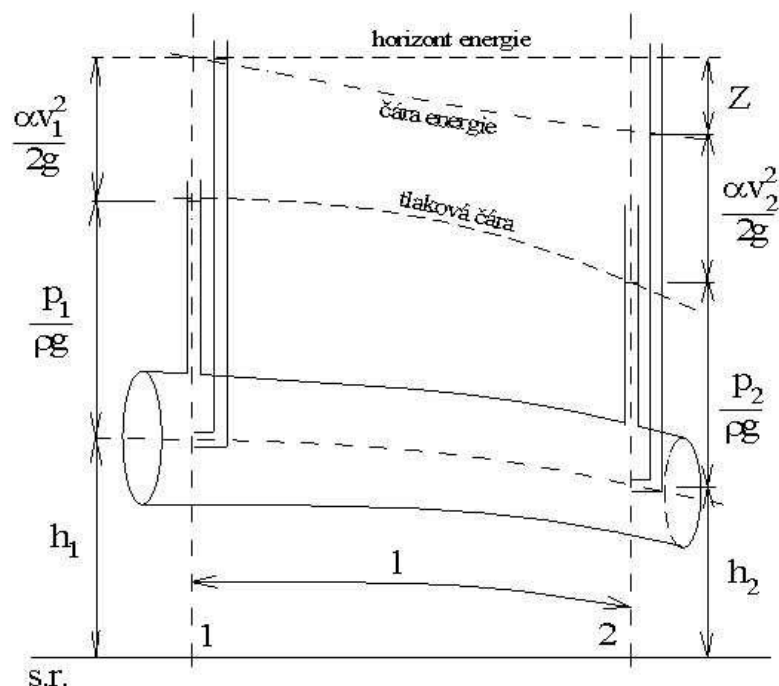


Obr. č. 2 Znázornění rovnice kontinuity

3.1.2 Bernoulliho rovnice

Tato rovnice popisuje zákon zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny. Při výpočtu se nejčastěji používá ve výškovém tvaru viz rovnice 2 [1] [12]

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + h = \text{konst.} \quad (2)$$



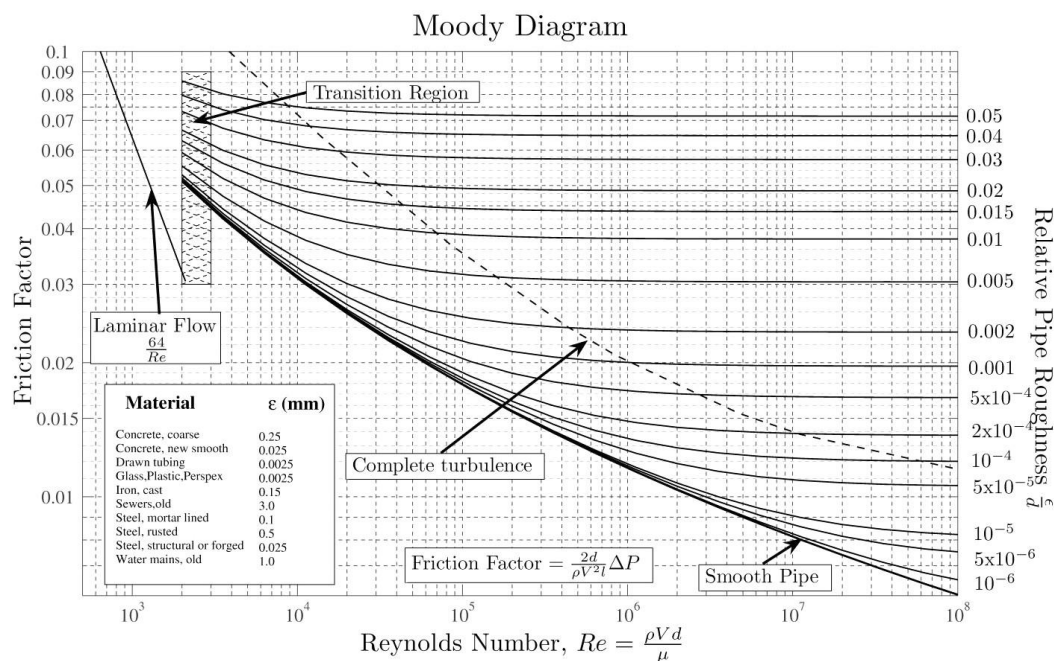
Obr. č. 3 Znárodnění Bernouliho rovnice

3.1.3 Ztráty v potrubí

Ztráty v potrubí řadíme do dvou skupin podle toho, jestli působí po celé délce potrubí (ztráty třením) nebo na konkrétním místě dané sítě (ztráty místní). Ztráta třením (Z_t) je závislá na součiniteli tření, délce a průměru potrubí a zejména rychlosti vody v potrubí, viz rovnice 3. Výsledek ztráty třením poměrně významně ovlivňuje součinitel tření. Tento parametr je závislý na Reynoldsově čísle (Re) a na relativní drsnosti potrubí (Δ/D). Součinitel tření lze získat buď dosazením do vzorců od rozdílných autorů nebo z Moodyho diagramu viz obrázek Obr. č. 4. [1] [12]

$$Z_t = \lambda \frac{L}{D} \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (3)$$

Kde: λ	je součinitel tření [-]
L	je délka potrubí [m]
D	je průměr potrubí [m]
v	je rychlost vody [m/s]
g	je gravitační konstanta [m/s ²]
α	je Coriolisovo číslo [-] pro účely diplomové práce je rovno 1



Obr. č. 4 Moodyho diagram

Pokud se jedná o ztrátu v jednom bodě potrubí, způsobenou například změnou dimenze, směru, armaturou atd. Jedná se o ztrátu místní. Tyto ztráty se dají vyjádřit rovnicí 4. Tyto ztráty se ovšem zahrnují pouze u takzvaně krátkých potrubí. Pokud se jedná o tzv. potrubí dlouhá ztráty třením jsou o tolik významnější, že se ztráty místní zanedbávají. [1] [12]

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

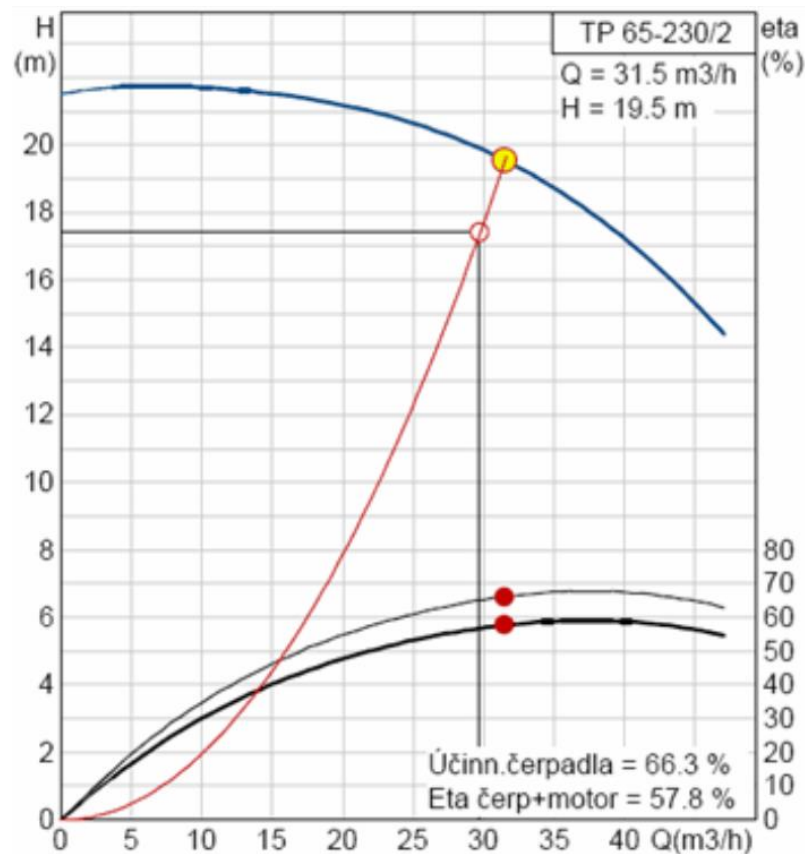
U hydraulicky krátkého potrubí tedy celkové ztráty vypadají takto.

$$Z = Z_m + Z_t \quad (5)$$

3.2 Hydraulika čerpadla

3.2.1 Charakteristiky čerpadla

Ve své podstatě se jedná o 4 hlavní křivky, které dokážou definovat dané čerpadlo a jsou používány pro návrh čerpadla. V první řadě se jedná o Q-H křivku, která popisuje vztah průtoku a výšky do které čerpadlo vytlačí určitý průtok vody. Dále se také jedná o křivku účinnosti (Q - μ), která definuje účinnost čerpání v závislosti na průtoku. Čerpadla s plochou křivkou se použijí v případech, kdy je předpoklad velké rozkolísanosti průtoků. [1] [12] [27]



Obr. č. 5 Stanovení pracovního bodu a křivka účinnosti čerpadla

Další charakteristickou křivkou čerpadla je příkonová křivka (Q-P), kdy příkonem čerpadla je zpravidla myšlen výkon elektromotoru. Příkon čerpadla se spočítá podle rovnice (6), kde ρ je hustota vody [kg/m^3], g je tíhové zrychlení [m/s^2], Q je průtok [m^3/s] a H je dopravní výška čerpadla [m]. Pro získání výkonu čerpadla je nutné příkon vynásobit účinností. Při výběru konkrétního čerpadla se obvykle setkáváme s tím, že výrobci udávají dva parametry s označením P, tj. P_1 je maximální příkon a P_2 je jmenovitý výkon motoru. [27]

$$P_h = \rho g Q H \quad (6)$$

Poslední charakteristickou křivkou je křivka NPSH, která udává nejmenší přípustnou sací výšku. Tato výška zamezuje tomu, aby docházelo ke kavitaci. Pokud by byla výška instalovaného čerpadla vyšší, než je NPSH docházelo by k snížení účinnosti, vibracím, hluku a také k zvýšenému opotřebení lopatek. [1] [12] [27]

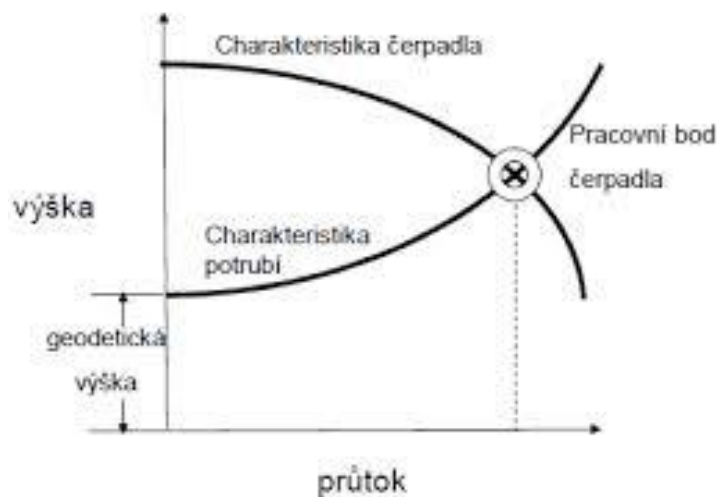
3.2.1 Charakteristika potrubí

Jedná se o vztah mezi průtokem v potrubí a velikostí tlakových ztrát. Při stanovení PB čerpadla začíná křivka v nulovém průtoku, kdy výška H dosahuje velikosti rozdílu hladin. S rostoucím průtokem se zvyšují i energetické ztráty v potrubí. Kvůli charakteru hydraulických ztrát, které se odvíjí od rychlosti vody v potrubí, se navrhuje dimenze potrubí takové, aby se

rychlosti v potrubí pohybovaly kolem 1 m/s. S tím že rychlosti by neměly být menší než 0,5 m/s, protože v tom případě se jedná o předimenzovaná potrubí. Při výrazném překročení rychlosti 1 m/s dochází k velkým ztrátám, které jsou kvadraticky závislé na rychlosti. [1] [12]

3.2.2 Pracovní bod

Jedná se o průsečík Q-H křivky a charakteristiky potrubí. Sestrojením pracovního bodu získáme informaci, jak velký průtok proteče daným systémem při použití zvoleného čerpadla. [1] [12] [27]



Obr. č. 6 Pracovní bod čerpadla

4 Vodní zdroje

Pro získání surové vody se u nás používají vody povrchové a vody podzemní. V oblastech, ve kterých je nedostatek podzemní a povrchové vody sladkovodní, se používají jiné zdroje. Jako zdroj se využívá vody mořské. Ta je upravena na vodu pitnou například reverzní osmózou. Dalším zdrojem může být i zachytávání vody srážkové nebo vody ze vzdušné vlhkosti. V roce 2013 se pitná voda odebírala z 49,1 %, z podzemních zdrojů a z povrchových odběrů v 50,9 %. Výhodou povrchových zdrojů vod je zejména její jednoduchý odběr a také množství vody. Nevýhodou povrchových vod je především kolísající kvalita, která bývá obecně horší než u vody podzemní, a tedy její finální úprava vychází z ekonomického hlediska hůře. Pro lepší vlastnosti podzemních vod se tento zdroj preferuje i přes to, že podzemní vody mají menší vydatnost. [15]

4.1 Podzemní voda

Zákon č. 254/2001 Sb. § 29 vyhradil zdroje podzemních vod jako preferované zdroje pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou a pro účely, pro které je použití pitné vody stanoveno zvláštním právním předpisem. K jiným účelům může být podzemní voda použita, pokud je to povoleno vodoprávním úřadem a jen v případech kdy to není na úkor uspokojování uvedených potřeb. [15] [17]

Z veškerého množství vody na naší planetě voda podzemní zaujímá 0,54 % jejího objemu. Díky stálé cirkulaci vody je toto množství víceméně neměnné a neustále doplňované infiltrací dešťových srážek, pokud není omezeno vsakování vody do půdy. [12] [15]

4.1.1 Jímání podzemních vod

Pro odběry vody z podzemních zdrojů se musí zřídit jímací objekty. V praxi se rozlišují tři základní druhy objektů. [12] [13]

- Plošné jímací objekty
- Vertikální jímací objekty
- Horizontální objekty

Pro všechny tři typy platí tyto zásady. Tyto zásady by se měly dodržovat během zřízení a provozu jímacích objektů.

- Jímat vodu z nejnižšího dostupného místa pramene
- Vodotěsný uzávěr až po maximální hladinu zvodně
- Nekorodující materiál potrubí v jímce (plast, nerez)
- Výplň jímky z propustného materiálu
- Přeliv kvůli maximálním průtokům
- Zabránění únikům vody z jímky
- Znalost hloubky pramenů a vzájemné působení
- Odvedení povrchových vod mimo dosah jímky
- Regulace odtoku

4.2 Povrchová voda

V menších sídlištních celcích mohou k zajištění potřeby vody postačovat pouze zdroje podzemní v případě, že u nich nedojde ke zvýšeným nárokům na potřebu vody. Podzemní zdroje zpravidla přestávají být dostatečně kapacitní. V tom okamžiku nastává chvíle, kdy se začne hledat povrchový vodní zdroj. Povrchovou vodu lze odebírat přímo z toku či z vodních

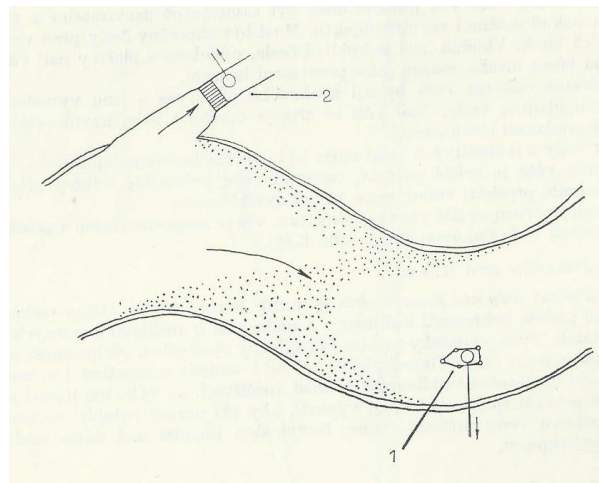
nádrží. Odběr vody musí být ovšem takový, aby neomezoval již dříve stanovená oprávnění k nakládání s vodou a také na minimální zůstatkové průtoky. S ohledem na odběrná místa tedy rozlišujeme 2 druhy jímadel. První druh je pro vody stojaté tj. vodní nádrže, rybníky, jezera a druhý typ je pro jímací objekty v tekoucích vodách. [12] [13]

Odběry ze stojaté vody

- Jímadlo v nádrži
- Jímadlo nade dnem

Odběry z tekoucí vody

- Jímadla v řečišti
- Jímadla břehová
- Jímadla ve dně koryta



Obr. č. 9 Jímadla v toku 1 v řečišti, 2 na břehu

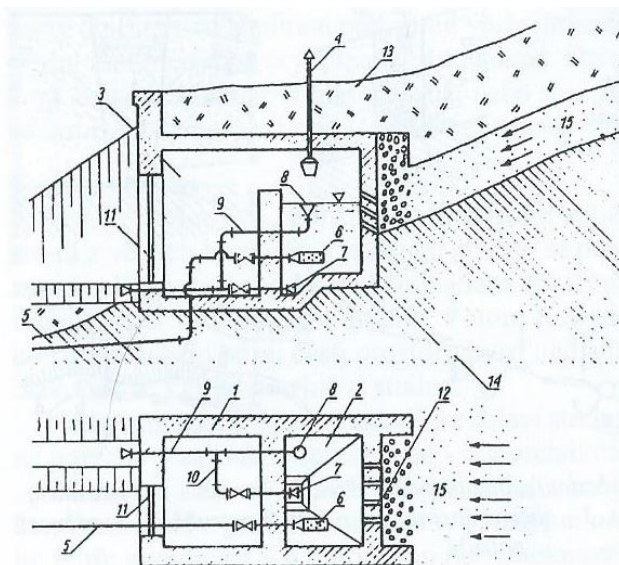
4.2.1 Vertikální objekty

V dnešní době se jedná o nejčtenější typ jímacího objektu. Je prováděn vrtáním obvykle s výplachem, ten ochlazuje vrtný nástroj a vyplavuje rozrušené horniny. Při přípravě výplachu musí být použity zdravotně nezávadné látky a použitou tekutinou musí být pouze voda. Jímací objekt vznikne tím, že je vrt vystrojen pro dlouhodobé odčerpávání vody. Vrt je vystrojen:

- Zárubnicí a obsypem v horizontu zvodnělé horniny
- Plné pažnice v horizontu nezvodnělé horniny
- Zhlaví vrtu s uzávěrem vrtu
- Kalník

4.2.1.a Plošné jímací objekty

Plošné jímací objekty se nepoužívají tak často, protože se preferují odběry z větších hloubek. Plošné jímací objekty odbírají podzemní vody z pramenů a skalních vývěřů. Voda z tohoto zdroje nepronikla do větších hloubek a hrozí tedy větší riziko kontaminace vodami povrchovými. U Vertikálních jímacích objektů je snazší zajistit ochranu proti znečištění. Na obrázku Obr. č. 7 je možné vidět zástupce plošného jímání tedy pramenní jímku se zachycením sestupného pramene. [12] [13]



Obr. č. 7 Pramenní jímka pro zachycení sestupného pramene

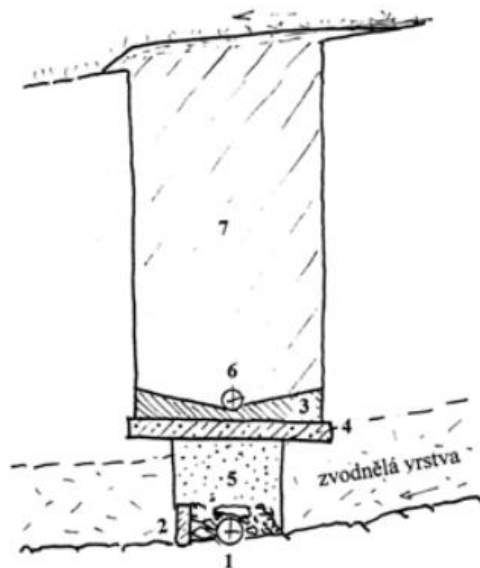
4.2.1.b Horizontální jímací objekty

Používá se v případech, kdy by vertikální jímání nemělo dostatečnou vydatnost, případně by nebylo výhodné. Mezi horizontální jímací objekty patří: zářezy, štoly a vodorovné vrty. [1]

Zářezy

Zářezy se používají především v lokalitách s poměrně malou propustností horninových vrstev a zároveň se jedná o mělký profil zvodně podpovrchových vod. Kvůli zajištění lepší kontroly a údržby jímacích zářezů se provádějí kontrolní šachty. Tyto šachty jsou provedeny přibližně po 50 m nebo v místech změny vedení trasy zářezu. Jímací zářezy jsou vedeny až do sběrné jímky. [12]

Na obrázku Obr. č. 8 je znázorněno provedení zářezu. Zářez se hloubí až k nepropustné vrstvě. Do zářezu se uloží perforované potrubí z odolného a hygienicky nezávadného materiálu, používá se například potrubí z kameniny, nerezových ocelí nebo z plastů [13]



- 1 - sběrné potrubí
- 2 - vzdouvací zídka
- 3 - těsnění (jílové)
- 4 - betonová deska
- 5 - filtr (štěrk)
- 6 - drenáž - odvod povrchové vody
- 7 - zához

Obr. č. 8 Jímací zářez

4.2.1.c Horizontální vrty

Dalším druhem jímacího objektu jsou horizontální vrty. Ve své podstatě jde o studnu, ze které vedou horizontální vrty do zvodnělých vrstev. Studna má v tomto případě sloužit jako jímka na zadržování svedené vody. Ze studny se potom voda čerpá k dalšímu zpracování. [12]

4.3 Vzorky surové vody

Vzorky surové vody jsou odebírány před prvním technologickým zásahem. Pokud je surová voda přiváděna z několika vodních zdrojů, odebírají se vzorky z jejich směsi. Ke kontrole jednotlivých zdrojů dochází tehdy, dojde-li k abnormální změně kvality směsné surové vody. V průběhu úpravy technologickou linkou je nutné dle přílohy č. 9 vyhlášky 428/2001 Sb. přistupovat ke kontrolám vody v průběhu úpravy technologickou linkou. Pokud je to možné i mezi jednotlivými stupni úpravy. Místa kontroly jsou stanovena osobou zodpovědnou za technologii úpravy. Jedná se o místa výstupu zdravotně zabezpečené vody z úpravny. Odebrané vzorky mohou být použity na 3 typy rozborů. Ty se dělí podle rozsahu

ukazatelů a potřebných požadavků monitorování na tyto typy rozborů úplný rozbor, krácený rozbor a provozní rozbor.

4.3.1 Úplný rozbor odebírané surové vody

Úplný rozbor surové vody je stanoven při prvním zařazení surové vody do kategorie podle § 22 a následně pro potvrzení kategorie surové vody. Odběr i samotná analýza vzorků musí být provedena držitelem osvědčení o akreditaci správné činnosti laboratoře nebo u držitele autorizace.

4.3.2 Krácený rozbor

Tento rozbor slouží k upřesnění kategorie dle § 22 z vyhlášky 428/2001 Sb. a ke stálému sledování jakosti vody.

4.3.3 Provozní rozbor surové vody

Tyto rozbor slouží k řízení procesů pro úpravu surové vody na pitnou. Rozsah rozborů si určuje sám provozovatel dle složitosti úpravy vody a dle výsledků rizikové analýzy. Jednorázové rozbor mohou být také nahrazeny kontinuálním měřením. Analyzátoři musí být pravidelně kontrolovány a kalibrovány.

4.4 Ochranná pásma

4.4.1 Ochranná pásma vodního zdroje

Ochranná pásma vodních zdrojů (dále jen OPVZ) se stanovují pro zdroje vody pitné, kojenecké nebo pramenité. Tyto zdroje, pro které je OPVZ stanoveno, by měly mít vydatnost alespoň 10 000 m³ za rok. Vodoprávní úřad s rozšířenou působností může na základě vážných okolností rozhodnout o udělení OPVZ i menšímu zdroji. OPVZ se dělí na dva stupně. První stupeň slouží k ochraně vodního zdroje v jeho okolí. Druhý stupeň slouží k ochraně vydatnosti, kvality a zdravotní nezávadnosti jímání vody. Poté co vodoprávní rozhodnutí nabyde právní moci, vznikne věcné břemeno na oblast OPVZ. Pokud se prokáže omezení užívání nemovitostí, náleží vlastníkům náhrada za takto vzniklou škodu. Tuto náhradu je povinen uhradit majitel vodoprávního povolení nebo majitel vodní nádrže. [12] [13] [18]

4.4.2 Ochranná pásma vodovodního řadu

Šířky ochranného pásma vodovodního řadu dle § 23 odst. 3 zákona 274/2001 Sb. jsou rozděleny v závislosti na průměru potrubí a hloubce uložení takto:

- řadu do průměru 500 mm je 1,5 m na každou stranu od vnějšího líce stěny potrubí

- řadu nad 500 mm je 2,5 m na každou stranu od vnějšího líce stěny potrubí
- při hloubce dna větší jak 2,50 m a profilu větším než DN 200 se ochranné pásmo zvětšuje o 1,0 m na každou stranu [31]

5 Úprava vody

Parametry pitné vody jsou stanoveny vyhláškou 252/2004 Sb. Kvůli zvýšení kvality vody je obvykle nutné jímanou vodu upravit, aby její vlastnosti byli dostatečné pro další využití. Parametry, které se sledují při úpravě se liší v závislosti na tom, jak bude voda dále použita. Zda se jedná o vodu pitnou, užitkovou nebo technologickou. [24]

Dalším faktorem, který ovlivňuje úpravu vody je zdroj, ze kterého je odebírána. U vod odebraných z podzemí se vyskytuje zejména železo, mangan a kyselost vody. Zatímco u vod z povrchových zdrojů úpravu ovlivňuje zejména zákal, množství huminových látek a konduktivita. [20] [24]

5.1 Podzemní vody

Pro úpravu podzemních vod se obvykle provádí odkyselení. Při odkyselení se z vody odstraní agresivní oxid uhličitý. Nejčastěji se používá provzdušnění nebo je možné použít odkyselení vápnem či mramorem. Kvůli zlepšení organoleptických vlastností se u podzemních vod zbavujeme železa a manganu. Těmto procesům se říká odželezování a odmanganování. Dalším důvodem, proč je vhodné zbavit se železa, je to, že dokonce i malé koncentrace železa mohou způsobit zarůstání potrubí díky působení železitých bakterií.

Do úpravy vody můžeme také zařadit membránové procesy. Do nich se řadí například mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Membránovou technologii můžeme zařadit jako další stupeň za úpravu povrchové i podzemní vody. Těmito způsoby lze nahradit do jisté míry dezinfekci vody. Může se k této technologii přistoupit i ve velmi znečištěných vodách anebo v případě, že se chceme vyhnout použití chloru. Nevýhodou používání membránových technologií je její ekonomická náročnost [13] [20]

5.2 Povrchové vody

Během úpravy, voda prochází několika stupni čištění, neboť obvykle bývá více znečištěná než voda podzemní. V první fázi se odstraňují mechanické nečistoty pomocí hrubých a jemných česlí případně mohou být použita také síta. Velikost průlin česlí či sít závisí na velikosti nečistot a jejich množství. Obvykle následuje preoxidace. Ta má zvýšit množství kyslíku ve vodě,

odstranit organické látky a oxidovat látky anorganické. Provádí se buď chlorem, oxidy chloru, ozonem či manganistanem draselným. Dalším procesem je čiření vody. To má z vody odstranit koloidní dispergované látky. Koloidní látky se vysráží během koagulace. Shluknuté částice se odstraní buď usazením nebo filtrací. Koagulanty jsou obvykle na bázi hliníku nebo železa. [12] [13] [20]

Koloidní látky můžeme filtrovat buď pomocí anglické (pomalé) filtrace nebo díky rychlofiltraci. Náplní rychlofiltrů je buď vodárenský písek, antracit, aktivní uhlí nebo jejich kombinace. Filtry mohou být s volnou hladinou nebo tlakové. Pro snížení množství mikroorganismů ve vodě se používá dezinfekce. Dezinfekce se obvykle provádí chlorem či jeho sloučeninami, ozonem nebo UV zářením. Dezinfekci lze provádět i stříbrem a stříbrnými solemi. K tomuto řešení se přistupuje ve výjimečných případech pro ekonomickou náročnost tohoto dezinfekčního prostředku. Další nevýhodou je nutnost dlouhé doby kontaktu vody s dezinfekčním činidlem. [12] [13] [20]

5.3 Jakost pitné vody

Požadavky na kvalitu pitné vody a vody teplé jsou stanoveny ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. V uvedené vyhlášce jsou aplikovány předpisy Evropské unie. Jsou v ní specifikovány hygienické limity mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické vlastnosti pitné vody. Ve vyhlášce je také uveden rozsah a četnost kontrol jakosti pitné vody a také jaké metody budou použity na její stanovení. Vyhláška také stanoví typy limitů. Zda se jedná o mezní hodnotu (MH), nejmenší možnou hodnotu (NMH) a doporučenou hodnotu (DH). [20] [24]

- (MH) je hodnota, při které voda ztrácí jakost. Stanovuje se pro méně rizikové látky.
- (NMH) překročením této hodnoty se voda nesmí používat jako pitná. Stanovuje se pro rizikové látky
- (DH) je hodnota, která není zavazující pro výrobce. Touto hodnotou je určena biologická hodnota vody. [24]

Ukazatele kvality vody jsou v příloze č. 1 zákona 252/2004 Sb. Rozbory pitné vody jsou prováděny jak na výstupu z úpravny vod, v distribuční síti a také u spotřebitele. Rozbory musí být odebírány tak, aby byly reprezentativní po dobu celého roku a pro celou vodovodní síť. Odběry vzorků jsou pro mikrobiologické ukazatele stanoveny podle tabulky č. 1 z české normy ČSN EN ISO 19458 (757801). Vzorky jsou odebírány buď z kohoutku tzv. vzorkování

„b“ anebo z rozvodného potrubí vzorkování „a“. Množství rozborů pitné vody je také uvedeno v příloze č. 4 zákona 252/2004 Sb. a v příloze č. 5 je uveden krácený rozbor vzorků pitné vody. Množství rozborů se stanoví v závislosti na počtu obyvatel případně, pokud se jedná o významnou rekreační oblast, kde je počet obyvatel, obtížně stanovitelný rozhodne množství vyrobené vody za den. Množství rozborů lze úměrně snížit, pokud voda není dodávána po celý rok. Ovšem počet rozborů nesmí být nižší než nejnižší kategorie. Za ideálních podmínek se u kráceného rozboru jedná minimálně o 22 ukazatelů. Mohou být, ale rozšířeny v závislosti na výsledcích rizikové analýzy. Úplný rozbor vody je uveden v tabulce B zákona č. 252/2004 Sb. a má celkem 65 ukazatelů. Rozbory vody se provádějí také v případech, kdy se zprovozňují nové části vodovodu, případně při delší odstávce zásobování tj. více než 24 hodin, a také po opravě, která by mohla kvalitu vody ohrozit. [27]

5.3.1 Dezinfekční činidla na bázi chloru

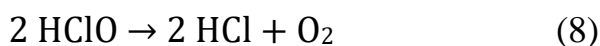
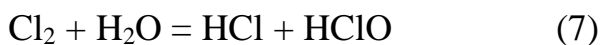
Pro zajištění kvality pitné vody se do vodovodního systému u nás nejčastěji dává chlor. Chlor byl poprvé přidán do vody v roce 1902 jako dezinfekční prostředek v Belgii. Dále byl hojně používán ve Spojených státech a k mohutnějšímu rozmachu v Evropě došlo až ve 20. a 30. letech 20. století. K plošnému používání chloru u nás došlo až od 50. let. [2] [6]

Díky používání chloru pro úpravu vody došlo k největšímu posunu oblasti veřejného zdraví ve 20. století. Díky chlorování se podařilo zamezit většině epidemií šířených vodou v rozvinutých zemích. Cílem dezinfekce je zabití nebo zneškodnění patogenních mikroorganismů. I proto se chlor stal nejběžněji používaným prostředkem na dezinfekci v ČR. Chlor má jak chlorační účinky, tak oxidační. Chloračním účinkem je míněno navázání chloru na organickou sloučeninu, aniž by tato sloučenina byla rozložena. Oxidační účinky chloru se projevují tak, že chlor reaguje s organickou nebo anorganickou látkou a po reakci má sloučenina vyšší oxidační číslo. Důvodem proč se chlor používá, je to, že usmrcuje patogenní zárodky s velkou účinností. [2] [3] [6]

5.3.1.a Druhy používaných činidel

Chlor - Cl₂

Pro vodárenské účely se využívá buď v plynné nebo kapalně formě. Dávkován je pomocí chlorátorů, kde se smíchá s vodou. Tato voda s vysokou koncentrací chloru se poté dává do systému buď podtlakově nebo přetlakově. Chlor je velmi reaktivní prvek. Ve vodě reaguje s vodou za vzniku kyseliny chlorné, která ničí bakteriální buňky. [5]



Chlornan vápenatý - Ca(ClO)₂

Obvykle se používá ve formě tablet nebo granulí pro oxidaci, dezinfekci nebo k odstranění amonných sloučenin. [5]

Chlornan sodný – NaClO₂

Obvykle se používá u menších úpraven vody, kde se vyrobené množství pohybuje v rozmezí 5 až 10 l/s. Hlavní výhodou tohoto činidla je jeho nenáročnost na obsluhu. Je dodáván jako 50% vodní roztok. Nevýhodou je to, že má mnohem nižší účinnost oproti plynnému chloru a musí být v delším kontaktu s vodou. Po aplikaci chlornanu sodného dojde ke zvýšení pH vody. [5]

Oxid chloričitý – ClO₂

Z bezpečnostních důvodů se tato látka vyrábí až v úpravárnách. Kapalná forma je totiž výbušná a nestálá. Oproti chloru je ovšem několikanásobně účinnější v odstraňování patogenů a odstraňuje také lépe barvu a zápach vody. Hlavní nevýhodou kromě složitějšího dávkování a horší rozpustnosti oproti chloru jsou vyšší provozní náklady [5]

Chloraminy - NH_xCl_y

Chloramin se v současné době hojně používá, jako alternativa chlorování pro dezinfekci vody ve veřejných vodovodních sítích. Oproti chloru je upřednostňován chloramin, protože je mnohem stabilnější a nerozkládá se ve vodě před tím, než se dostane ke spotřebitelům. Chloramin také méně reaguje s organickými látkami. Díky tomu nevznikají chlorované uhlovodíky. Voda upravená chloraminem je navíc bez zápachu po chloru a má lepší chuť. Nevýhodou chloraminu je to, že v koncentraci vyšší než 4 ppm je toxický. [5]

5.3.1.b Dávkování chloru

Při nesprávném dávkování chloru může dojít k negativnímu ovlivnění kvality vody. Vyšší dávka chloru se ve vodě projeví zápachem a změnou chuti vody. Množství chloru po délce potrubí, ale i čase stráveném v něm se snižuje. Děje se tak vlivem reakcí chloru s vodou a v ní obsažených organických látek. Rychlost úbytku chloru ovšem závisí také na teplotě a pH vody a na míře koroze povrchu potrubí. Proto se dávkování chloru v čase mění a dávka závisí na jednotlivé vodovodní síti a okolních podmínkách. Hodnota volného chloru by ovšem neměla překročit 0,3 mg/l. Další mezní hodnota pro dezinfekční činidla je 0,2 mg/l oxidu chloričitého u spotřebitele. Tato hodnota vychází z vyhlášky č. 252/2004 a jedná se o tzv. mezní hodnotu. Když je překročena, tak obvykle nedochází k akutním zdravotním rizikům, ale dochází právě k zhoršení kvality vody. Způsob dávkování se odvíjí od použitého dezinfekčního prostředku. [2] [26]



Obr. č. 10 Dávkování plynného chloru

5.3.2 Problematika chlorování v malé vodovodní síti

Problémy s dávkováním chloru mají většinou na menších sítích ve správě samotných obcí a tam kde jsou významné rekreační oblasti. Větší distribuční sítě obvykle provozují velké společnosti, které mají proškolený personál a mohou si dovolit i online monitorování dávkování chloru. U velkých distribučních soustav se také tolik neprojevuje významná denní resp. sezónní nerovnoměrnost odběrů, jako tomu je u sítí menších. Menší distribuční sítě také velmi často provozují samy obce nebo svazky obcí. Ty by také měli mít dostatečně proškolený personál. V praxi je ovšem obtížné toto zajistit. Problémem je, že za údržbu a provoz vodovodu obvykle bývá zodpovědný člověk, který udržuje zeleň, komunikace a všechn majetek ve vlastnictví obce. Proto je pravděpodobné, že takovýto člověk nebude seznámen s posledními trendy přecházení na bezchlorovou technologii, případně o zdravotních obtížích s nevhodným dávkováním chloru. [4]

5.3.3 Dezinfekce vody Ozonem

Ozón je nejsilnějším dezinfekčním a oxidačním prostředkem, který se používá při úpravě vody. Oxidační síla tohoto činidla je mnohem účinnější než při použití chloru. [50]

Nejlepších výsledků ozon dosahuje v kombinaci ozonu s peroxidem vodíku [$O_3 + H_2O_2$]. Touto kombinací jsou produkovány volné OH radikály, které velmi účinně odstraňují organické látky a zlepšují organoleptické vlastnosti vody. Dezinfekce ozonem se v menší míře používala od 70. let 20. století, z důvodu značných nákladů na provoz této úpravy nebyla tato technologie používána častěji. Ozonem lze nahradit činidla na bázi chloru při primární dezinfekci. Vzhledem k těkavosti tohoto plynu není ovšem možné, aby zajistil tzv. sekundární dezinfekci, nehledě k tomu, že může v lidském těle působit karcinogenně. Z toho důvodu je po primární dezinfekci z vody odstraněn např. přes aktivní uhlí. [51]



Obr. č. 11 Ozonátor

5.3.4 Dezinfekce vody UV

Ultrafialové záření (UV záření) představuje elektromagnetické záření, které je v rozmezí 100 až 400 nm. Ve vodárenství se UV záření úspěšně používá pro deaktivaci bakterií, virů a prvoků. UV záření funguje na principu narušení struktury DNA mikroorganismů. Výhodou této metody je, že neovlivňuje složení ani organoleptické vlastnosti a výsledek dezinfekce nezávisí na teplotě ani chemismu vody. Naopak účinnost UV záření snižuje zákal nebo změna barvy vody, kdy dochází k rozptylu světla a některé mikroorganismy tak mohou

projít reaktorem bez dostatečného ozáření vlnami UV. Dalším negativním vlivem na dezinfekci může být shlukování mikroorganismů a usazování povlaků na trubicích. [46] [52]



Obr. č. 12 Zapojení UV Lampy

5.4 Bakterie ve vodovodním potrubí

Z důvodu velké druhové rozmanitosti organismů přítomných ve vodovodním potrubí se přistoupilo k tomu, že jsou stanoveny tzv. indikátorové bakterie. Běžně se k zjištění bakterií ve vodě používají kultivační metody. Díky těmto metodám lze stanovit kvalitu pitné vody. Indikátorové bakterie slouží ve vodárenství ke zjištění jak organického (obecného) znečištění tak i fekálního znečištění. Menší nebezpečí pro zdraví spotřebitele představuje organické znečištění oproti fekálnímu znečištění. Mezi organickým znečištěním obvykle nacházíme zástupce z rodů *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*. [6] [28]

Psychrofilní bakterie jsou organotrofní bakterie s optimálním růstem okolo 20 °C. Kolonie si vytvářejí po 72 hod. V současné době česká legislativa stanovení těchto bakterií nevyžaduje, ale bylo vyžadováno do roku 2004. [6] [28]

Mezofilní bakterie jsou organotrofní bakterie s optimálním růstem při 37 °C. Kolonie si vytvářejí po 42 hod. V současné době česká legislativa stanovení těchto bakterií nevyžaduje, ale bylo vyžadováno do roku 2004. [6] [28]

Kultivovatelné mikroorganismy (stanovované při 22 °C a 26 °C) je skupina, do které se řadí bakterie, kvasinky a plísňe, které se množí nejlépe při teplotě 22 ± 2°C a 36 ± 2°C. Kolonie tvoří po 72 a 48 hodinách. Jejich stanovení je vyžadováno vyhláškou č. 252/2004 Sb. nejen pro vody pitné, ale i balené a pro koupaliště. [6] [28]

5.4.1 Indikátory fekálního znečištění

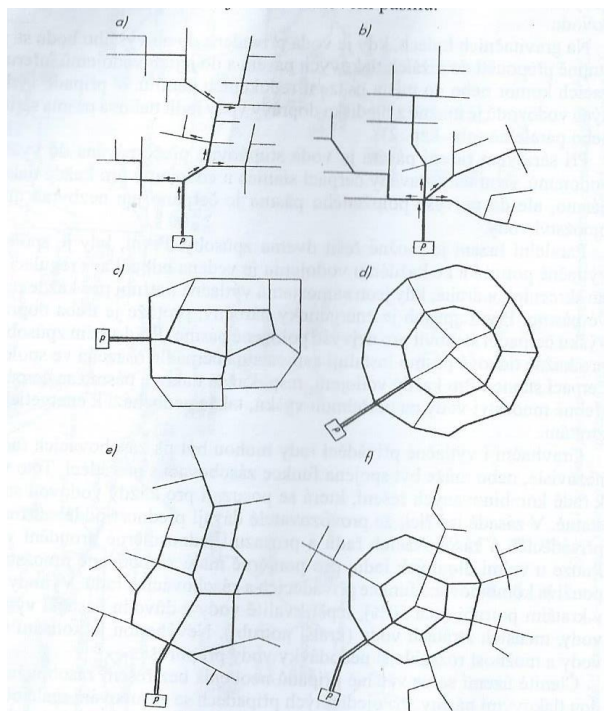
Aby bylo možno považovat organismy za indikátory, je nutné, aby splňovaly tyto požadavky. Musí být snadno stanovitelné, nesmí se množit ve vodě, dále také nesmí být patogenní a musí být stejně odolné a stabilní vůči dezinfekci jako patogeny. Mezi indikátory fekálního znečištění tedy patří např. salmonela, shigely, Escherichia coli, kampylobakter atd. Nejvhodnějšími indikátory obvykle označujeme E. coli, termotolerantní koliformní bakterie a intestinální enterokoky. Obvykle se používají i přes to, že zcela nesplňují výše zmíněná kritéria pro fekální indikátory. Pro zjišťování účinnosti dezinfekčních procesů při úpravě pitné vody se obvykle používají koliformní bakterie a Clostridium perfringens. [6] [28]

6 Doprava vody

6.1 Vodovodní síť

Vodovodní síť slouží k dopravě pitné vody spotřebitelům. Vodovodní sítě se dělí podle toho, na jaký průtok se navrhují. Potrubí, které spojuje zdroj vody a vodojem, se jmenuje příváděcí řada a navrhuje se na maximální denní průtok vody $Q_{\max d}$. Potrubí, které spojuje vodojem a odběrné místo, se nazývá zásobní potrubí a navrhuje se na maximální hodinový průtok vody $Q_{\max h}$. [11] [12]

Zásobní potrubí se rozděluje do několika skupin dle tvaru. Potrubí může být provedeno jako větvené, okružové nebo kombinované. Výhodou větveného je nižší pořizovací cena, proti tomu hovoří ovšem fakt, že v místech s nízkým odběrem dochází k velkým zdržením vody a může tím dojít ke zhoršení kvality vody. Také v případě poruch na řadu je odříznuta celá zásobovaná oblast od zdroje pitné vody. Okružové systému jsou schopny zajistit dodávku pitné vody i v případě poruchy na jednom úseku a také zde nedochází k velkým zdržením vody. Jedinou nevýhodou je vyšší pořizovací cena. Na obrázku Obr. č. 13 je vidět podrobnější dělení sítí na a) větvené, b) paprscité, c) okružové, d) prstencové, e) okruhovo-větvené a za f) prstencově paprscité. [11] [12]



Obr. č. 13 Druhy vodovodních sítí

6.2 Vodojem

Účelem vodojemu je především zajišťovat vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem vody do spotřebiště, ale také udržovat zásobu vody požární a poruchové. Voda požární se používá v případě, kdy je potřeba zajistit vodu pro hasičský záchranný sbor. Poruchový prostor ve vodojemu je připraven pro případy, že by došlo k nějaké poruše na přírodním potrubí a tím by byla ohrožena kontinuita dodávky vody pro spotřebitele. Vodojem má také stabilizovat tlakové poměry ve vodovodní síti. Vodojemy rozlišujeme jako vodojemy zemní a vodojemy věžové. Častější jsou u nás vodojemy zemní. Jejich velikost je stanovena jako součet objemů akumulčního, požárního a poruchového. Celkový objem zemního vodojemu je stanoven jako 60-100 % maximální denní spotřeby. Kvůli ekonomické i estetické náročnosti se věžové vodojemy, snažíme nenavrhovat nebo je dokonce nahradit. V případě, že se věžovému vodojemu v lokalitě nelze vyhnout, je navržen s co nejmenším objemem tzn., že je navržen pouze na akumulční objem. Je výhodné spojovat zemní a věžové vodojemy do funkčních celků. Díky tomu lze totiž ovládat z jednoho místa dvě tlaková pásma. [12][13][21][12]

6.2.1.a Provozní objem vodojemu

Výpočet tohoto objemu vychází z bilance přítoků a odtoků do tělesa vodojemu. Tato bilance se provádí v hodinových krocích. Z jednotlivých kroků se provede následně součtová čára. Z jednotlivých „přebytků“ a „nedostatků“ ve vodojemu se následně určí největší

kladný a záporný objem z bilance. Součtem absolutních hodnot obou zmíněných objemů vznikne tzv. provozní objem vodojemu. [30]

$$V_p = V_{max} + |V_{min}| \quad (9)$$

6.2.1.b Požární objem vodojemu

Postup pro výpočet požárního objemu vodojemu se nachází v normě ČSN 73 0873. Zásobování požární vodou. Samotný objem je popsán vztahem. [32]

$$A_{pož} = 3,6 n t Q_{pož} \quad (10)$$

kde n je počet odběrných míst [-]
 t je potřebná doba hašení [hod]
 $Q_{pož}$ je potřeba požární vody [l/s] závislá na typu území

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

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

²⁾ U položek 1 až 4 se nemusí k požárnímu zatížení přihlížet.

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

Obr. č. 14 Tabulka potřeby požární vody z ČSN 73 0873

6.2.1.c Poruchový objem vodojemu

Jedná se o objem, který je zde kvůli možné závadě na přívodním potrubí. Pro případ poruchy je zde objem, který má po jistou dobu, v závislosti na velikosti a významu vodojemu, zásobování spotřebiště i během oprav příváděcího řadu. [30]

$$V_r = (T/24) Q_{maxd} \quad (11)$$

kde T je doba nutná na opravu poruchy [hod]

Q_{maxd} je maximální denní potřeba [m^3/h]

6.3 Čerpací stanice

Čerpací stanice slouží v systému zásobování vodou k dopravě vody ke spotřebišti a také zajišťuje dostatečný tlak ve vodovodním potrubí.

Ve vodárenství se navrhují různé druhy čerpadel:

- pístová čerpadla slouží pro dávkování látek
- odstředivá čerpadla se používají pro dopravu vody
- mamutky slouží k odčerpávání sedimentů ze studny
- ejektory slouží pro hydraulickou dopravu filtračního písku
- pneumatická čerpadla slouží pro dopravu vody stlačeným vzduchem

Návrh počtu odstředivých čerpadel v čerpací stanici (dále jen ČS) se odvíjí od toho, zda je možné přerušit provoz ČS či nikoliv. ČS, kde není možné přerušit provoz, zásobují množství obyvatel, resp. významné průmyslové a zemědělské odběratele. Přerušeni zásobení vody by způsobilo významné škody ekologické či ekonomické [22]

Doporučené rychlosti vody pro sací potrubí jsou od 0,5 do 1,2 m/s, pokud je potrubí do průměru DN 300 a v případě, že je větší než DN 300, tak je doporučená rychlost stanovena od 0,5 do 1,5 m/s. Na výtlačném potrubí by ovšem rychlost neměla přesahovat 1,4 m/s, pokud je DN menší než 250. V případě, že je DN větší než 250, rychlost by měla být větší než 1,6 m/s. Každé čerpadlo je nutné navrhnout s uzavírací a zpětnou armaturou na výtlačné části potrubí a je také vhodné navrhnout další uzavírací armaturu kvůli údržbě a případným opravám. U návrhu ČS je třeba vždy posoudit vliv hydraulického rázu a pokud toto riziko hrozí, navrhnout vhodná opatření. [19] [22] [29]

6.4 Materiál potrubí

Materiál potrubí se pro daný projekt navrhuje na základě agresivity prostředí a vnějšího zatížení zeminy. Vliv na navržený materiál má také tlak ve vodovodní síti a možnost vzniku

hydraulického rázu. Ve vodárenství se používají zejména tyto materiály: tvárná litina, vysokohustotní polyethylen (HDPE), PVC a nerezová ocel. Výhodou tvárné litiny je oproti litině šedé její větší pevnost a pružnost. Její další výhodou je vysoká odolnost proti korozi a dlouhá životnost. Nerezová ocel se v současné době používá především na úpravnách vody z důvodu vysoké ceny. Mezi hlavní výhody potrubí z HDPE a PP patří nízká hmotnost, odolnost proti korozi, menší drsnost vnitřního povrchu, který je i méně náchylný k inkrustaci. Mezi hlavní nevýhody potrubí na bázi plastů naopak patří malá pevnost a odolnost proti mechanickým jevům okolí. Dále také velká teplotní roztažnost materiálu. U materiálů na bázi plastů je velkou otázkou jejich životnost. Díky zatím krátkým zkušenostem z provozu těchto potrubí zatím nelze říct, jakou mají HDPE a PP životnost. A zda odpovídá tvrzením výrobců, kteří tvrdí, že životnost potrubí je 100 let i více. V minulosti se hojně používala šedá litina, ocel, azbestocement nebo PVC. V současné době se již tyto materiály z různých důvodů nepoužívají. Od návrhu šedé litiny se odstupovalo z důvodů nižší pevnosti a odolnosti proti rázům. V dnešní době se již šedá litina nevyrábí, ale stále se jedná o nejrozšířenější materiál pro rozvody pitné vody. Ocelová potrubí se provádí pouze v opodstatněných případech, a to pro krátkodobé přeložky nebo ve stísněných prostorách. Ve stísněných prostorách je totiž možné využít svařitelnost oceli. Důvodem, proč se hojněji nepoužívají, je nízká životnost ocelového potrubí. Azbestocement se používal v 70 a 80 letech 20. století, ale na přelomu století byl zakázán z důvodu karcinogenity. [19] [13] [21] [19]

6.5 Návrh sítě

Vodovodní síť se většinou navrhuje na maximální hodinovou potřebu vody Q_h dle ČSN EN 805. Hlavním důvodem pro tento návrh je to, aby síť byla schopna zásobovat lokalitu pitnou vodou a zároveň nedocházelo k velkým zdržením a zbytečným investicím do nadměrné dimenze potrubí a čerpadel. I přesto může docházet v již navržených řadech k velkému zdržení vody v síti. To bývá způsobeno například špatným předpokladem budoucích odběrů ve vodovodním systému, případně při změně odběrů v průběhu jeho využívání. [9]

6.5.1 Rychlost vody ve vodovodním řadu

Navržená dimenze potrubí by měla být taková, aby rychlosti v řadu byly kolem 1 m/s. Přiměřeným rozsahem dle normy ČSN EN 805 je 0,5 až 2 m/s. I přes to že se minimální rychlost má pohybovat v tomto rozmezí může být i nižší a to v případě, že existuje požadavek na požární vodu, ten totiž musí být splněn. Při nízkých rychlostech vody se může usazovat kal v potrubí,

ale hlavně se jedná o značně předimenzovaný návrh potrubí. Takovýto průměr není ekonomicky výhodný. Naopak při rychlostech vyšších než 1,5 m/s dochází ke značným tlakovým ztrátám. Z toho důvodu se povolují rychlosti v rozmezí od 1,5 do 3,5 m/s pouze na krátkou dobu, a to pouze při odběru požární vody. Potrubí ve vodovodní síti musí být minimální tlakové třídy PN 10. Rychlost vody může být nižší i u dříve navržených potrubí, která byla navržena za výrazně vyšších potřeb vody. Snižování odběrů vody spotřebiteli je jev, který probíhal v posledních letech. Snížení spotřeby je způsobeno jednak zvýšením ceny vody a snížením množství vody technologické a uniklé vody z vodovodního systému. V současné době se však již nepředpokládá žádné výrazné snižování spotřeby vody vlivem šetření vodou. Spotřeba vody na jednoho obyvatele je v podstatě na hygienickém minimu. [33] [49]

6.5.2 Tlaky ve vodovodním řadu

Tlaky ve vodovodní síti by se měly pohybovat v rozmezí od 0,25 (0,15) MPa. do 0,60 (0,75) MPa dle zákona č. 274/2001. Minimum tohoto rozmezí zajistí pohodlné využití pitné vody a maximum zamezí příliš vysokým ztrátám vody, které by za velkých tlaků mohly nastat. Z provozních důvodů je bezpečnější umisťovat vodojemy nad spotřebišť. Takto totiž voda doteče do obce gravitačně, tj. není třeba využít žádné čerpadlo a zásobovaná oblast není závislá na výpadcích elektrického proudu. Tím se snižuje riziko výpadku dodávky pitné vody. U menších sídel se obvykle nepřístupuje k výstavbě věžového vodojemu. Výstavba věžového vodojemu by totiž byla neúměrně drahá vůči významu spotřebišť, nehledě na architektonický ráz obce. Proto se v malých sídlech navrhuje tzv. automatické tlakové stanice. [19]

6.6 Navrhování a provoz vodovodní sítě

6.6.1 Návrh vodovodní sítě

Při provádění vodovodních řadů je třeba dbát na několik věcí:

1. Aby byl vždy vodovod nad kanalizací a zamezilo se tak kontaminaci.
2. Dbát na odstupové vzdálenosti ve svislém i vodorovném směru dle ČSN 73 6003. [34]
3. Dbát na technické normy a požadavky výrobce pro správnou montáž. Normy, které se vodovodů týkají, jsou ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí, ČSN EN 805 75 5011 Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti, ČSN 75 5411, TNV 75 5402 (755402)

4. Dbát na dostatečnou hloubku potrubí, aby nedocházelo k poškození mrazem anebo zatížením od dopravy nad potrubím.
5. Dbát na lože pod potrubí, aby nedošlo k poškození. To je důležité zejména u potrubí na bázi polymeru uloženém na skalním podloží.

6.6.2 Provoz vodovodní sítě

Pro provoz vodovodů v ČR se prosadili ve své podstatě 4 základní modely. V různých oblastech jsou sice mírně upraveny, ale v zásadě se dá hovořit o oddílném modelu provozování, smíšeném modelu provozování, vlastnickém modulu provozování a také o modelu samostatného provozování. [9]

6.6.2.a Oddílný model provozování

Tento model vychází z toho, že jsou zde jasně rozdělené role. Je zde zastoupen vlastník vodovodní soustavy a provozovatel. Jedná se o nejpoužívanější model, který se vyskytuje asi u 65 % všech soustav. Vlastník získává od provozovatele nájemné za vodovodní soustavu, kterou spravuje provozovatel. Provozovatel také vybírá vodné a stočné, cenu ovšem stanoví vlastník systému. Výnosy z vodného a stočného jsou příjmy provozovatele, které jsou použity na provozní náklady a část z nich se stane přiměřeným ziskem. [9]

6.6.2.b Smíšený model provozu

U tohoto provozního modelu je jak infrastruktura, tak provozní aparát vlastněn jednou společností. V této společnosti má podíl jak soukromý sektor, tak i veřejný sektor, resp. obce. Tento způsob je uskutečněn asi u 20 % odběratelů. Výhodou tohoto systému provozu je to, že je snadné určení odpovědnosti za stav majetku a poskytovaných služeb. Naproti tomu nevýhodou je to, že se poměrně komplikovaně prosazují tržní zásady u tohoto systému. [9]

6.6.2.c Vlastnický model provozování

Jedná se o model, kde je vodovodní systém plně vlastněn i provozován obcí nebo skupinou obcí. V tom případě obec nebo skupina obcí vytvoří společnost typu technické služby a ta má na starost údržbu a provoz infrastruktury, resp. služby zásobování pitnou vodou. [9]

6.6.2.d Samostatné provozování

Tento model se uplatňuje zejména v souvislosti s nejmenšími obcemi, které nezvládnou garantovat požadovanou technickou úroveň vodovodu. Aby dokázali zajistit tuto úroveň, je nutné mít osobu, která má oprávnění k provozu vodovodu od krajského úřadu. Tento model je v ČR nejméně rozšířený. [9]

6.6.2.e Oprávnění k provozování vodovodu

Pro oprávnění k provozování vodovodů a kanalizací je třeba zažádat u příslušného krajského úřadu žádost o povolení na tiskopise dle přílohy č. 11 vyhlášky č. 428/2001 Sb. [9]

Oprávnění lze vydat za těchto podmínek:

- Osoba je oprávněna provozovat živnost provozování vodovodů a kanalizací.
- Osoba je vlastníkem vodovodu, což ji opravňuje vodovod nebo kanalizaci provozovat.
- Odpovědný zástupce splňuje kvalifikaci odpovídající požadavkům na provozování, pro zásobování obcí do 5 000 fyzických osob musí mít střední vzdělání s maturitní zkouškou v oboru a minimálně 4 roky praxe v oboru. Pokud se jedná o obec nad 5 000 osob, musí mít vysokoškolské vzdělání a nejméně 2 roky praxe v oboru vodovody a kanalizace. Pokud by obec neprovozovala vodovod nebo kanalizaci za účelem dosažení zisku, nemusí mít oprávnění k provozování živnosti. [9]

6.6.3 Provozní řád

Jedná se o dokument, který je povinný pro každý veřejný vodovod. Obvykle je zpracován projektantem při výstavbě dle vyhlášky č. 216/2011 Sb. resp. dle TNV 75 5950. Tento dokument se musí pravidelně aktualizovat a při každé změně se musí projednat s orgány bezpečnosti práce a hygienické služby a poté musí být schválen vodoprávním úřadem. V tomto dokumentu jsou předepsané postupy, frekvence údržby a také rozsah provozní dokumentace. [8]

6.6.4 Provozní deník

Dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. musí provozovatel vést záznamy o provozu systému tomuto dokumentu, který může být zapisován i v digitální podobě, se říká provozní deník. Záznamy z provozních deníků se musí uchovávat po dobu 5 let. [10]

6.6.5 Provoz v malých vodovodních sítích

Nejprve je dobré definovat malou vodovodní síť. Rozdělení na malé a velké vodovodní sítě není snadné. Je totiž možné použít více kritérií, jako je například objem vyrobené vody, počet přípojek, složitost technologické úpravy. V rámci EU se ale používá jednoduché dělení pocházející ze směrnice Evropské rady 98/83/ES. V této směrnici se jako hranice používá množství 5000 vodovodem zásobovaných obyvatel. Existují ovšem i sítě, které mají počet zásobovaných obyvatel vyšší než je 5000 a mají obdobné problémy. Těmito problémy je např.

nedostatek kvalifikovaného personálu, nedostatek finančních zdrojů, nedostatek odborného zázemí, vyšší jednotkové náklady na stavební práce. [10]

Příčiny problémů malých vodovodních systémů jsou:

- Nižší úroveň právní regulace
- Menší četnost rozborů
- Absence legislativních požadavků na správnou praxi výroby pitné vody
- Jednoduchá technologie
- Nedostatek odborných znalostí a zázemí
- Nedostatek finančních zdrojů
- Nezájem politických špiček

Všechny tyto důvody mají za následek to, že je větší pravděpodobnost jak technické poruchy, která vede jen k zvýšení ztrát vody anebo k tomu, že dochází ke znečištění pitné vody, případně také ke zdravotním problémům obyvatel zásobované oblasti. [10]

6.7 Kvalita pitné vody ve vodovodní síti

Kvalita pitné vody je ovlivněna, zdrojem vody, množstvím dávkovaného chloru a vodovodní sítí. Vodovodní síť může kvalitu vody ovlivnit zejména tím, jak je síť navržena, provedena a provozována. Při špatném návrhu sítě může docházet k velkým zdržením vody v síti. Toto zdržení má negativní vliv na kvalitu vody. Při špatném provedení může docházet ke kontaminaci vody netěsností potrubí. [25]

6.7.1 Úbytek chloru v distribuční síti

Kvalita vody je významně ovlivněna procesy v biofilmu vytvořeném na vnitřních plochách potrubí. Nárůst bakterií ve vodě je velmi nízký, za běžných podmínek nezměřitelný. V případě, že je kvalita vody stabilní, stanou se procesy nárůstu bakterií v biofilmu a uvolňování biofilmu do vody rovnovážnými. Pokud je biofilm stabilní, uvolňují se bakterie z něj velmi málo. Zásadní vliv na kvalitu vody v síti má ovšem zbytkové množství dezinfekčního prostředku ve chvíli, kdy tyto hodnoty kolísají. Zbytkové množství činidla totiž ovlivňuje aktivitu bakterií v biofilmu. Pokud se například chlor dávkuje občasně, dochází k výraznější produkci bakterií v biofilmu anebo jsou bakterie chlorem usmrceny. To má za následek zvýšené uvolňování bakterií do pitné vody. Z toho plyne, že v případě omezení sekundární dezinfekce ve vodovodní síti v již provozovaných systémech, by provozovatel neměl přistoupit k náhlým změnám. K tomuto kroku by se však neměl rozhodnout dříve,

než zjistí, zda je možné chlorování ukončit. A také až po tom, co zjistí skutečný stav vodovodní soustavy a prověří se stav ve zvolených odběrných místech. Na odběrných místech se stanovuje obsah nutrientů a stav mikrobiologické situace. [25]

6.7.2 Úbytek chloru

Pro potřeby matematického modelování úbytku chloru ve vodovodní síti se velmi často zavádí předpoklad, že je voda na začátku potrubí již plně promíchaná s chlorem a chlor v potrubí ubývá po celé délce stejně rychle. Také se předpokládá, že voda se v celém průřezu pohybuje stejnou rychlostí. Velmi často je u vodojemů předpoklad toho, že jsou plně promíchávané. Úbytek chloru je možné modelovat buď tak, že záleží na reakci chloru ve vodě a na reakci chloru s vnitřním povrchem potrubí nebo lze zjednodušeně říct, že záleží pouze na reakci chloru ve vodě a reakci s povrchem zanedbat. Rychlost reakce u stěny potrubí je obvykle popsána rovnicí (12). Úbytek chloru v proudu vody je obvykle popsán rovnicí (13). Jedná se o prostý úbytek n-tého řádu, přičemž se nejvíce používá řádu prvního někdy také druhého. [25]

$$r = \frac{2k_w k_f C}{R(k_w + k_f)} \quad (12)$$

- kde k_w je konstanta poklesu chloru u stěny pro rovnici I. řádu [m/s]
 K_f je koeficient přestupu hmoty [m/s]
 R je poloměr potrubí [m]
 r je rychlost reakce na povrchu potrubí [mg/l/den]

$$R = k_b C^n \quad (13)$$

- kde k_b je objemový reakční koeficient [den⁻¹]
 C je koncentrace chloru [mg/l]
 n je reakční řád [-]
 R je rychlost reakce v proudu vody [mg/l/den]

Rychlostní koeficienty úbytku chloru ve vodě (označeno K_b) a rychlostní koeficienty úbytku chloru u povrchu potrubí (K_w) jsou popsány v literatuře. Pro jednotlivé lokality se

mohou relativně výrazně lišit. Tyto koeficienty jsou závislé na chemickém složení surové vody, technologii úpravy a také na potrubní síti. V článku doktorky Slavičkové „Změny kvality vody při dopravě a jejich modelování v programu Epanet 2“ jsem našel hodnoty $K_b = -0,36 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,02 \text{ m/d}$, [45] dále také v článku „Modelování úbytku chloru a nárůstu koncentrací železa v distribuční síti pitné vody“ od doktorky Slavičkové a kolektivu autorů, kde jsou uvedeny koeficienty $K_b = -0,1 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,06 \text{ m/d}$. [25] Dalším zdrojem pro rychlostní koeficient úbytku chloru je od autorů odborného článku Modelling of chlorine decay in municipal water supplies od autorů Fang Huaa J. R. Westa R. A. Barkerb C.F. Forstera. Jedná se o laboratorní výzkum úbytku chloru, ve kterém je ovšem stanoven pouze objemový úbytek. V tomto výzkumu, ale není uvažován úbytek vlivem kontaktu s povrchem potrubí. V článku je stanoven rychlostní koeficient v závislosti na teplotě, Za předpokladu teploty vody kolem $10 \text{ }^\circ\text{C}$ je rychlostní koeficient $K_b = -0,03 \text{ d}^{-1}$ [25] [37] [48]

7 Proč nechlorovat

V posledních letech se i do České republiky dostal trend, kde se již nepoužívá jako dezinfekční činidlo chlor. Tento trend přichází z Německa, Švýcarska a Rakouska, kde desetileté provozování dokázalo, že lze nechlorovanou vodu bezpečně používat. Pro primární dezinfekci vody se preferuje používání jiných prostředků. Jako příklad se dá uvést UV záření, chloraminy, oxid chloričitý, peroxid vodíku nebo i ozonizace. Také je možné zdokonalit předúpravu vody lepší koagulací nebo lepší filtrací, jako je např. membránová filtrace. To může snížit potřebu dávkování chloru nebo úplně dávkování přerušit. Důvodem pro omezení dezinfekce pomocí chloru je to, že chlor reaguje nejen s bakteriemi ale i s přírodními organickými látkami. Tím vzniknou vedlejší produkty dezinfekce a mnohé z těchto produktů mají toxické nebo karcinogenní vlastnosti. Dalším důvodem, proč omezit sekundární chlorování vody je to, že v případě mikrobiologického znečištění ve vodovodní síti ani maximální mezní hodnota tj. $0,3 \text{ mg/l}$ udávaná ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. nedokáže zabezpečit pitnou vodu a zajistit její dostatečnou kvalitu pro uživatele. Dalším důvodem, proč pitnou vodu sekundárně nechlorovat je ten, že chlor jako oxidační činidlo reaguje s látkami ve vodě a tím vznikají látky s nižší molekulovou hmotností. Nově vzniklé produkty jsou lépe využitelné pro mikroorganismy. Mikroorganismy z těchto látek snáze získávají energii a hrozí, že se ve vodě budou množit mnohem rychleji. Pro zjištění sekundárního růstu bakterií se jako ukazatelé používají asimilovaný či biodegradabilní organický uhlík (AOC/BDOC). [2] [35]

Omezení dávkování chloru případně distribuce vody bez sekundárního chlorování se v zahraničí osvědčila jak v malých vodovodních systémech, tak i v těch velkých, které zásobují stotisícové nebo milionové aglomerace, jako jsou například Amsterdam, Berlín a Curych. [2]

Na druhou stranu ne u všech vodovodních systémů lze přejít na bezchlorový systém zejména z hlediska ekonomické náročnosti přestavby na bezchlorovou technologii. Tato změna patrně nebude znamenat zapomenutí úpravy vody chlorováním. Chlor bude používán i nadále např. při havarijních stavech nebo jako mobilní chlorovací jednotky. [2] [35]

Nejvhodnější pro aplikaci bezchlorové úpravy vody jsou podzemní zdroje, které ovšem nejsou ovlivňovány vodami povrchovými. Výhodou podzemní vody je, že nemusí být významněji upravovaná ať už z důvodu nižší a stabilní teploty vody, tak z důvodu, že půdní a horninové vrstvy tvoří filtr. Podzemní vody obvykle neobsahují koliformní bakterie *Escherichia coli* nebo zvýšené množství organických látek. Pokud se vyskytují ve vodách, značí to, že podzemní voda je ovlivněna zasakováním povrchových vod nebo je voda znečištěna. Bezchlorová úprava vody lze ovšem provést i z vod podzemních znečištěných či z vod povrchových. Pokud se provozovatel rozhodne pro nahrazení sekundární chlorace bezchlorovou technologií, měl by být postup následující. Provozovatel by měl snižovat množství chloru postupně a zajistit dohled nad tímto procesem. Po snížení chlorace se totiž může při přeměně biofilmu uvolňovat velké množství bakterií. Pokud se přistoupí ke snižování dávky chloru o 0,1 až 0,15 mg/l je toto riziko velmi malé. Po snížení dávky chloru by se mělo dohlížet na kvalitu pitné vody po dobu 3 měsíců. Pokud po této době dojde ke zvýšení počtu kolonií je důležité nezvyšovat opětovně dávku chloru, ale prodloužit dobu, po kterou se biofilm bude přeměňovat. To znamená neměnit dávkování chloru, ale prodloužit monitorování soustavy. Je také možné, že se ve vodě vyskytnou koliformní bakterie. To je způsobeno tím, že dávka chloru zastírala technické problémy vodovodní sítě. Po odstranění technického problému je tedy možné opět přistoupit ke snižování množství chloru. Po skončení tohoto procesu je také dobré zajistit dohled nad vodovodní soustavou alespoň po dobu 2 měsíců a pokud se nevyskytnou žádné problémy lze předpokládat, že tento systém bude již fungovat bez hygienického rizika. [2] [35]

V případě že by provozovatel chtěl omezit primární chlorování je důležité, aby zajistil kvalitu vody ve zdroji a postupoval obdobně. Případně lze chlorování nahradit jiným druhem dezinfekce. [2]

8 Matematické modely

8.1 Historie matematických modelů ve vodním hospodářství

Historie matematických modelů začíná po druhé světové válce konkrétně v roce 1946, kdy byl tzv. ENIAC používán pro vojenské účely například pro výpočet termonukleární pumpy. V průběhu dalších let se využití simulačních modelů rozšiřovalo a v 60. a 70. letech se simulační modely používaly pro řešení hydrodynamických a hydrologických problémů. Do této doby byl uživatel zároveň programátor. K dalšímu rozvoji došlo v 70. - 80. letech, kdy díky rozšíření počítačů mezi širší veřejnost došlo i k hojnějšímu využívání matematických modelů ve vodním hospodářství. Měnit se také začala i pozice uživatele, který už nemusel naprogramovat svůj vlastní simulační model, ale mohl využívat již prodávaných komerčních produktů. S dalším rozvojem počítačové techniky se modely mohli zabírat složitějšími úlohami, jako jsou například srážko-odtokové modely a 3D proudění. V současné době se hlavní, rozvoj v modelování soustředí na ekologické a ekonomické aspekty projektů a také na řízení v reálném čase. [7]

8.2 Programy pro matematické modely ve vodárenství

Matematické modelování ve vodárenství je významnou pomocí pro správný návrh sítě a tento význam se v budoucnu bude ještě více zvyšovat. Díky matematickému modelování je možné nalézt relativně rychle slabá místa, jak již navržených, tak i stávajících vodovodních sítí. Posuzovány jsou z hlediska tlakových pásem, ztrát vody, hydraulických rázů a také kvalitativních parametrů pitné vody. Tím je možné optimalizovat provoz či nalézt problémové místo již navržených sítí nebo upravit návrh sítí nových a tím snížit ekonomickou náročnost oprav. [43]

8.2.1 Siteflow

Jedná se o program, který je vytvořen českou společností Aquion, s.r.o. Tento program je specializovaný pro projekty vodovodních a kanalizačních sítí. Výhodou tohoto programu je to, že pracuje se softwarovým rozhraní CAD a GIS. Díky tomu lze snáze do modelu zadávat modely terénu a z modelu poté generovat podélné profily vodovodních řadů nebo dešťových či splaškových stok. [36]

8.2.2 Piccolo

Jedná se o 2D program, který byl vyvinut ve výzkumném centru Lyonnaise des Eaux (CIRSEE). Specializuje se na úbytek chloru ve vodovodní síti. Je také vhodný k tomu,

aby namodeloval růst bakterií a také předurčil zóny, ve kterých se budou bakteriální nárůsty usazovat. Je také znám pro svou rychlost a rozsáhlou škálu schopností pro modelování zejména úbytku chloru. Mezi tyto schopnosti patří například možnost rozlišných odběrových křivek pro každý uzel, tvarování vodojemů do různých tvarů a regulace tlaků. [37] [47]

8.2.3 WaterGEMS

Jedná se o nadstavbu programu WaterCAD od americké společnosti Bentley. Mezi výhody tohoto softwaru patří to, že nejen pracuje se softwarovým rozhraním CAD a GIS, ale také pomáhá s optimalizací čerpadel pro vyšší efektivitu vodovodního systému. Dále také dokáže nalézt možná problematická místa ve stávající síti. Tento program se dá také použít pro identifikaci úniků ze sítě, a hlavně dokáže simulovat provoz v reálném čase. [38]

8.2.4 EPANET 2

Jedná se o jeden z nejrozšířenějších programů, který se používá pro výpočty tlakového potrubí. Byl financován z grantu americké vlády a je k dispozici bezplatně. Tento model je využívám jako jádro komerčních modelů. Jako jsou například WATERCAD, MIKE URBAN a také CYBERNET. Model v Epanetu se skládá z potrubí (pipes), uzlů (nodes), dále také zdroje (reservoir), vodojemu (tank) a také z čerpadla (pump). Hlavními výstupy z tohoto modelu jsou rychlosti vody, průtoky v potrubí, tlakové podmínky ve vodovodním systému, doba zdržení a množství chloru v pitné vodě. Tyto parametry vodovodní sítě jsou velmi důležité. V programu Epanet 2 se obvykle posuzují variantní návrhy nové sítě nebo jako v tomto případě je možné posoudit již stávající vodovodní systémy. [39] [47]

8.2.5 MIKE URBAN

U nás patří jeden z nejpoužívanějších komerčních produktů. Model je vytvořen společností DHI, Je založen na jádru Epanetu ale program má širší využití. Mike Urban lze použít nejen v tlakových potrubích, ale i pro gravitační stokové či dešťové potrubí. K výpočetnímu jádru od Epanetu jsou přidány i nástroje GIS od společnosti ESRI [40]

8.2.6 SCADA

Slovo SCADA je zkratkou (Supervisory Control and Data Acquisition) jedná se o druh dispečerského systému, v něm lze monitorovat a spravovat provoz všech technologií, jež jsou ke SCADA připojeny. Výhodou SCADA systémů je to, že umožňují udržovat si celkový přehled o systému a reagovat (řídit jej) v reálném čase. Díky tomuto systému lze optimalizovat řízení. Další výhodou tohoto programu je to, že uchovává historická data, díky kterým může být optimalizace snadnější. [55] [56]

9 Water Safety Plan

Water safety plan dále jen WSP je posouzení a řízení rizik při jímání, výrobě a distribuci pitné vody. Hlavní myšlenkou WSP je to, že preventivně posuzuje hygienická rizika jak z hlediska velikosti ohrožení zdraví, tak i z pohledu četnosti výskytu jednotlivého rizika. Hlavní součástí WSP je takzvaná riziková analýza ve vodárenství.[4] [24] [26]

Evropská komise zavedla rizikovou analýzu novelou směrnice č. 2015/1787 a změnila tak stávající přílohy II a III směrnice 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu. Přístup evropské směrnice principiálně vychází ze systému kritických bodů (HACCP), který se používá v potravinářství. Evropská směrnice je implementována pomocí novel do zákonů č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a také do vyhlášky č.252/2004 Sb. která stanoví požadavky na vodu pitnou a teplou vodu. I vlivem řady havárií na vodovodech z let 2014-2015 byla evropská směrnice přijata a v některých parametrech je přísnější, než je požadováno Evropskou komisí. [23] [26]

Výše zmíněné vyhlášky a zákony zavádějí pro všechny výrobce a distributory pitné vody povinnost vypracovat monitorovací program, který ověřuje, zda jsou možná rizika provozovatelem řádně vyhodnoceny a to, jsou-li pod kontrolou. Od rizikové analýzy se očekává zejména snížení množství zdravotních problémů, zlepšení ochrany vodních zdrojů, zlepšení kvality pitné vody a menší četnost a následky havárií. Hlavní myšlenkou rizikové analýzy je poznat, jak vodárenský systém funguje a co ohrožuje jeho bezvadný provoz. Tím se určí rizika, která jsou významná a častá. K nápravě těchto nebezpečí se mohou lépe přizpůsobit nápravná opatření, a naopak se můžou snížit nebo úplně zrušit opatření proti rizikům, která jsou nepravděpodobná. To má za následek, že investice na ochranu bezpečnosti a kvality pitné vody jsou účelnější a směřovaná k větší efektivitě celého systému. Také to má za následek to, že se získává mnohem větší důvěra spotřebitelů v provozovatele a vodárenský systém vůbec. Riziková analýza také usnadňuje a zlepšuje práci dozorových orgánů při kontrolách provozovatele. [4] [24] [29]

Zavedení a samotné zpracování rizikové analýzy pro provozovatele znamená vyšší administrativní zátěž a osobní náklady spojené se zavedením posouzení rizik. První analýza rizik by měla být zpracována zaměstnancem či zaměstnanci provozovatele v závislosti na tom, o jak složitý systém se jedná. Ve všech zemích i jednotlivých vodárenských společnostech, kde se zavedla riziková analýza, došlo ke shodě, že přínosy jasně převažují nad nevýhodami. [4] [24] [26]

Z hlediska rizikové analýzy lze vodovodní systém rozdělit na jednoduchý a komplexní. Jedná se však pouze o orientační dělení a není v žádném případě závazné. Provozovatel si může sám rozhodnout o tom, jak rizikovou analýzu zpracuje. Zda se bude řídit zjednodušenou osnovou nebo zda se bude držet metodiky platné pro komplexní systémy. Pro menší provozovatele (jednotlivé obce anebo svazky obcí) je ovšem vhodné řídit se zjednodušenou osnovou vzhledem k ulehčení práce s tím spojené. [4] [26]

Za jednoduchý systém lze považovat vodárenský systém, který zásobuje méně než 300 obyvatel a roční produkce pitné vody nepřekračuje 9000 m³. Tento systém musí být zásobován vodou podzemní. Roli také hraje to, jak je složitá úprava vody. Aby mohl být systém považován za jednoduchý, je nutné, aby se jednalo o úpravu vody provzdušněním, odkyselením nebo úpravu pro odstranění těžkých kovů, uranu, radonu, arsenu případně také odstranění pesticidů. Do jednoduché úpravy spadá také to, když je voda dezinfikována. V případech, kdy není jasné, do jaké kategorie vodovodní systém spadá, se provozovatel domluví na postupu s krajskou hygienickou stanicí. [4] [26]

Pro každou zásobovanou oblast se riziková analýza zpracovává samostatně, pokud ovšem není součástí skupinového vodovodu, který spravuje jeden provozovatel. V takovém případě se riziková analýza zpracovává pro celý skupinový vodovod. V případě, že má systém více provozovatelů, riziková analýza se zpracovává tak, aby na sebe obsahově a časově jednotlivé části navazovali. [4] [24]

Pro zpracování rizikové analýzy je třeba učinit 8 kroků. V rámci této diplomové práce je zde popsán postup rizikové analýzy pro komplexní systém. Pro jednoduché vodovodní systémy lze uplatnit několik zjednodušení. Za prvé se jedná o to, že nebezpečí se vybírají z definované nabídky, která by měla pokrýt většinu problémů, a je dostupná na stránkách státního zdravotního ústavu viz. odkaz: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/wsp>. Za druhé se nebezpečí vybírají formou „ano-ne“. V případě, že se riziko vyskytne, jedná se o nepřijatelné riziko. Z toho vyplývá, že odpadá krok charakterizace rizika, kdy se odhaduje dopad nebezpečí na systém a četnost výskytu. Posledním zjednodušením je, že k nabídce rizik jsou popsána i standardní nápravná opatření či způsob monitorování. [4] [24] [26]

9.1 Výběr týmu

Prvním úkolem je výběr týmu, který je odpovědný za zpracování a zavedení plánu rizikové analýzy pro zásobování pitnou vodou. Ideálně by se mělo jednat o tým, ve kterém jsou zastoupeny různé profese. Měl by zahrnovat manažery, techniky, odborníky na kvalitu pitné vody a další. Čím je tým bohatší na odborníky, tím může komplexněji posoudit rizika vodárenského systému. [4]

9.2 Charakteristika systému zásobování

To znamená aktuální inventura systému po stránce technické, organizační i personální. Je vhodné, aby tato charakteristika obsahovala přehlednou mapu s vodovodním systémem včetně vyznačení ochranných pásem. Také by nemělo chybět schéma se všemi objekty na síti s popisem druhů materiálů v kontaktu s vodou, popis zdrojů vody a také způsob úpravy a použité chemické látky. Také je vhodné sepsat stručnou charakteristiku odběratelů. Také by měly být shromážděny informace o haváriích a stavu kvality vody za dobu minimálně 5 let. [4]

9.3 Nalezení všech nebezpečí

Nebezpečím ve vodovodní síti se obvykle označují vlastnosti látek, které způsobují zdravotní obtíže nebo poškození systému. Jako pomůcka pro vyhledávání rizik může sloužit databáze zpracovaná v projektu Techneau, případně zkrácený checklist pro malé vodní zdroje zpracovaný Švýcarským spolkem pro vodárenství. V případě zkušeného a multioborového týmu lze vycházet z osobních zkušeností členů týmu. Stávající kontrolní opatření je nutné ověřit po stránce efektivity a spolehlivosti. [4]

9.4 Charakterizace rizika

Charakterizace rizika je v první řadě odhad pravděpodobnosti vzniku a následků zjištěných nebezpečí od čehož se odvíjí určení prioritních rizik a kritických bodů. Pro zjednodušení charakterizace rizik se obvykle používá matice rizik viz. Obr. č. 16 a včetně popisu jednotlivých bodů. Volba matice je na uvážení provozovatele. Je vhodné toto posouzení provést dvakrát. Jednou posoudit zájmovou oblast tak, jako by žádné ze stávajících opatření nefungovalo a poté stávající stav. Díky tomu lze určit, které opatření je pro fungování systému nejpodstatnější. Také lze provést toto posouzení pro výhledový stav. Vyhodnocení rizik záleží na provozovateli vodovodu, který se může řídit metodickým návodem ke zpracování posouzení rizik systémů zásobování pitnou vodou podle zákona č. 258/2000 Sb., případně může pracovní tým přistoupit ještě k přísnějšímu posuzování nepřijatelných rizik. [4] [23]

Úroveň	Deskriptor	Popis
Pravděpodobnost		
A	Téměř jisté	Jedenkrát denně
B	Pravděpodobné	Jedenkrát týdně
C	Méně pravděpodobné	Jedenkrát za měsíc
D	Nepravděpodobné	Jedenkrát za rok
E	Vzácné	Jedenkrát za pět let
Následky / dopad		
1	Nevýznamné	Bez detekovatelného vlivu
2	Malé	Malý estetický vliv vyvolávající nespokojenost, ale je nepravděpodobné, že by vedl k přechodu na méně bezpečné alternativní zdroje
3	Střední	Velký estetický vliv, který může vyústit v používání alternativních, avšak nikoli bezpečných zdrojů vody
4	Velké	Konzumace vody způsobí onemocnění
5	Katastrofické	Konzumace vody způsobí úmrtí

Obr. č. 15 Popisující hodnotící kritéria pro rizika

Pravděpodobnost (výskytu nebezpečí)	Následky			
	Nevýznamné	Malé	Střední	Velké
A (téměř jisté)	1	2	3	3
B (pravděpodobné)	1	2	2	3
C (méně pravděpodobné)	1	2	2	3
D (nepravděpodobné)	1	1	2	2
E (vzácné)	1	1	1	2

Obr. č. 16 Matice rizik

9.5 Navržení nápravných a kontrolních opatření

U nepřijatelných rizik je nezbytné, aby byla navržena nějaká nápravná či kontrolní opatření. Ty musí být uskutečněny v co nejkratším možném čase. Některé kritické body lze odstranit celkem rychle jednorázovým opatřením např. zamezení létání hmyzu pořízením mřížek na okna. U některých rizik je nezbytné naplánovat nápravná opatření v delším časovém horizontu buď z důvodů projekčního nebo investičního. Tato rizika musí být monitorována pravidelnou kontrolou (údržbou) nebo pravidelným či on-line měřením vybraného parametru vody. U rizik, která jsou hodnocena jako nízká, je pravděpodobné, že budou považována za přijatelná. Střední rizika se obvykle vyhodnocují individuálně v závislosti na jednotlivém riziku. V případě že nápravné opatření u některého rizika bude neúměrně ekonomicky náročné, lze považovat za přijatelné, ale je nutné ustanovit nějaký kontrolní mechanismus resp. měření.

[4]

9.6 Zavedení kontrolních opatření a správné provozní praxe

V tomto bodě jsou již vyřešena nápravná opatření a jde o správný monitoring. Monitoringem je myšleno, jak vizuální šetření, tak laboratorní analýzy. Nezbytné je také stanovení limitů a postup při jejich překročení. Ty jsou součástí provozního řádu a zajišťují chod a údržbu systému zásobování pitnou vodou. Kontrolní měření by měla být prováděna s vědomím těchto bodů, a měla by být dostatečně přesná a také pravidelně kalibrovaná. [4]

- Co a kde se sleduje?
- Kdo a jak často to sleduje?
- Jedná-li se o odběr vzorku vody, kdo provede následnou analýzu?
- Jsou stanoveny varovné nebo kritické meze sledovaného parametru?
- Komu bude nahlášen výsledek sledování a kdo rozhodne o jeho vyhodnocení?
- Jak (kým) bude výsledek sledování dokumentován?

9.7 Verifikace

Verifikace neboli ověření správnosti plánu a jeho účinného provádění například externím auditem nebo nezávislým přezkoumáním správnosti rizikové analýzy, ale i pravidelná verifikace ze strany provozovatele prostřednictvím povinných rozborů vody a sledování spokojenosti spotřebitelů. [4]

9.8 Opakované přezkoumání účinnosti plánu

Na základě nových informací tj. výsledků kvality vody, nových havárií, případné změny systému nebo povodí je nutné ověřit, zda je Water Safety Plan stále platný a schopný plnit svou funkci. V opačném případě je třeba provést aktualizaci, aby odpovídal nové situaci a zajišťoval dostatečnou kvalitu i kvantitu vody. O časovém intervalu, po kterém by měl být WSP přezkoumán by měl rozhodnout tým, který sestavoval tento plán. [4]

10 Měření a monitoring

Měření odebrané vody povrchové nebo podzemní se měří buď v tlakových úsecích potrubí nebo v úsecích s volnou hladinou. Pokud není možné zajistit technické podmínky pro měření odebrané vody, je možné množství vody odvodit od odběru elektrické energie, která byla spotřebována při odběru vody. [11]

Pokud je měřidlo nebo měřicí systém prokazatelně nefunkční je odebírané množství stanoveno z počtu hodin nefunkčnosti a z průměrného hodinového průtoku vody za období od počátku roku do vzniku poruchy a u sezonních odběrů povrchové nebo podzemní vody z naměřených údajů předchozího roku. [11]

Dle § 27 vyhlášky 428/2001 Sb. je možné stanovit množství odebrané vody ze směrných čísel roční potřeby vody z přílohy č. 12 v případě, že nebyl osazen vodoměr. Pokud byl vodoměr osazen v minulosti a měření probíhalo minimálně rok lze určit množství vody z předchozích odběrů, pokud nedošlo k změnám podmínek odběratele. [10]

10.1 Vodoměry

Za účelem měření množství odebrané vody provozovatel osazuje vodoměr dle technických podmínek a to podle průměrného a maximálního odběru. V případě netypických požadavků na odběr lze provést podrobný výpočet. [10]

V bytech a bytových domech jsou nejvíce využívány mechanické vodoměry pracující na rychlostním a objemovém principu. Rychlostní vodoměry pracují na principu, který pro měření objemu využívá vztah mezi objemem, který protekl vodoměrem a počtem otáček lopatkového kola. Objemové vodoměry jsou založeny na principu, kdy pohyb otočného pístu je převeden na počítadlo vodoměru. Vodoměry jsou konstruovány tak, aby za standardních podmínek a při předepsaném používání dosahovaly dostatečné přesnosti. Pro správnost měření je nezbytné, aby u vodoměru docházelo k pravidelným kontrolám a ke kalibraci měřidla. Aby mohl být vodoměr použit jako podklad pro fakturaci pitné vody, musí vodoměr splňovat zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. a vyhlášku č. 345/2002 Sb. I přesto ale může docházet k nesprávnému měření. Hlavními příčinami nesprávného měření u mechanických vodoměrů jsou nesprávně provedená montáž, závada v mechanickém počítadle, nepříznivé tlakové podmínky na vodovodní síti a také zanášení částí vodoměru. [41]

V případě podezření na chybné měření dojde obvykle k demontáži vodoměru a k přezkoušení ve zkušebním subjektu, který je k tomuto zmocněn zákonem o metrologii. Nebo lze přezkoušet vodoměr na místě, a to podle zákona č. 274/2001 Sb. v případě patních vodoměrů nebo u bytových vodoměrů dle § 11a zákona o metrologii. [41]

10.2 Práva a povinnosti spotřebitelů

Na rozdíl od práv spotřebitele, která známe například z potravin nebo balených vod nejsou u vody pitné, dodávané vodovodní soustavou, žádné etikety s obsahem všech látek,

kteře obsahují. Vodovodní společnosti mají dle zákona 274/2001 o vodovodech a kanalizacích povinnost provozovat vodovody tak, aby zabezpečovaly nepřetržitou dodávku dostatečného množství zdravotně nezávadné pitné vody. Také musí zajišťovat dostatek vody pro požární ochranu, pokud se jedná o jediný zdroj požární vody a je-li to technicky možné. V současné době se u spotřebitelů zvýšil zájem o to, co pitná voda obsahuje. Požadavky na kvalitu pitné vody jsou obsaženy v zákoně č. 258/2000 a v prováděcí vyhlášce č. 252/2004. V těchto dokumentech je stanoveno to, že místa odběru vzorku vody pro kontrolu, jsou od roku 2008 z 50 % vybírány náhodně a každý rok se obměňují. Změna odběrových míst se provádí náhodným výběrem. Účelem této změny je postihnout maximum odběrových míst a to i obytných domů nejen veřejných míst jako jsou školy, úřady, nemocnice nebo třeba divadla. Tím že se vzorky odebírají i v obytných domech vznikají problémy v tom, že se musí hledat náhradní odběrová místa v případě, že majitel nedovolí odběr. Provozovatel musí zajistit dostatečnou informovanost o účelu odběru a také má mít spotřebitel možnost si ověřit, zda se jedná skutečně o vzorkaře. Dalším problémem je to, že provozovatel neodpovídá za stav domovního potrubí, které pokud je ve špatném stavu může zkreslit vzorkování. Provozovatel je v tomto případě (tj. překročení hygienických limitů vlivem domovního potrubí) povinen informovat odběratele a poskytnout informaci možných nápravných opatření. Opatření musí vést k tomu, aby nebyly překračovány hygienické limity. V případě že odběratelem je instituce, ve které hrozí kontakt vody s veřejností, je tento odběratel povinen nedostatky odstranit. Pokud se jedná o odběratele, kde nebude voda dodávána veřejnosti např. rodinný dům, tato povinnost spotřebiteli odpadá a je na vlastním uvážení spotřebitele, zda nápravná opatření provede či ne. Spotřebiteli ovšem hrozí, že by provozovatel mohl přistoupit i k odpojení od vodovodní sítě. Pokud jsou hygienické limity překročeny v důsledku chyb ve vodovodním systému, musí být spotřebitel informován rovněž. Provozovateli může být udělena výjimka po určitou dobu, pokud nebude ohroženo zdraví obyvatel. O této výjimce musí také informovat spotřebitele. Spotřebitel ovšem není informován pouze v případě překročení hygienických limitů, ale má právo podle §4 odst. 3 zákona č. 258/2000 být informován i v případě že vznesl na vodárnu dotaz jaká je aktuální kvalita (z naposledy provedeného rozboru) vody, případně jak je voda upravovaná a jaké jsou k tomu použité chemické látky. Tato informace může být poskytnuta v různých formách buď elektronickou poštou, nahlédnutím do rozborů či vyvěšením rozborů na webových stránkách, ale vždy musí být poskytnuta zdarma. [23] [42]

Ke zvýšení spokojenosti spotřebitelů a zlepšení kvality pitné vody neslouží pouze práva, která spotřebitel má, aby se domohl důležitých informací o pitné vodě. Slouží k tomu

i seznam doporučení pro spotřebitele. Ne všechny body jsou uvedeny v zákoně, ale je pouze v zájmu spotřebitele, aby tyto povinnosti dodržoval. [42]

10.2.1 Povinnosti spotřebitele

- Dohlédnout na to, aby vnitřní potrubí bylo provedeno ze zdravotně nezávadného materiálu podle správných technických zásad.
- Udržovat vnitřní vodovody a přípojky.
- Měl by umožnit odběr vzorku pitné vody.
- Odpouštět vodu po dlouhém zdržení vody v potrubí, kvůli klesající kvalitě vody v čase. Zejména u rekreačních objektů. A vodu použít k jiným účelům ale ne jako pitnou.
- Nedopustit kontakt vody z vodovodu a vody užitkové například z domovní studny. [42]

B Praktická část

V praktické části diplomové práce se zabývám posouzením vodovodního systému v obci Malá Skála. Posouzení je provedeno pomocí matematického modelu v programu EPANET 2.0, ve kterém byly vyhodnocovány nejen hydraulické vlastnosti celého systému, ale také doba zdržení vody a koncentrace volného chloru v jednotlivých místech sítě.

1 Popis zásobovaného území

Vodovodní systém řešený v této diplomové práci se nachází v Libereckém kraji. Vodovodní systém v zájmové oblasti zásobuje obecní části Malé Skály tj. Bobov, Sněhov, Protivná a Filka. Celá zájmová oblast spadá do oblasti CHKO Český ráj a do povodí řeky Jizery. U těchto obcí se v současné době nepředpokládá výrazný sídelní rozvoj. Změny v územním plánu mají tendenci na rozšíření obce. Nejedná se ovšem o výrazné zvětšení osad. Jednotlivé osady jsou v různých výškových horizontech. Osada Bobov se nachází v rozmezí výšek 500 až 550 m.n.n. Osada Sněhov se nachází v rozmezí výšek 370 až 400 m.n.n. Osada Filka se nachází v rozmezí výšek 525 až 560 m.n.n. V zájmové oblasti se nachází celkem 114 usedlostí z toho 89 má číslo popisné. Počty obyvatel jsou uvedeny v tabulce Tab. č. 3. Na obrázku Obr. č. 20 jsou také červeně vyznačeny oblasti, kde je dle územního plánu možná výstavba rodinných domů. [44]

Tab. č. 3 Počet obyvatel vodovodem zásobované oblasti

	Počty obyvatel	Počet domů s č.p.	Počet domů s č. e.
Bobov	20	17	6
Sněhov	200	43	16
Filka	94	29	3
Celkem	314	89	25

2 Podklady pro vypracování praktické části DP

Pro zpracování diplomové práce mi byly provozovatelem poskytnuty tyto podklady.

- Databáze vodovodního potrubí
- Databáze vodojemů a úpraven vody
- Schéma vodovodu Malá Skála – Bobov, Sněhov, Filka
- Situace vodovodní sítě včetně DWG formátu
- PRVKUK - Karty obcí Sněhov, Bobov a Mukařov
- Výroba vody za roky 2017, 2018, 2019
- Řídící hladiny vodojemů a dávkování chloru
- Odečty vodoměrů viz. Obr. č. 18
- Technická zpráva a výkresy k jímacímu vrtu HV1 Sněhov

3 Základní informace o vodovodní síti

Vodovodní systém Malá Skála – Sněhov je ve vlastnictví Vodohospodářského sdružení Turnov. Skládá se celkem ze 2 zdrojů vody, celkem 3 vodojemů a také 3 čerpacích stanic. Tento systém je provozován společností Severočeské vodovody a kanalizace.

3.1 Vodní zdroje

Vodovodní systém je zásoben celkem ze 2 zdrojů. Prvním je vodní zdroj Bobov, kdy voda z tohoto zdroje je odebírána ze 2 jímacích zářezů a z nich je vedena do vodojemu Bobov. Bohužel jímací zářezy ve zdroji Bobov, z kterých je odebírána voda mají dostatečnou vydatnost pouze mimo letní měsíce. Z tohoto důvodu byl vodovod propojen s vodojemem Sněhov.

Druhým je vodní zdroj Sněhov. Voda je jímána z vodního zdroje Sněhov. Ve vodním zdroji Sněhov je v současné době odebírána voda pouze z vrtu HV1. Voda by mohla být odebírána i z jímacích studní ve Sněhově, ale kvůli velké bakteriální zavadlosti se nevyužívají.

V tabulce Tab. č. 4 je uvedeno množství vody realizované za poslední tři ukončené roky. Přičemž zdroj ve Sněhově má povolen průměrný odběr 0,58 l/s resp. maximální odběr ve výši 1,52 l/s. Maximální roční odběr z tohoto vrtu je povolen na 15 000 m³/rok. Jak již bylo zmíněno vodní zdroj Bobov nedosahuje takových vydatností jako vodní zdroj Sněhov. V letních měsících dokonce není schopen zajistit dostatek vody pro oblast Bobov. Povolení k odběru podzemních vod je proto stanoveno na průměrný odběr ve výši 0,15 l/s resp. maximální odběr ve výši 1,0 l/s a maximální roční odběr je stanoven na 5 000 m³/rok

Tab. č. 4 Vyrobená voda k realizaci

Voda vyrobená k realizaci	2017	2018	2019
	m3/rok	m3/rok	m3/rok
Sněhov pro UV Sněhov	7761	7933	7064
Bobov pro UV Bobov	624	557	674

V případě poruchy je u celé zásobované oblasti předpokládáno zásobování pitnou vodou cisternami z vodovodu Turnov nebo Železný Brod. A to v maximálním množství 15 l/den a obyvatele.

3.2 Úprava vody

Voda ze zdrojů Bobov a Sněhov je přiváděna do stejnojmenných vodojemů, tj. vodní zdroj Bobov do VDJ Bobov a zdroj Sněhov je zaústěn do VDJ Sněhov. Ve vodojemech Bobov a Sněhov je voda ještě upravována. Úprava vody probíhá v odkyselovací nádrži. Tato nádrž je naplněna drceným mramorem (Carolithem). Dále je u vody z tohoto zdroje provedena zabezpečovací dezinfekce chlornanem sodným. Vyprojektovaná kapacita úpravní vody v Bobově je 1 l/s a ve Sněhově je tato kapacita 1,5 l/s. Dávkování chloru se provádí na hladinu a odpovídá koncentraci v rozmezí 0,15 až 0,3 mg Cl/l.



Obr. č. 17 Dávkovač chlornanu sodného ve VDJ Sněhov

3.3 Vodojemy

V systému jsou celkem 3 vodojemy kromě již zmíněných vodojemů Bobov a Sněhov je v systému také vodojem Filka. V něm není prováděno žádné dochlorování ani jiná úprava vody. Vodojem Bobov i Sněhov jsou jednokomorové vodojemy naproti tomu Filka je dvoukomorový vodojem. Vodovodní síť byla rekonstruována v roce 2003 a v letech 2010-2011. Při těchto rekonstrukcích bylo provedeno nové potrubí z PE a zároveň byly všechny vodojemy osazeny čidly. Tyto čidla měří hladinu naplnění, aby bylo možné sledovat objekt přímo z dispečinku a řídit provoz.

Tab. č. 5 Tabulka objemu vodojemů

Obec-Katastr	Max hladina	Min. hladina	Objem
Filka	561,49	558,79	50
Bobov	564,48	562,45	6
Sněhov	510,58	508,5	41

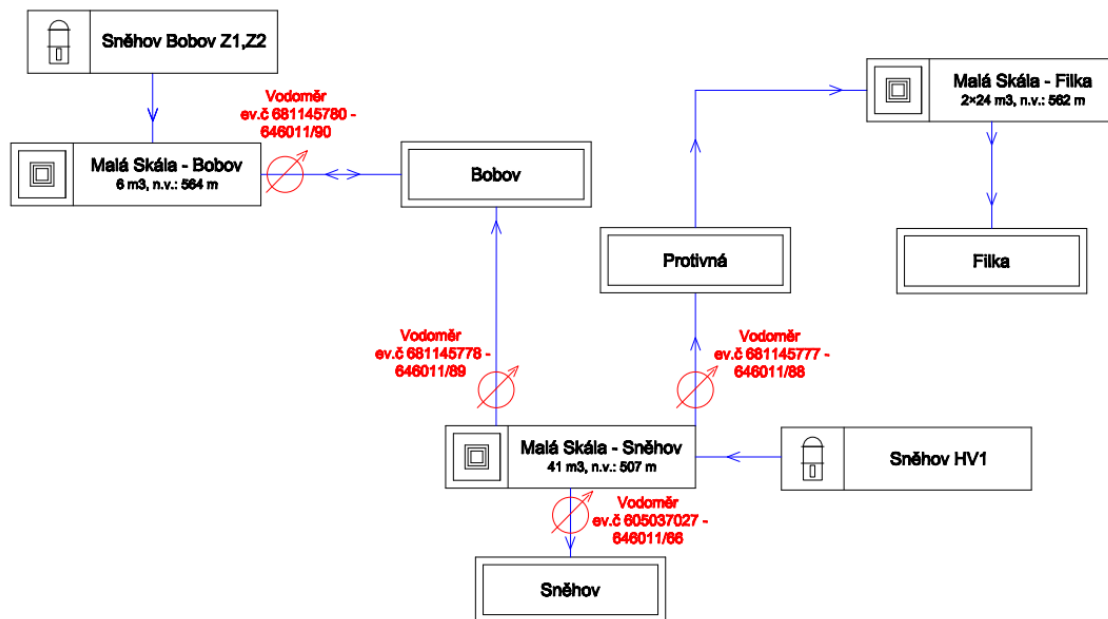


Obr. č. 18 Snímek Vodojemu Malá Skála - Filka

3.4 Doprava vody

Voda je ze zdroje Sněhov čerpána do vodojemu Sněhov a z něj pomocí čerpací stanice do osady Bobov a do vodojemu Filka. Do osady Sněhov voda teče gravitačně, stejně tomu je i ze zdroje Bobov, kdy voda teče přes vodojem Bobov až ke spotřebitelům. Drtivá většina potrubí ve vodovodním systému je provedena z PE jedná se o 6971 m z celkové délky 7287 m, dále je zde zastoupeno potrubí z PVC. To má celkovou délku 310 m a je zde také zastoupeno litinové potrubí o celkové délce 5,7 m. Toto potrubí je použito v odkalovacích řádech.

Toto litinové potrubí je také nejstarším potrubím v celém systému a je z roku 1930. Je zde i část potrubí, které je z roku 1960, ale většina potrubí je zrekonstruováno. K rekonstrukci došlo buď v roce 2003, nebo v letech 2015 až 2020. Profily ve vodovodním systému mají celkem tři rozměry. Největším průměrem je 110 mm, ten je použit na 2495,23 m, poté následuje profil o průměru 90 mm, tento profil se v systému vyskytuje v celkové délce 2920,13 m. Nejmenším použitým průměrem je 63 mm, který má délku 1866,69 m.

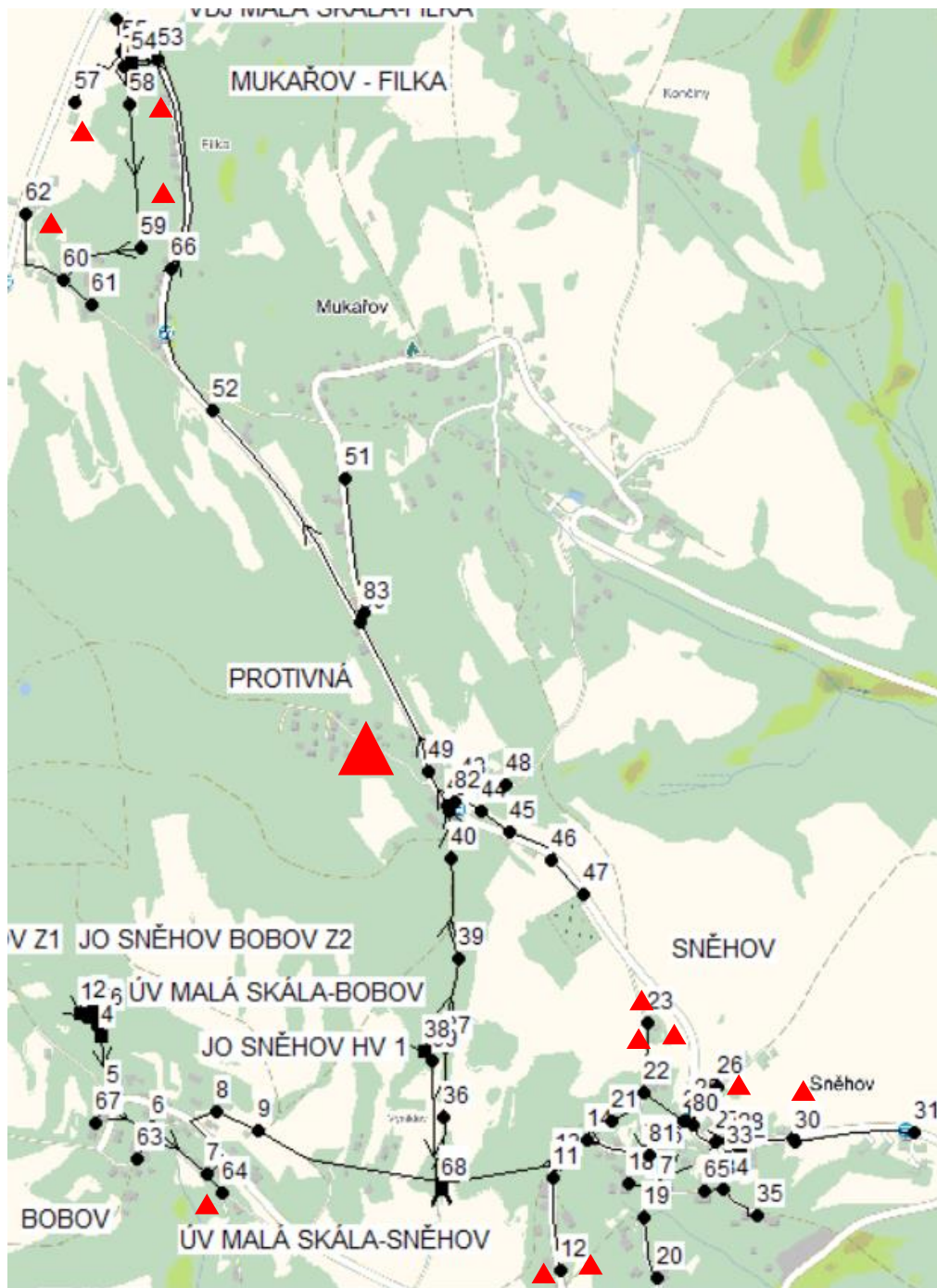


Obr. č. 19 Schéma funkce vodovodní sítě Malá Skála – Sněhov

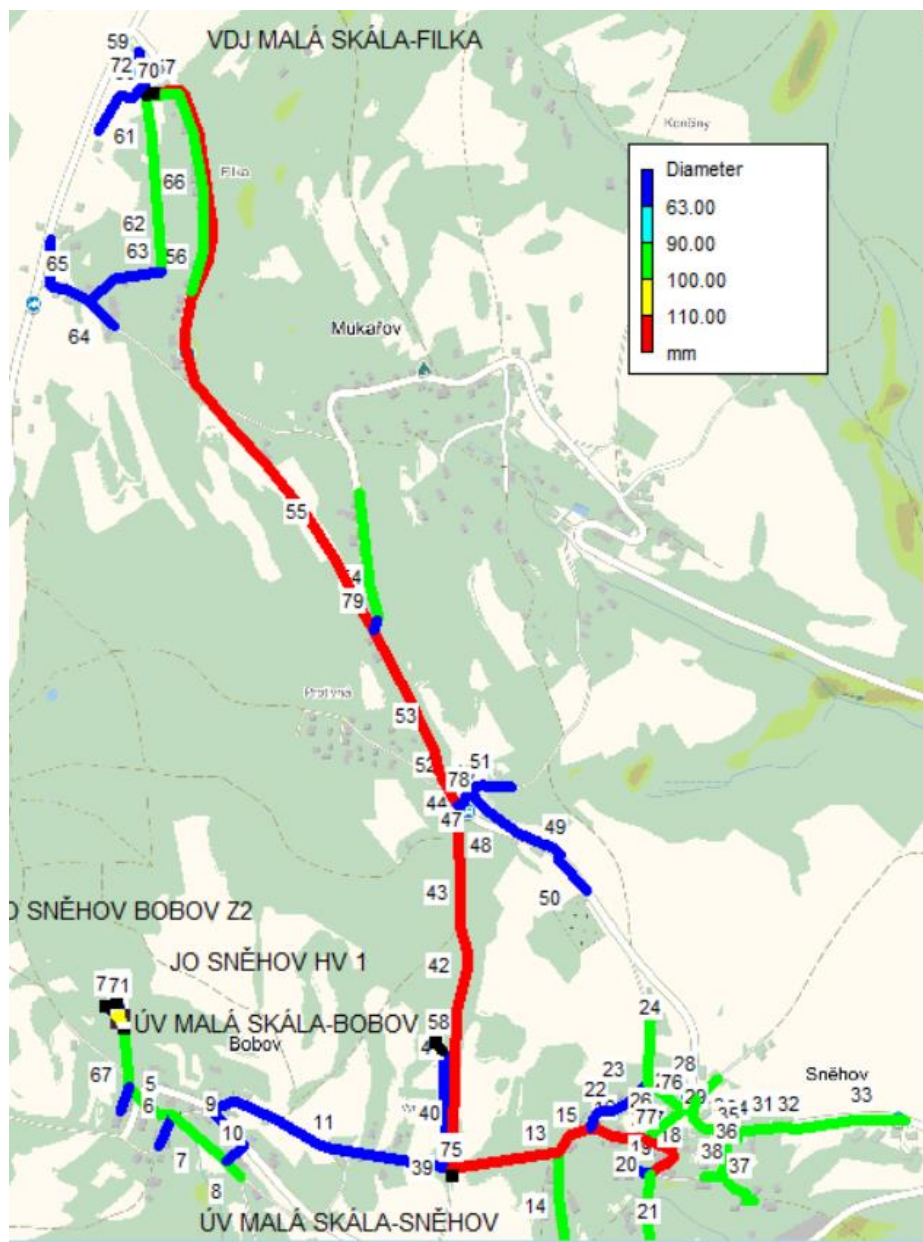
4 Tvorba matematického modelu.

Matematický model byl vytvořen v programu Epanet 2. Pro přehlednost jsem do modelu nejdříve vložil podkladní mapu a poté jsem z poskytnutých tabulek a situací vytvořil jednotlivé vodovodní řady. Jednotlivým bodům sítě, kromě vodojemů, byla přiřazena výška, která byla získána z analýzy výškopisu a odečtena hloubka uložení 1,5 m. Informace o výškové úrovni vodojemů byla poskytnuta v podkladech provozovatelem. Délky potrubí, resp. jednotlivých úseků jsou zadány přesně podle poskytnutých podkladů. Odběry v jednotlivých uzlech modelu jsou zadány podle dodaných ročních odběrů vody z let 2017, 2018 a 2019. Z důvodu velkého poklesu vyrobené vody v roce 2019 jsem pro výpočet použil průměr z let 2017 a 2018. Ve výpočtu jsem nezahrnoval ztráty vody. Do výpočtu doby zdržení vody a koncentraci volného chloru ve vodovodním systému nebyl zahrnut koeficient denní nerovnoměrnosti. Stav bez vynásobení tímto koeficientem je nepříznivější z hlediska vyšší doby zdržení vody. Tyto odběry jsou v modelu odebírány v 76 uzlech. Tyto odběry byly po

zájmovém území přerozděleny podle vyznačených přípojek v situaci a také poměrně upraveny podle typu zástavby.



Obr. č. 20 Číselné označení uzlů modelu (černě) a nově připojené oblasti výhledového stavu (červeně)



Obr. č. 21 Označení úseků a vyznačení DN potrubí

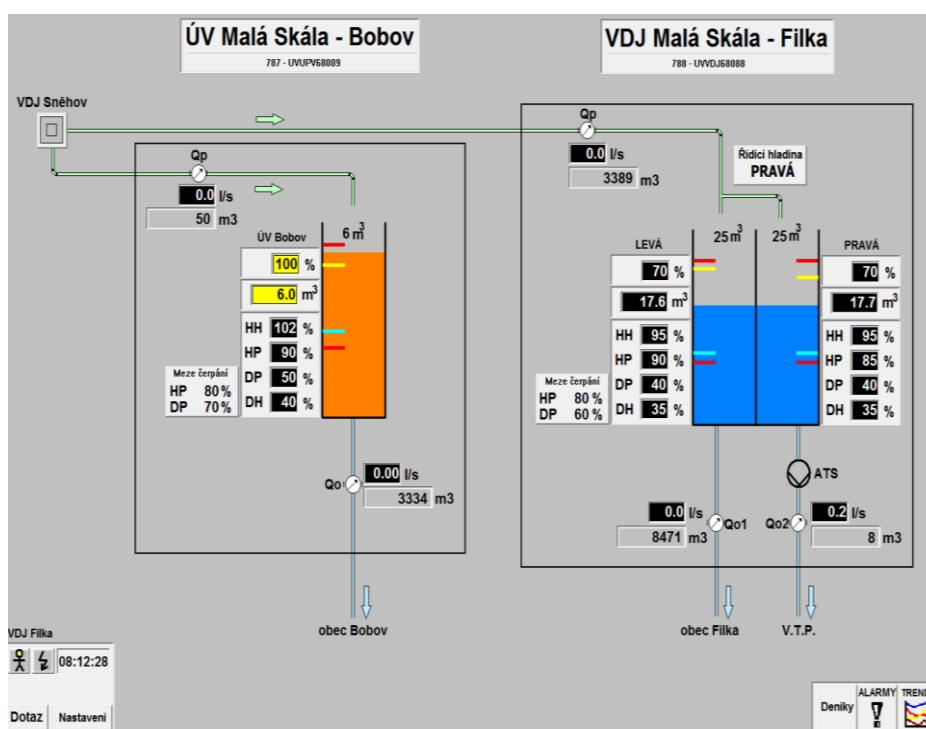
4.1 Nastavení matematického modelu

Hydraulické ztráty v potrubí byly modelovány pomocí rovnice Darcy-Weisbacha s tím, že koeficienty drsnosti potrubí z PE a PVC jsem použil 0,05 mm. Vzhledem k charakteru zástavby jsem uvažoval pro hodinovou nerovnoměrnost koeficient $k_h=1,8$. Pro zjištění chování volného chloru v síti jsem uvažoval dokonalé promíchání vody ve vodojemu. V rámci mé diplomové práce jsem zvolenou oblast modeloval v časových krocích, které trvaly 1 hodinu. Délku trvání výpočtu jsem měnil v závislosti na řešeném problému tak, abych dosáhl ustáleného stavu. U řešení hydraulických podmínek sítě jsem délku výpočtu stanovil na délku 72 hodin.

Pro výpočet doby zdržení vody v síti jsem musel výpočet protáhnout až na 1400 hodin. Stáří vody ve vodojemu Filka se ustálilo až po této době.

4.2 Řízení vodojemu

Čerpání z a do vodojemů je nastaveno automaticky a je řízeno procentuálním objemem vody ve vodojemech. Nátok ze zdroje Sněhov je nastaven tak, aby čerpadlo začalo pracovat ve chvíli, kdy je ve vodojemu Sněhov méně než 80 % jeho objemu. Tím se plní vodojem a čerpadlo se vypne až v okamžiku, kdy vodojem dosáhne 90 % naplnění. Dolní pracovní mez v ÚV Malá Skála – Bobov (vodojem) je na 50 % objemu a horní pracovní mez je na 90 % objemu. U VDJ Malá Skála – Filka je dolní pracovní mez na hranici 40 % objemu a horní vypínací pracovní mez na hranici 90 %. Na obrázku Obr. č. 19 je zobrazeno dispečerské okno pro vodojem Bobov a Filka včetně zobrazení řídicích hladin, kde HH znamená horní havarijní mez VDJ, HP znamená horní pracovní vypínací mez a DP znamená dolní pracovní mez.



Obr. č. 22 Dispečerské schéma vodojemů Bobov a Filka.

4.3 Čerpadla

V systému jsou použita čerpadla jednak na čerpání vody ze zdroje do vodojemu, z vodojemu do vodojemu a poté také automatická tlaková stanice, aby umožnila zásobování i v těch nejvyšších místech osady Filka. Pro zajištění dostatečného tlaku ve vodovodní síti jsou použita čerpadla Grundfos, ve vodojemu Filka jsou osazena čerpadla CRIE5-8 a ve vodojemu

Sněhov je osazeno čerpadlo CRIE10-09. Q-H křivky použité v modelu byly vyhledány z katalogu firmy Grundfos. [53]



Obr. č. 23 ATS stanice ve vodojemu Filka

5 Výsledky matematického modelování a jejich diskuze

Výsledky byly zpracovány pro stávající a výhledový stav. Přičemž stávající stav byl brán z podkladů poskytnutých provozovatelem a z dat PRVK Libereckého kraje a výhledový stav proveden s přihlédnutím ke změnám dle územního plánu a také se zapojením rekreační osady Protivná s tím, že jsem v ní předpokládal poloviční potřebu vody na přípojku oproti ostatním přípojkám viz Obr. č 20. Z důvodu toho, že tyto rekreační objekty jsou napojeny na vlastní studny. Výsledky z modelu vodovodní sítě jsou pouze orientační, protože tento model nebyl kalibrován a jsou zde také zjednodušující předpoklady jako zanedbání výkyvů odběrů během roku, zanedbání ztrát vody a také předpoklad stejného odběru na přípojku dle typu objektu.

5.1 Tlakové a rychlostní podmínky

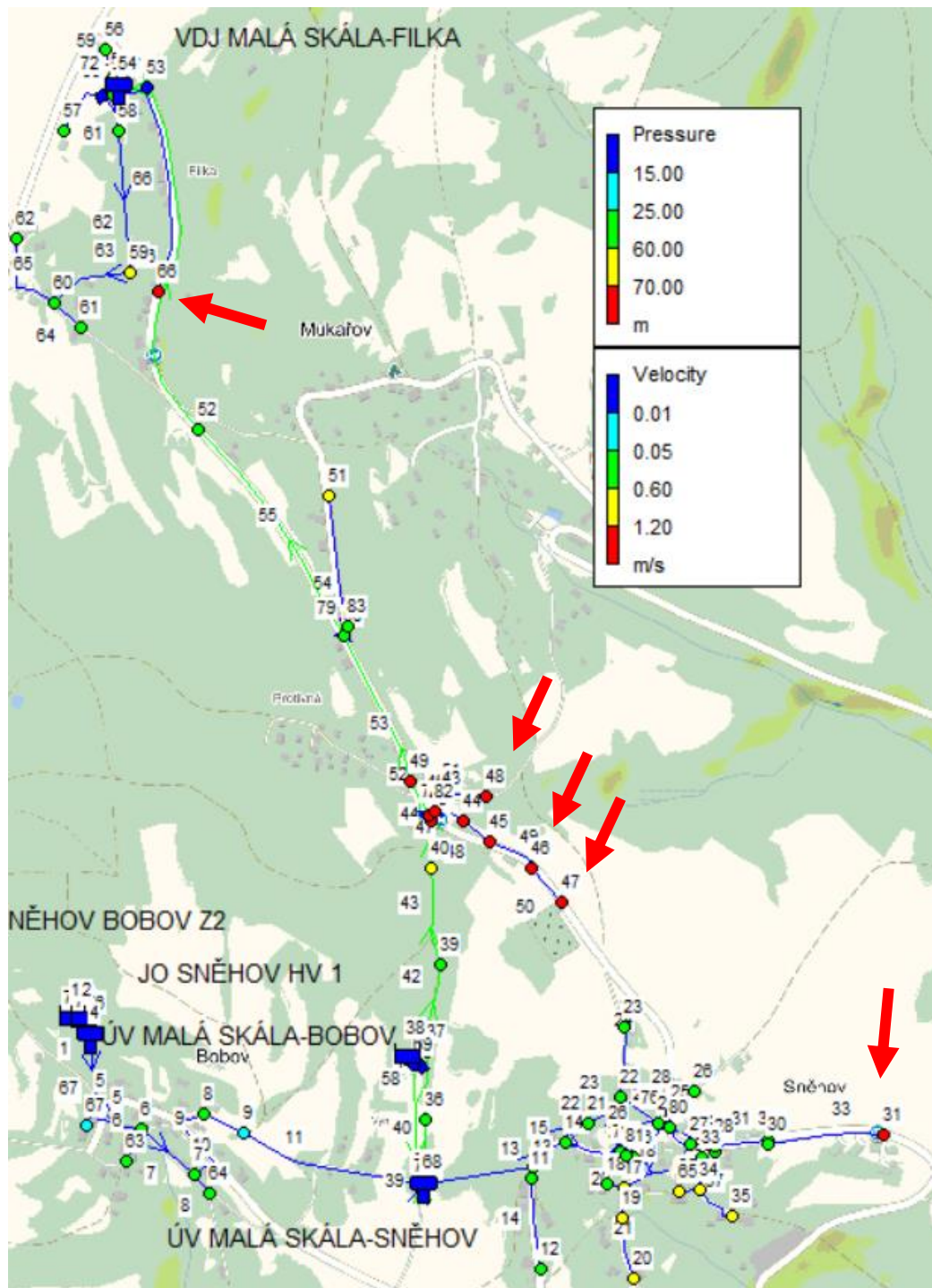
Pro stávající stav jsem na základě výsledků modelu zjistil, že jsou v síti místa s nevyhovujícími tlaky. Tyto tlaky jsou dokonce vyšší než 80 m vodního sloupce (dále jen m v.sl.). V síti jsou také 3 uzly s nízkými tlaky tj. pod 25 m v. sl.. Dva z těchto uzlů se nachází v obci Bobov. Jedná se o uzly 9 a 67. Tlaky v těchto uzlech se pohybují v rozmezí 25,05-24,22 resp. 24,28–23,45 m v. sl.. Vzhledem k typu stávající zástavby (jedná se o budovy

do maximální výšky 2 podlaží) tento tlak vyhovuje. Je totiž vyšší než zákonem č. 274/2001 Sb. stanovených 15 m. v. sl. pro tento druh zástavby. Jedná se ovšem o potenciální omezení výstavby vyšších objektů v oblasti napojené na tyto úseky vodovodní sítě. Není proto nutné pokoušet se zvýšit tyto tlaky. Poslední uzel s nízkým tlakem se nachází těsně před vodojemem Filka. Jedná se o uzel 53 a tlaky se zde pohybují v rozmezí 5 – 3,6 m v. sl. Bohužel ani při pokusu o zvýšení tlaku pomocí změny výkonové křivky u čerpací stanice ve vodojemu Malá Skála-Sněhov, se mi tlak nepodařilo zvýšit, aniž bych zvýšil tlaky v řadu vedoucím do vodojemu Filka nad 70 m v. sl.

Vlivem nízkých odběrů a vzhledem k dimenzím potrubí jsou v síti také nízké rychlosti vody řádově setiny m/s. Rychlosti v celé síti kromě přiváděcího řadu do vodojemu Malá Skála-Filka, nepřekročí rychlosti hodnotu 0,1 m/s. V tomto přiváděcím řadu maximální rychlosti dosahují při čerpání do vodojemu Filka rychlostí až 0,4 m/s, ovšem pouze po dobu čerpání poté se rychlost vody opět sníží.

5.1.1 Stávající stav

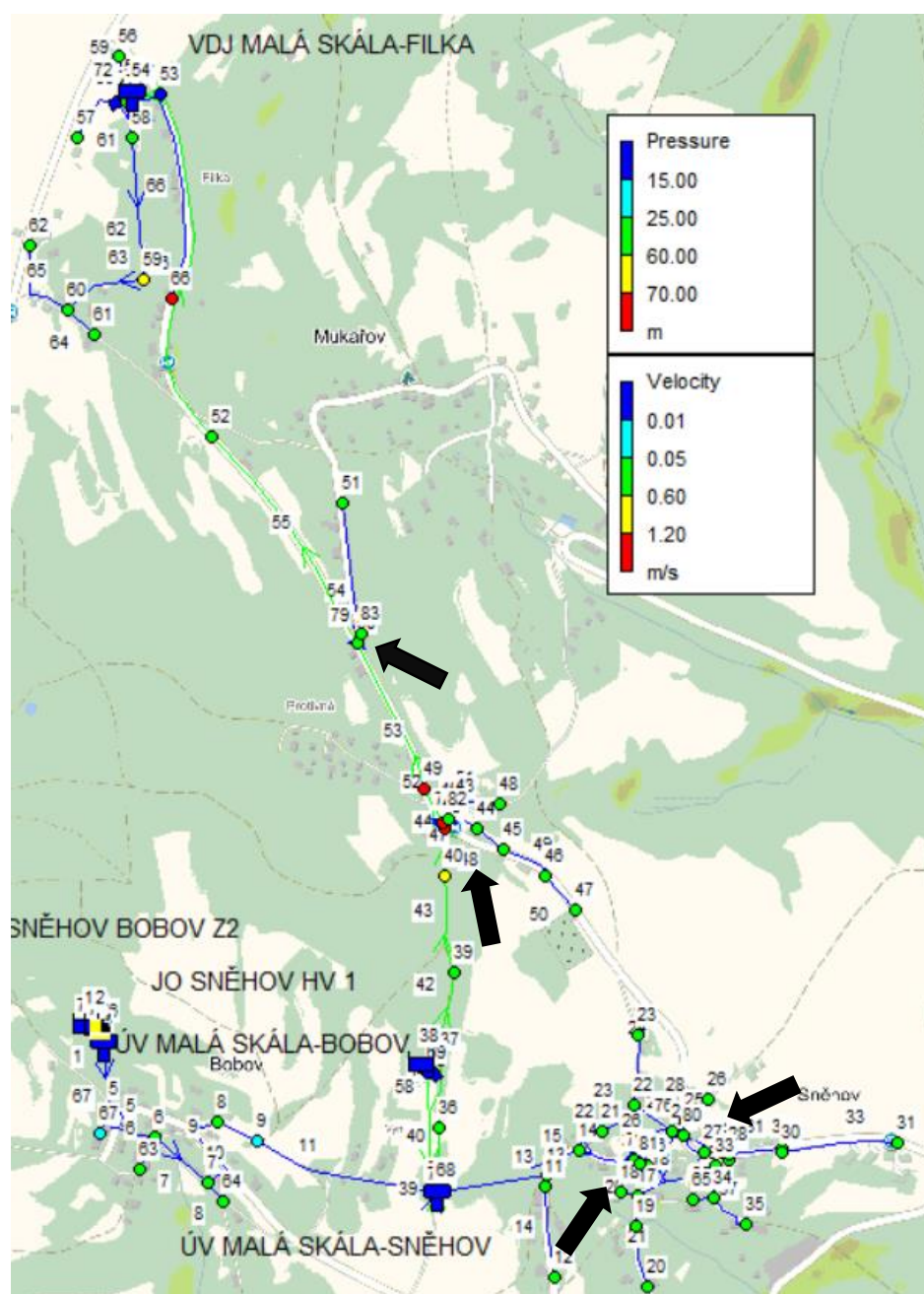
Výpočtem bylo zjištěno, že nejvyšší tlaky (vyšší než 0,7 MPa) jsou v oblasti Protivné, na koncích řadů ve Sněhově a také na konci jednoho řadu v oblasti Filka viz Obr. č. 24. Na obrázku Obr. č. 26 jsou tyto části zastoupeny uzly 46, 47, 48 (Protivná), 31 (Sněhov) a také v uzlu 66 (Filka). Vysoký tlak v koncových řadech ve Sněhově je dán nadmořskou výškou. Tato oblast je v nejnižších místech tlakového pásma vodovodní sítě. Vysoký tlak v oblasti Protivná je dán výškovou polohou vodojemu Filka. Tato oblast je totiž napojena na výtlačný řad z VDJ Sněhov do VDJ Filka. Vysoký tlak v uzlu 66 je způsoben výškovou polohou tohoto uzlu, která je nejnižší pro oblast za VDJ Filka. Tento uzel je totiž také napojen na ATS v objektu VDJ Filka.



Obr. č. 24 Tlakové poměry v uzlech a rychlosti proudění v úsecích vodovodní sítě. Na obrázku jsou vyznačeny výše zmíněné uzly.

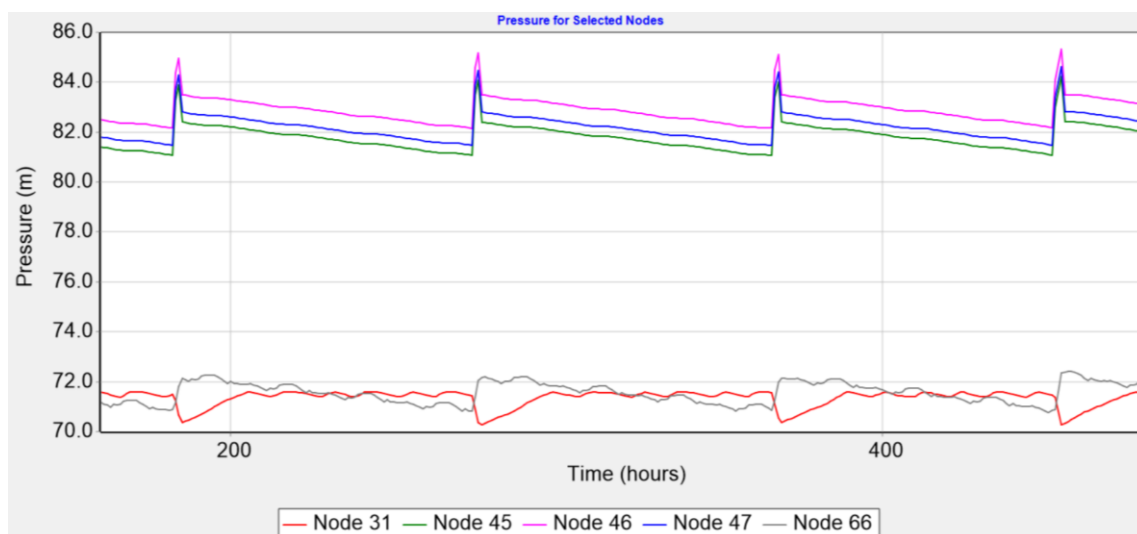
5.1.1.a Stávající stav s redukčními ventily

V rámci snížení namáhání potrubí, a hlavně snížení potenciálních ztrát vody, jsem navrhl 4 redukční ventily. Tyto ventily snížily tlaky jak v oblasti Sněhov a Protivná, ale také v řadu, který vede k uzlu 51. Zavedením redukčních ventilů by se snížil tlak tak, že by se v síti nevyskytoval žádný uzel s tlakem vyšším než 70 m v. sl. viz Obr. č. 25. U uzlů 40, 41, 42 a 49 nemohl být proveden redukční ventil, neboť by nebyla voda dopravována do vodojemu Filka. U objektů, které jsou napojeny v těchto místech na vodovodní síť, musí být tlak redukován přímo na vodovodních přípojkách, aby splňovali hodnoty požadované vyhláškou č 428/2001 Sb..

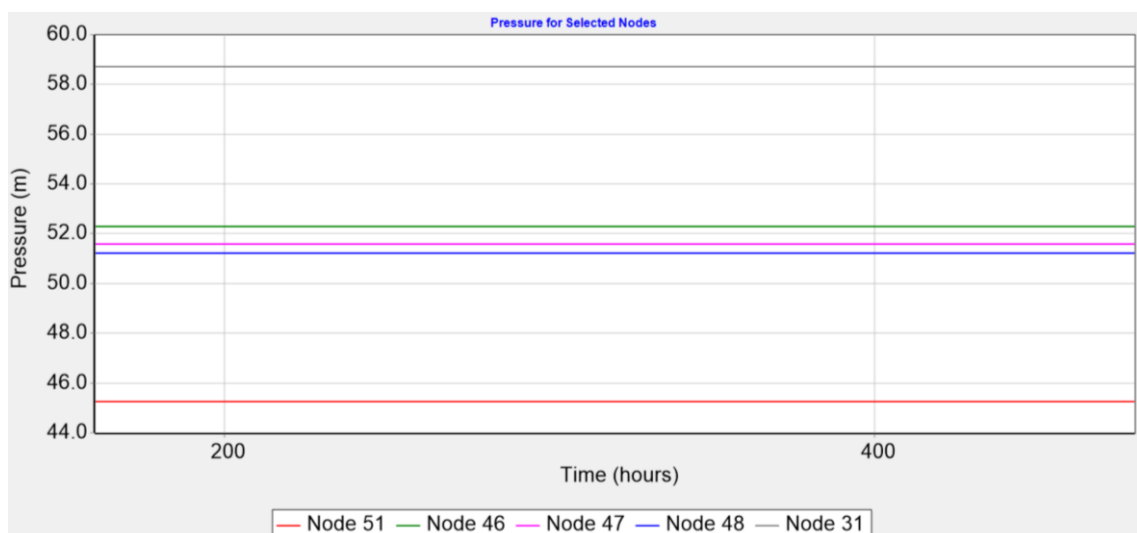


Obr. č. 25 Síť po redukcí tlaků. Redukční ventily vyznačeny černou šipkou

5.1.1.b Porovnání stávajícího stavu před a po osazení redukčních ventilů



Obr. č. 26 Tlak vody ve vybraných uzlech bez použití redukčních ventilů



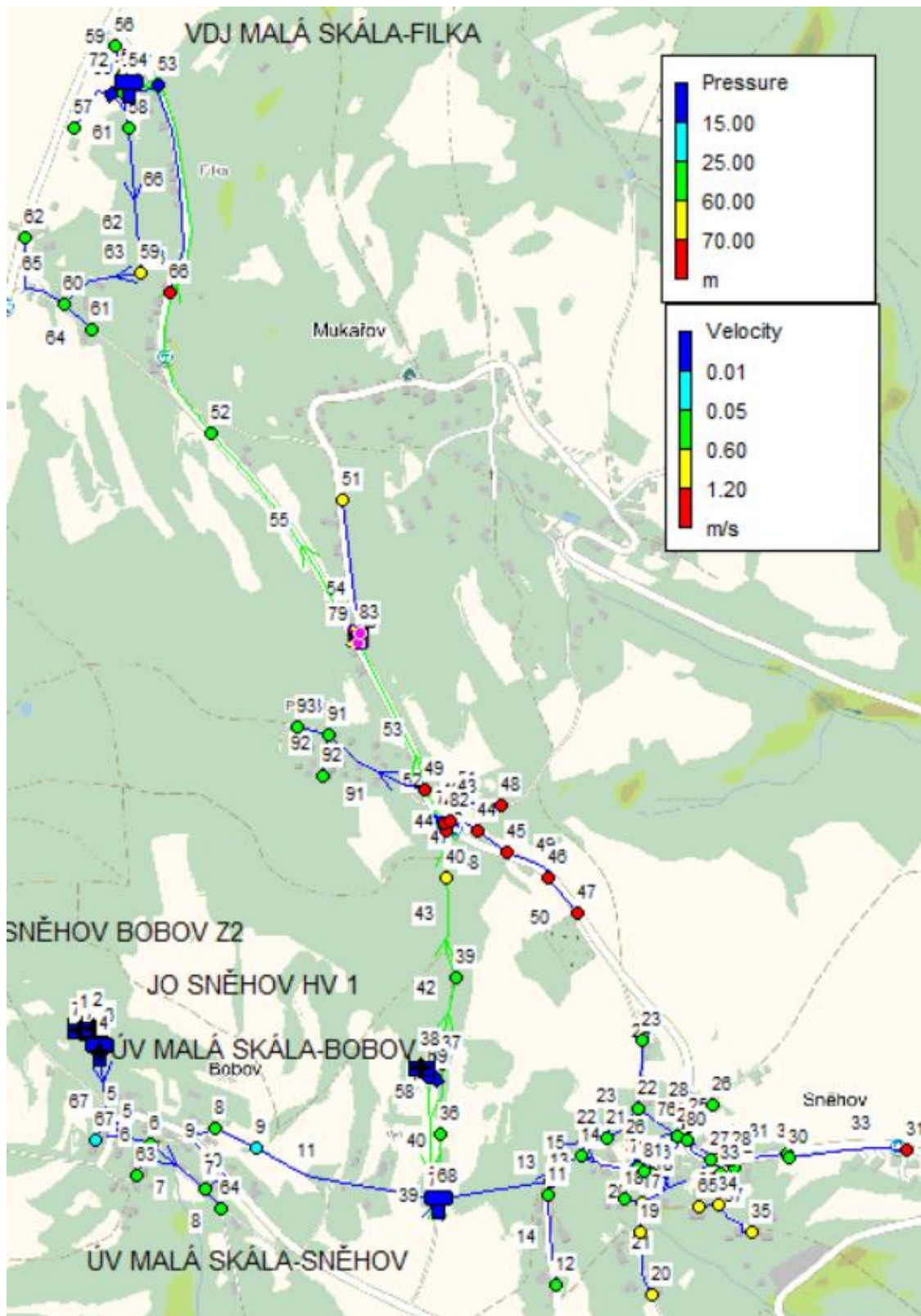
Obr. č. 27 Tlak vody ve vybraných uzlech s použitím redukčních ventilů

Po porovnání výsledků na obrázcích Obr. č. 26 a 27, je patrné zlepšení tlakových podmínek po osazení redukčních ventilů. Po osazení redukčních ventilů uzly splňují tlaky dané vyhláškou č 428/2001 Sb..

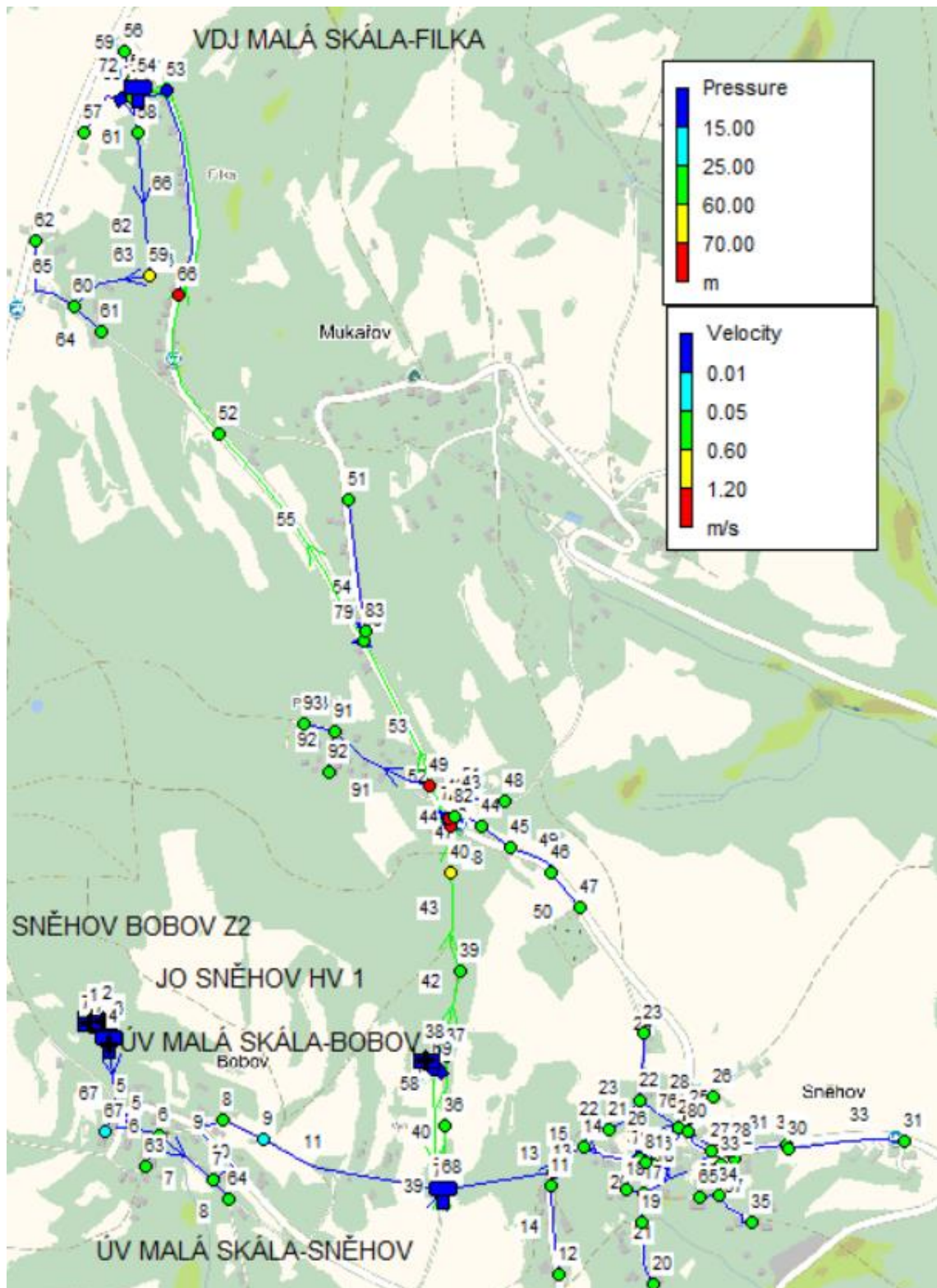
Během návštěvy vodovodního systému byla provozovatelem poskytnuta informace, že tlaky jsou řešeny u jednotlivých nemovitostí. V rámci zajištění větší zabezpečení proti haváriím a případně proti vysokým únikům vody ze sítě bych ale stejně doporučil osazení redukčního ventilu alespoň v Protivné, kde jsou dle modelu nejvyšší tlaky a tento problém se dá vyřešit jedním redukčním ventilem.

5.1.2 Výhledový stav

V matematickém modelu byl také zpracován výhledový stav, kdy v něm byly zahrnuty změny v aktuálním územním plánu a také jsem zde navrhl napojení rekreační oblasti Protivná s tím, že jsem předpokládal, že spotřeba vody zde bude na úrovni 1/2 běžné potřeby vody na přípojku viz Obr. č. 28. Je otázkou, zda takto navržený výhledový stav je proveditelný z hlediska vydatnosti zdroje a tento aspekt by byl potřeba prověřit stejně jako provést přesný výpočet potřeby vody. Z hlediska povolení pro nakládáním s vodami by tento výhled měl být v pořádku, neboť celkové povolené množství vody pro tuto lokalitu je celkem 20 000 m³/rok. S tím že tato změna zvýší potřebu vody v oblasti na 10 140 m³/rok. Z hlediska tlakových a rychlostních podmínek v síti nedochází k žádným výrazným změnám. Ve své podstatě se jedná pouze o pomalejší plnění vodojemu Filka. Za stávajícího stavu je třeba 30 hodin k naplnění VDJ Filka. Při uvažování výhledového stavu dojde k tomu, že se doba potřebná k naplnění VDJ prodlouží na 60 hodin. Další změnou při uvažování výhledového stavu je delší provoz čerpadla, kdy se doba čerpání prodlouží přibližně o hodinu. Ve vodovodní síti dojde také ke zvýšení rychlostí o setiny m/s. Na Obr. č. 28 jsou vidět tlakové a rychlostní podmínky pro výhledový stav. Na Obr. č. 29 jsou zobrazeny tyto podmínky pro výhledový stav i s použitím redukčních ventilů na síti.



Obr. č. 28 Tlakové podmínky výhledového stavu bez redukčních ventilů



Obr. č. 29 Tlakové podmínky výhledového stavu s redukčními ventily

5.2 Doba zdržení vody

Výpočtem v programu Epanet 2 jsem zjistil, že v oblasti za VDJ Filka dochází k velké době zdržení vody. Jedná se řádově o 370 až 490 hodin. V rámci pokusu o snížení této doby zdržení jsem provedl zmenšení vodojemu Filka. Snažil jsem se zjistit, jak moc se snížení objemu vodojemu projeví na zdržení vody v oblasti. Výpočet vodojemu Filka jsem prováděl dle postupu zmíněného v teoretické části. Největší objem ve vodojemu Filka zabírá tzv. požární objem, poté je objem provozní a až poslední je objem poruchový. Z toho důvodu jsem snižoval požární objem vodojemu. V příložené tabulce Tab. č. 6 jsem přiložil výpočet řídicí hladiny vodojemu. V rámci mé diplomové práce nebylo řešeno požární bezpečí obce, ale cílem bylo zjištění, jak se zmenšení objemu vodojemu projeví na zdržení vody.

Tab. č. 6 Výpočet horní pracovní vypínací hladiny

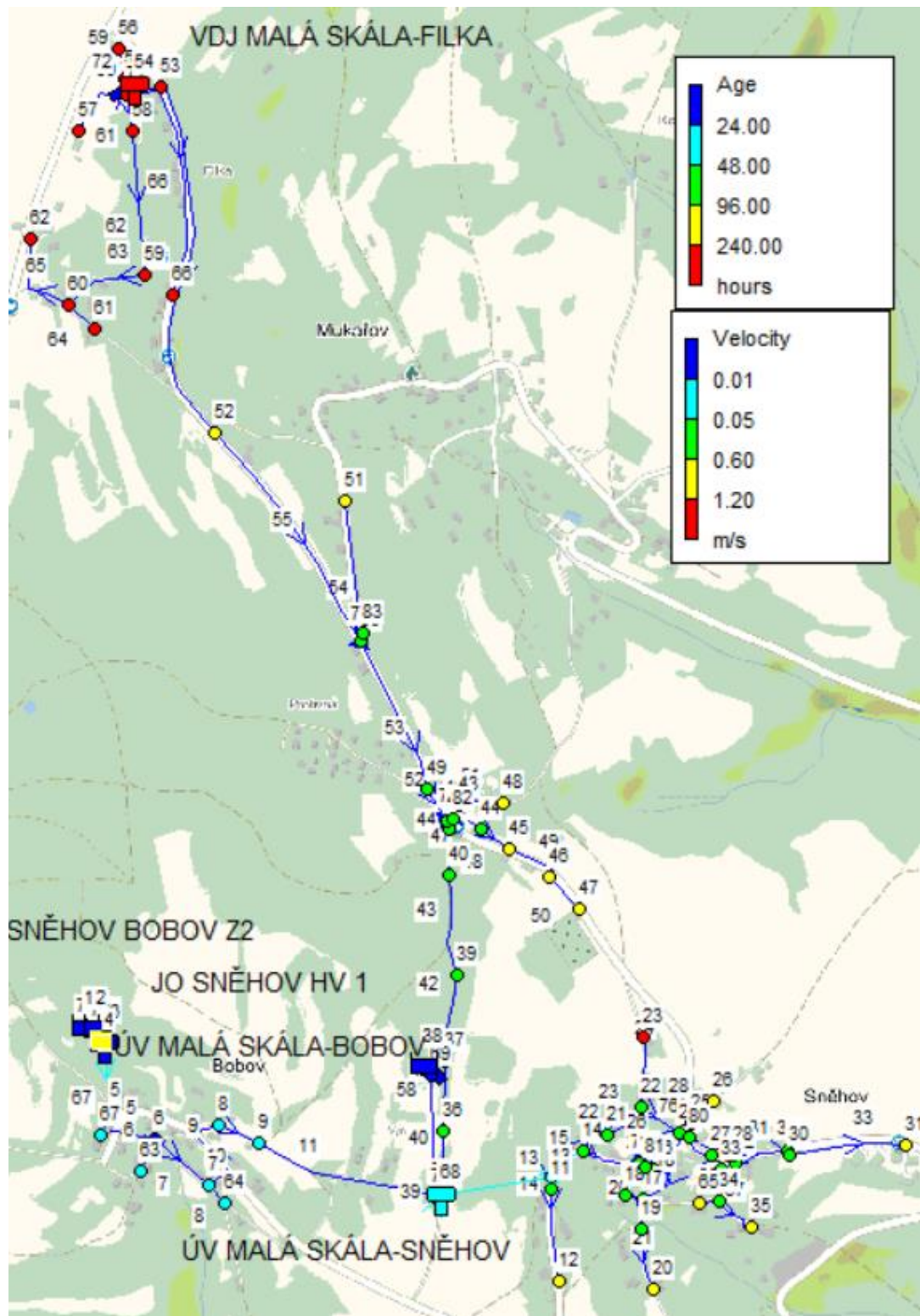
Naplnění	100	90	80	56	%
$h =$	2,7	2,43	2,16	1,5	m^3
$V_{\text{celk}} =$	50	45	40	28	m^3
$A_{\text{pož}} =$	43,2	38,7	32,4	21,6	m^3
$Q_p =$	6	6	6	6	l/s
$n =$	2	1,79	1	1	-
$t =$	1	1	1,5	1	h

Symbole viz kapitola teoretické části diplomové práce 6.2.1.b.

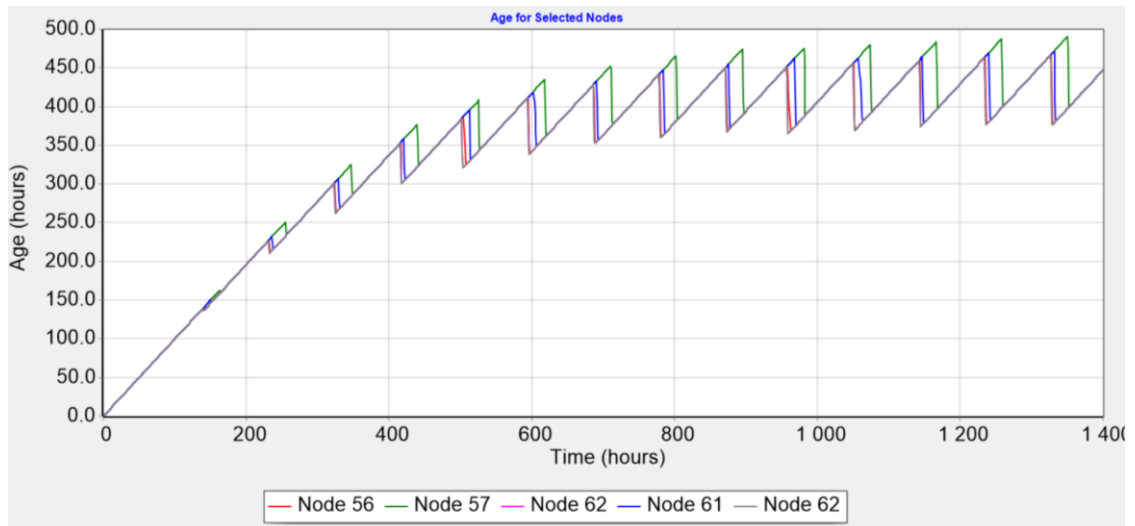
5.2.1 Stávající stav

Doba zdržení vody v jednotlivých částech vodovodní sítě pro stávající stav je zobrazena na Obr. č. 30. Na tomto obrázku je barevně vyznačeno stáří vody v jednotlivých uzlech pro celý vodovodní systém. Z obrázku je patrné, že problematická je především oblast za vodojemem Filka.

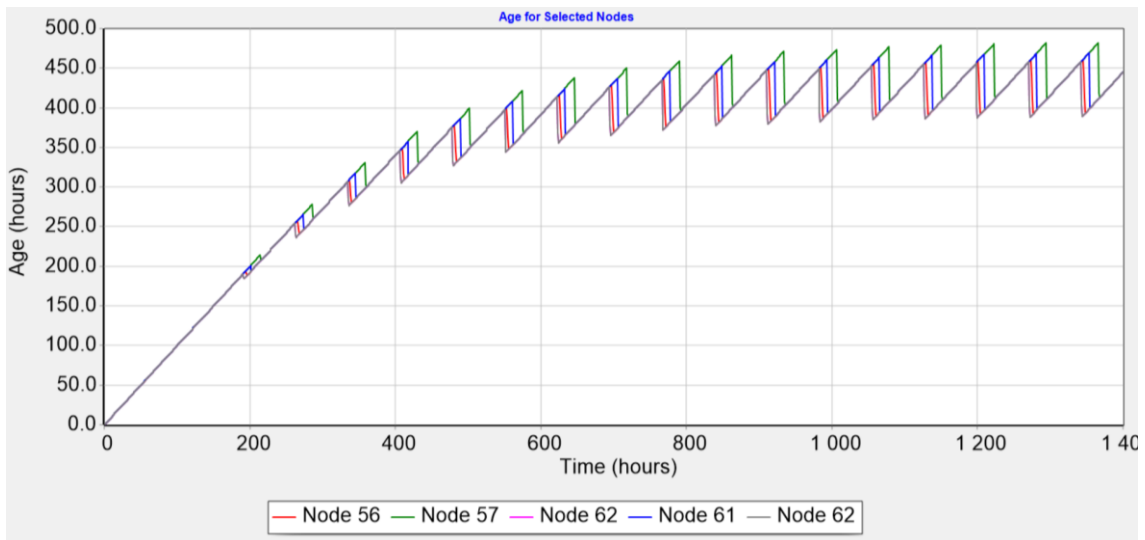
Z grafů, které jsou zobrazeny v obrázcích Obr. č. 31, 32 a 33 vyplývá to, že snížením řídicí hladiny resp. „zmenšením vodojemu“ se zdržení vody V oblasti Filka sníží řádově o desítky hodin. Otázkou ovšem je, zda je to významné zlepšení v kontextu stáří vody, které je řádově 370 až 490 hodin. S vědomím toho, že se zmenšením objemu vodojemu omezí možnost požárního zásahu. Dle mého názoru není přínos dostatečně významný, aby to opravňovalo ke zmenšení vodojemu.



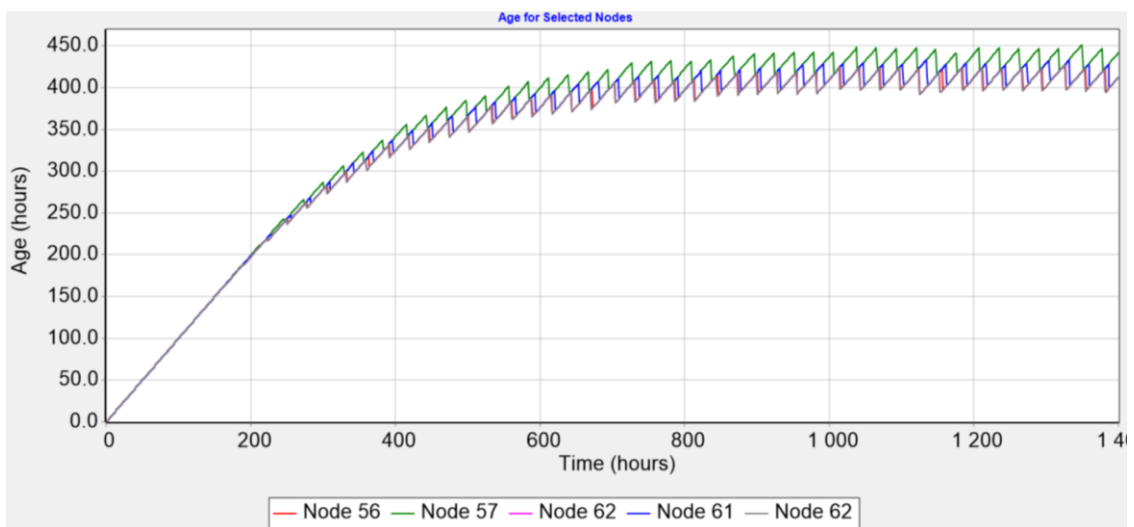
Obr. č. 30 Doba zdržení vody v celé síti



Obr. č. 31 Doba zdržení vody při 90% naplnění VDJ Filka. Průměrné zdržení vody je 430 hodin.



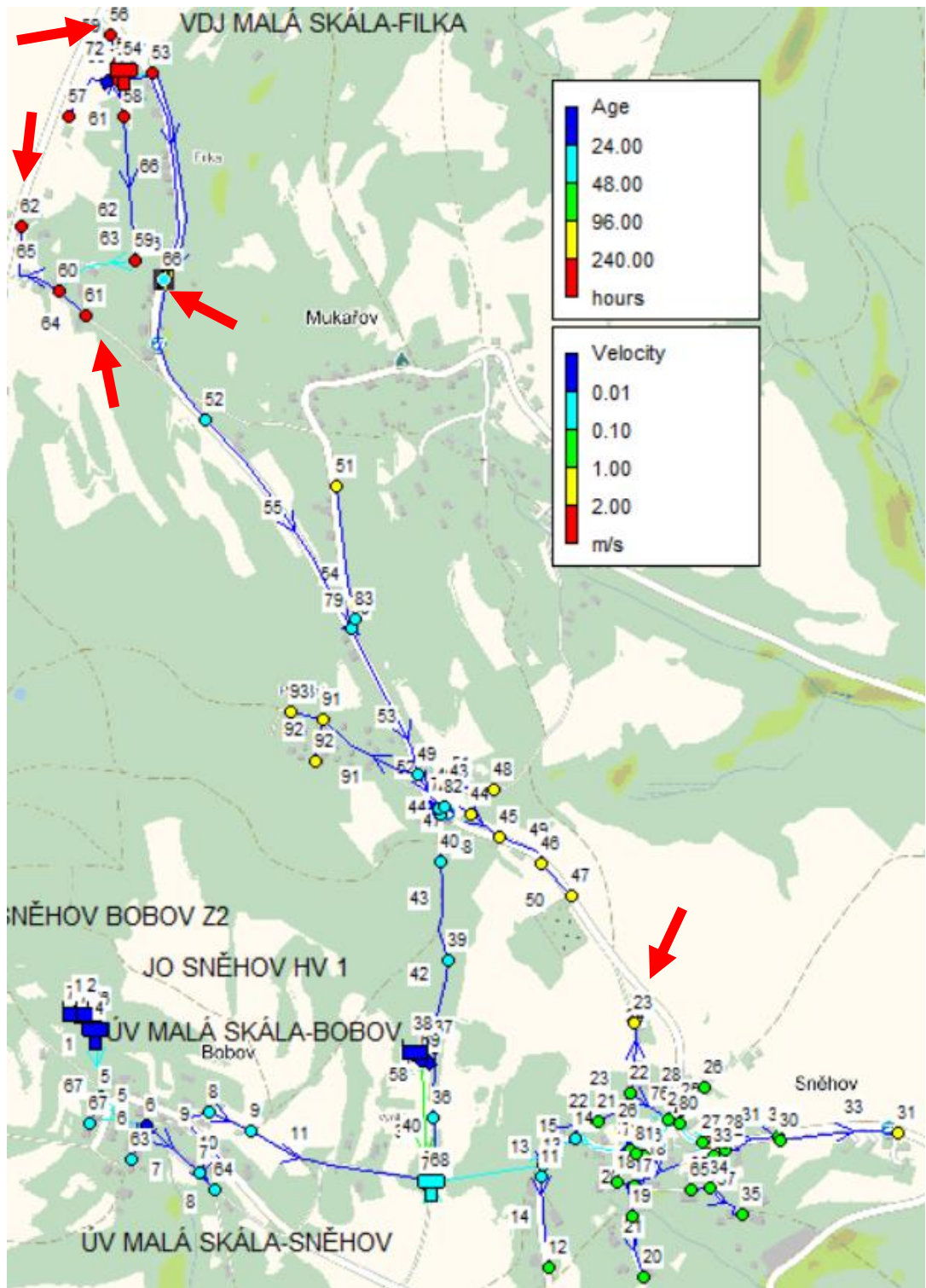
Obr. č. 32 Doba zdržení vody při 80% naplnění VDJ Filka. Průměrné zdržení vody je 425 hodin.



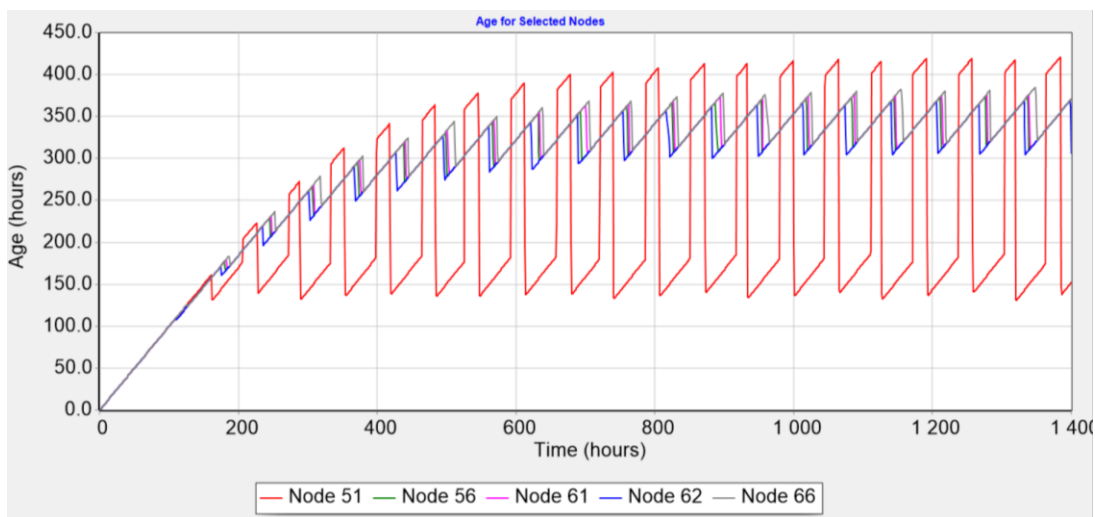
Obr. č. 33 Doba zdržení vody při 80% naplnění VDJ Filka. Průměrné zdržení vody je 420 hodin.

5.2.2 Výhledový stav

Na základě výsledků matematického modelu pro výhledový stav lze konstatovat, že došlo ke snížení doby zdržení vody ve vodovodní síti díky větším odběrům vody, při ponechání původního objemu vodojemu Filka. Největší snížení doby zdržení se projevilo v uzlu 51, kdy došlo ke snížení maximálního zdržení z 513 hodin na 421 hodin zdržení vody. Ke zkrácení došlo i v oblasti Filka, kde došlo k poklesu zdržení vody v síti asi o 50 hodin. Z pohledu zdržení vody v síti se napojení spotřebitelů v Protivné na vodovod jeví jako výrazně lepší varianta oproti zmenšení objemu VDJ Filka a je zde patrné zlepšení doby zdržení vody oproti stávajícímu stavu. Je ovšem otázkou, co by motivovalo obyvatele z lokality Protivná k napojení se k vodovodní síti. Dle mého názoru by je k tomu mohlo přimět jedině významný nedostatek vody v domovních zdrojích vody. V části Sněhov došlo ve výhledovém stavu ke snížení doby zdržení o desítky hodin. U uzlu 23 se odběr zvýšil na tolik, že doba zdržení klesla z 250 hodin na 120 hodin. Jedná se o největší pokles v rámci této obce. Na Obr. č. 35 je pro výhledový stav v časovém grafu zobrazeno kolísání stáří vody ve vybraných uzlech. Uzly 56, 61, 62 a 66 se nacházejí za vodojem Filka a z grafu je patrná cykličnost doplňování tohoto vodojemu z vodojemu Sněhov. Průměrná doba zdržení vody je v těchto uzlech cca 335 dní. Uzel 51 se nachází na odbočce z výtlačného řadu z vodojemu Sněhov do vodojemu Filka. Z grafu je patrné velké rozkolísání doby zdržení vody v tomto uzlu. To je způsobeno tím, že tento uzel je zásobován vodou buďto výtlačkem z vodojemu Sněhov (nižší hodnoty zdržení vody) nebo gravitací z vodojemu Filka (vyšší hodnoty zdržení vody).



Obr. č. 34 Doba zdržení vody v celé síti



Obr. č. 35 Graf stáří vody ve vybraných uzlech pro výhledový stav

5.3 Modelování volného chloru v síti

Dlouhodobá měrná kampaň a kalibrace rychlostních koeficientů úbytku chloru pro model řešené vodovodní sítě nebyla bohužel z časových důvodů provedena. V matematickém modelu jsem proto použil hodnoty z literární rešerše. Konkrétně jsem tedy v matematickém modelu provedl výpočty pro dvě varianty koeficientů úbytků chloru ve vodovodní síti a na základě výsledků navrhl místa pro odběr a vyhodnocení kontrolních vzorků vody. Při následné obhlídce vodovodního systému jsem v těchto místech provedl alespoň jednorázovou zjednodušenou měrnou kampaň pro zjištění skutečné koncentrace chloru a pro porovnání s modelovými hodnotami.

Pro úbytek chloru jsem v modelu použil kinetiku prvního řádu. Tímto způsobem zde byl zahrnut vliv jak reakce chloru ve vodě, tak i reakce s vnitřním povrchem potrubí. V rámci matematického modelu jsem použil koeficienty od doktorky Slavičkové ($K_b = -0,36 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,02 \text{ m/d}$) a pro srovnání i laboratorní koeficient ($K_b = -0,03 \text{ d}^{-1}$).

Dle podkladů provozovatele se chlorace provádí ve VDJ Sněhov a ve vodojemu Bobov. Koncentrace chloru se pohybuje v rozmezí 0,15 a 0,3 mg Cl/l. Dále jen $C_1 = 0,15$ a $C_2 = 0,3 \text{ mg Cl/l}$. Koncentraci C_2 jsem provedl z toho důvodu, že mě zajímalo, jak vysoká může být koncentrace chloru v síti.

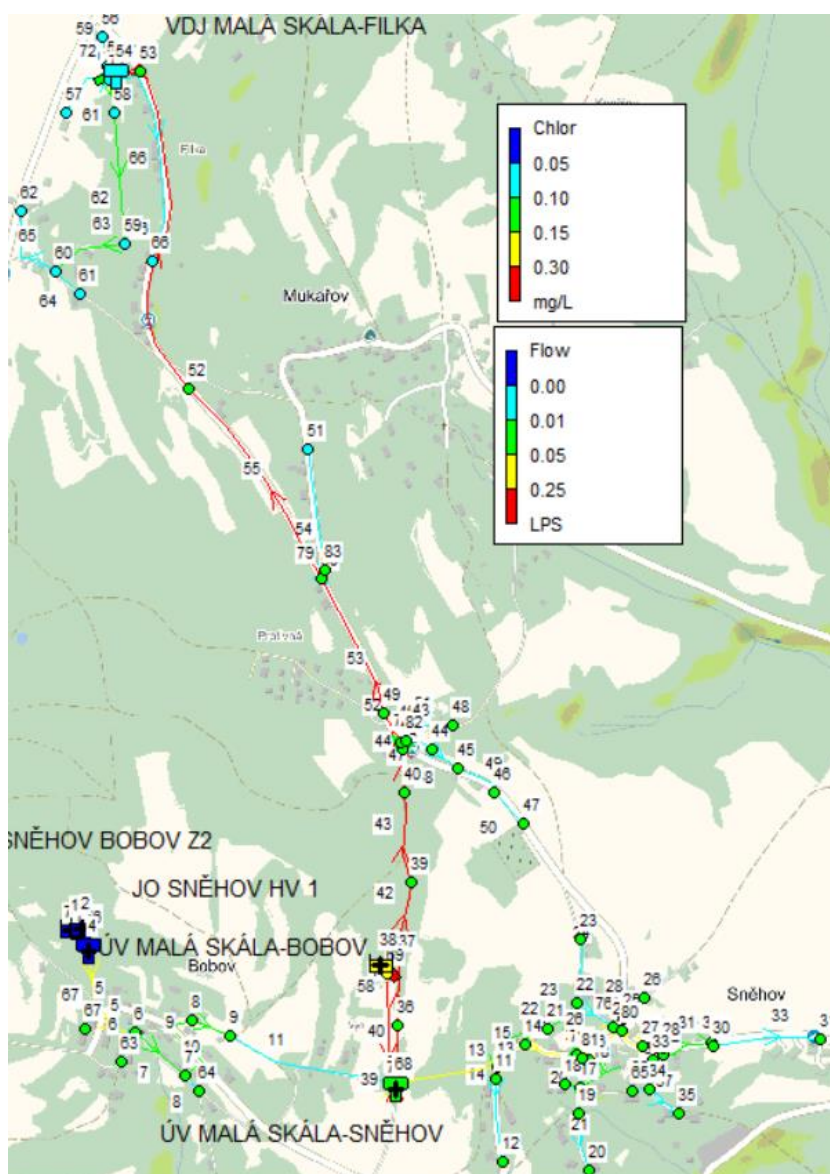
Chování volného chloru v síti jsem tak zpracoval pro 6 variant. Označení a popis jednotlivých variant je následovné.

1. Stávající stav s $K_b = -0,03 \text{ d}^{-1}$ při počáteční koncentraci chloru ve VDJ C₁
2. Stávající stav s $K_b = -0,03 \text{ d}^{-1}$ při koncentraci chloru ve VDJ C₂
3. Stávající stav s $K_b = -0,36 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,02 \text{ m/d}$ při koncentraci chloru ve VDJ C₁
4. Stávající stav s $K_b = -0,36 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,02 \text{ m/d}$ při koncentraci chloru ve VDJ C₂
5. Výhledový stav s $K_b = -0,03 \text{ d}^{-1}$ při počáteční koncentraci chloru ve VDJ C₁
6. Výhledový stav s $K_b = -0,36 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,02 \text{ m/d}$ při počáteční koncentraci ve VDJ C₁

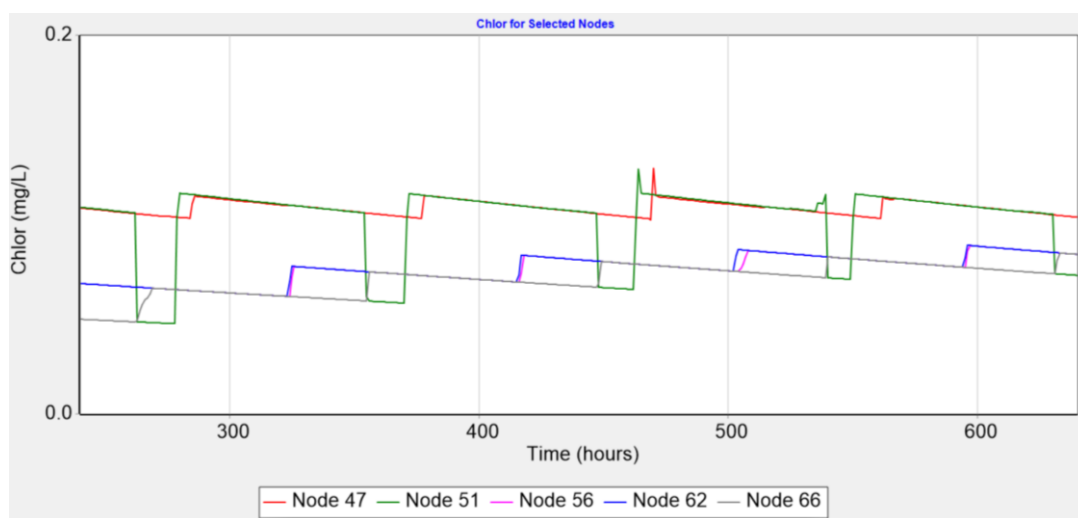
5.3.1 Stávající stav

Jedná se o stav, ve kterém není manipulováno s vypínací hladinou ve vodojemu Filka a stavba sítě odpovídá současného stavu bez redukčních ventilů viz Obr. č. 36. Hodnoty volného chloru jsou zobrazeny v uzlech 47, 51, 56, 61 a 62. Tyto uzly byly vybrány na základě výsledků doby zdržení vody z matematického modelu sítě, v těchto bodech jsem zaznamenal významné stáří vody.

5.3.1.a Varianta 1

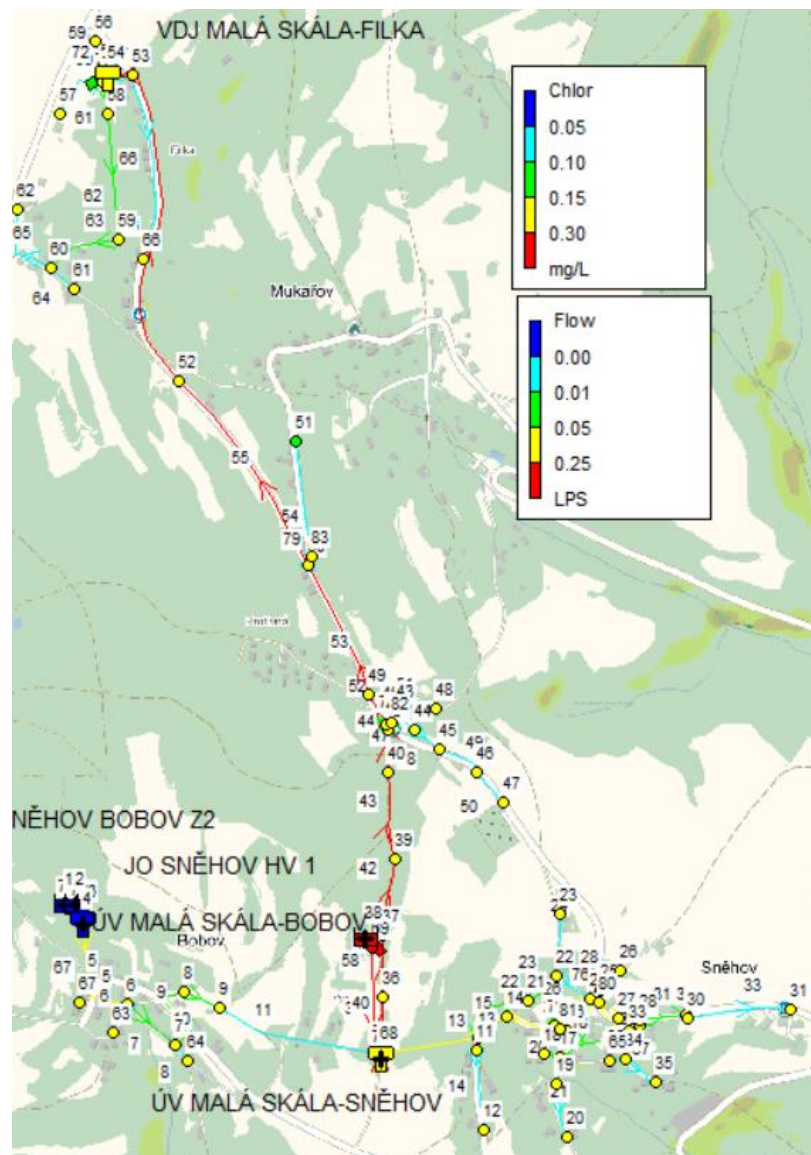


Obr. č. 36 Varianta 1 – koncentrace volného chloru po 640 hodinách

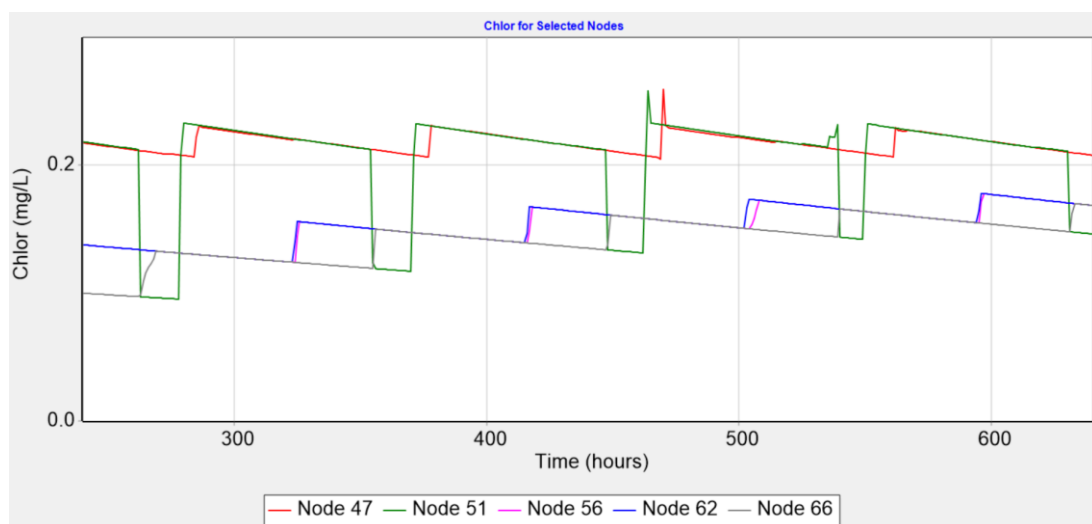


Obr. č. 37 Varianta 1 koncentrace volného chloru v uzlech 47, 51, 56, 62, 66

5.3.1.b Varianta 2

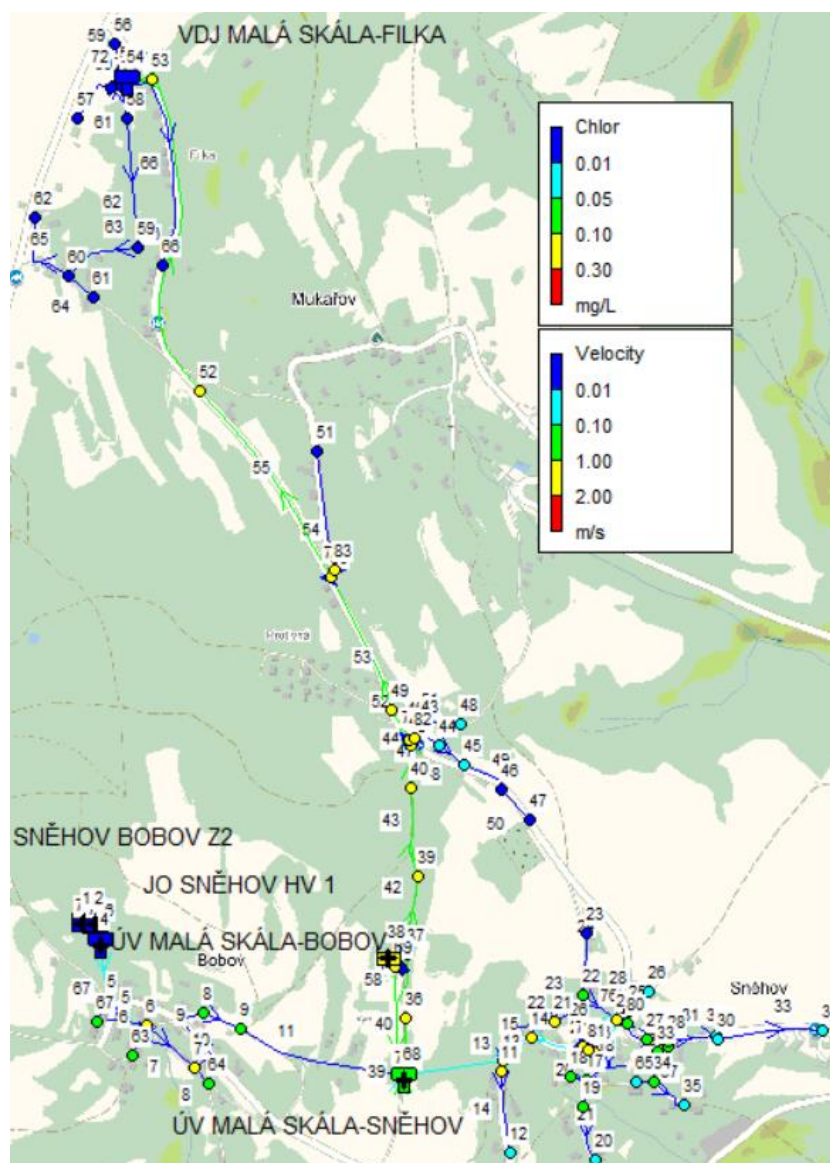


Obr. č. 38 Varianta 2 – koncentrace volného chloru po 640 hodinách

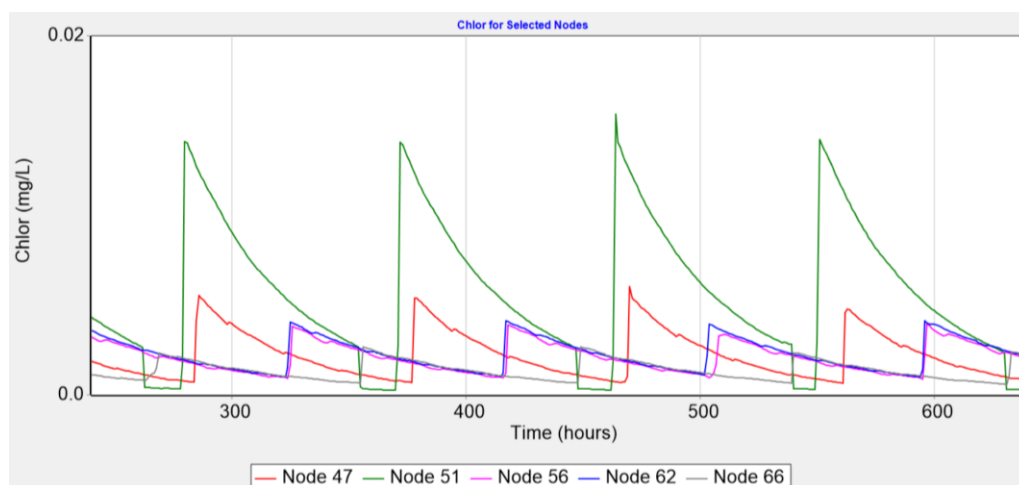


Obr. č. 39 Varianta 2 – koncentrace volného chloru v uzlech 47, 51, 56, 62, 66

5.3.1.c Varianta 3

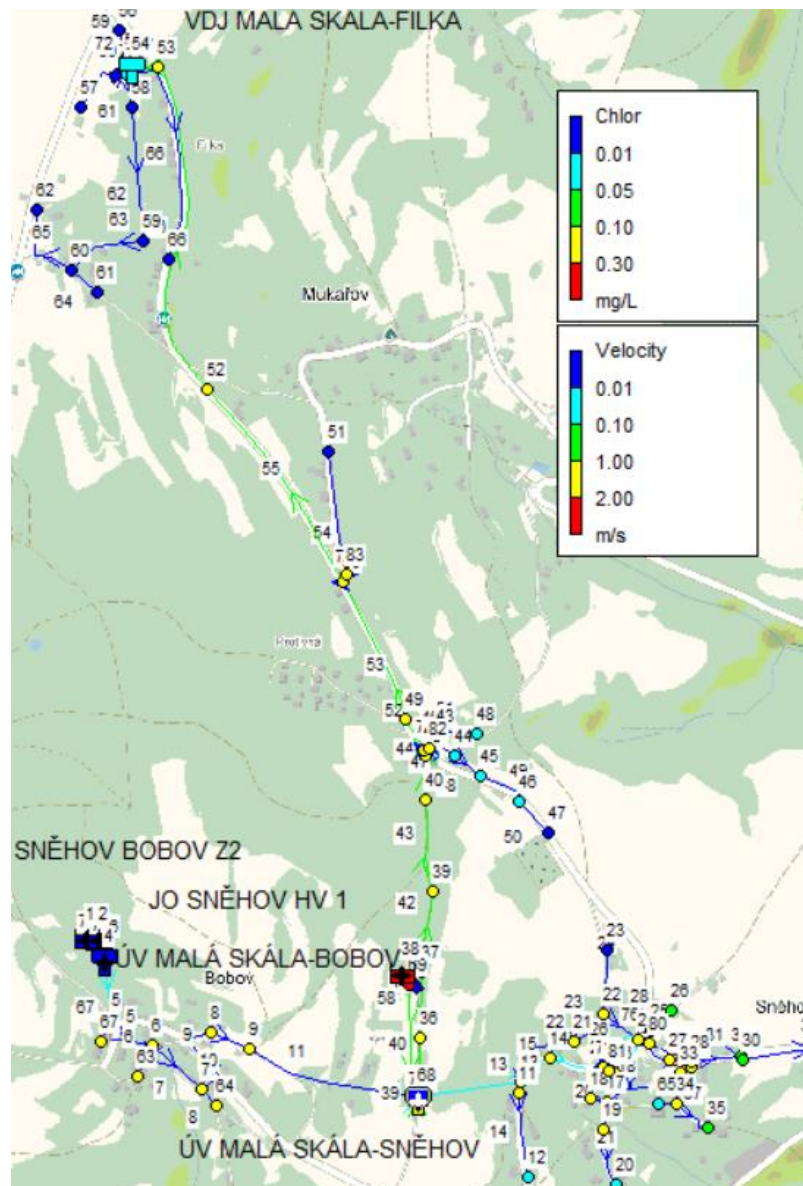


Obr. č. 40 Varianta 3 – koncentrace volného chloru po 640 hodinách

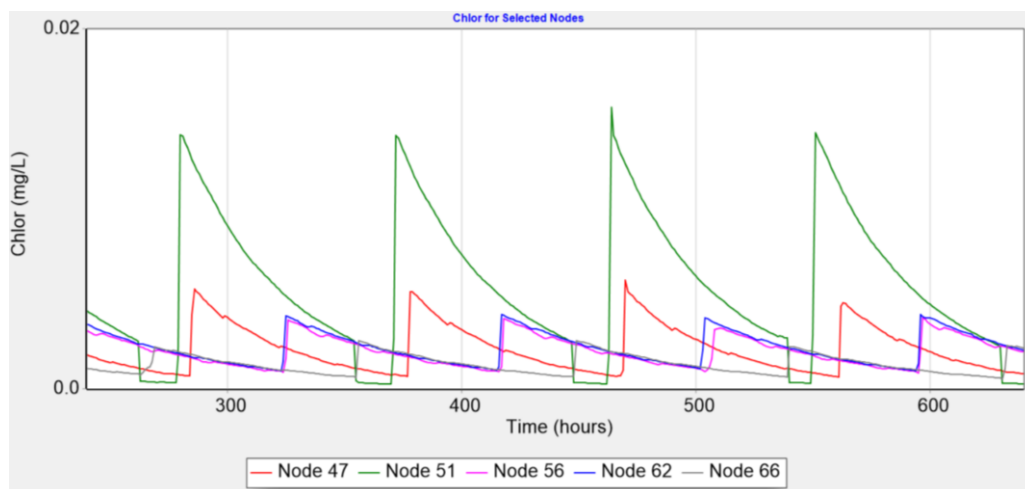


Obr. č. 41 Varianta 3 – koncentrace volného chloru v uzlech 47, 51, 56, 62, 66

5.3.1.d Varianta 4



Obr. č. 42 Varianta 4 – koncentrace volného chloru po 640 hodinách



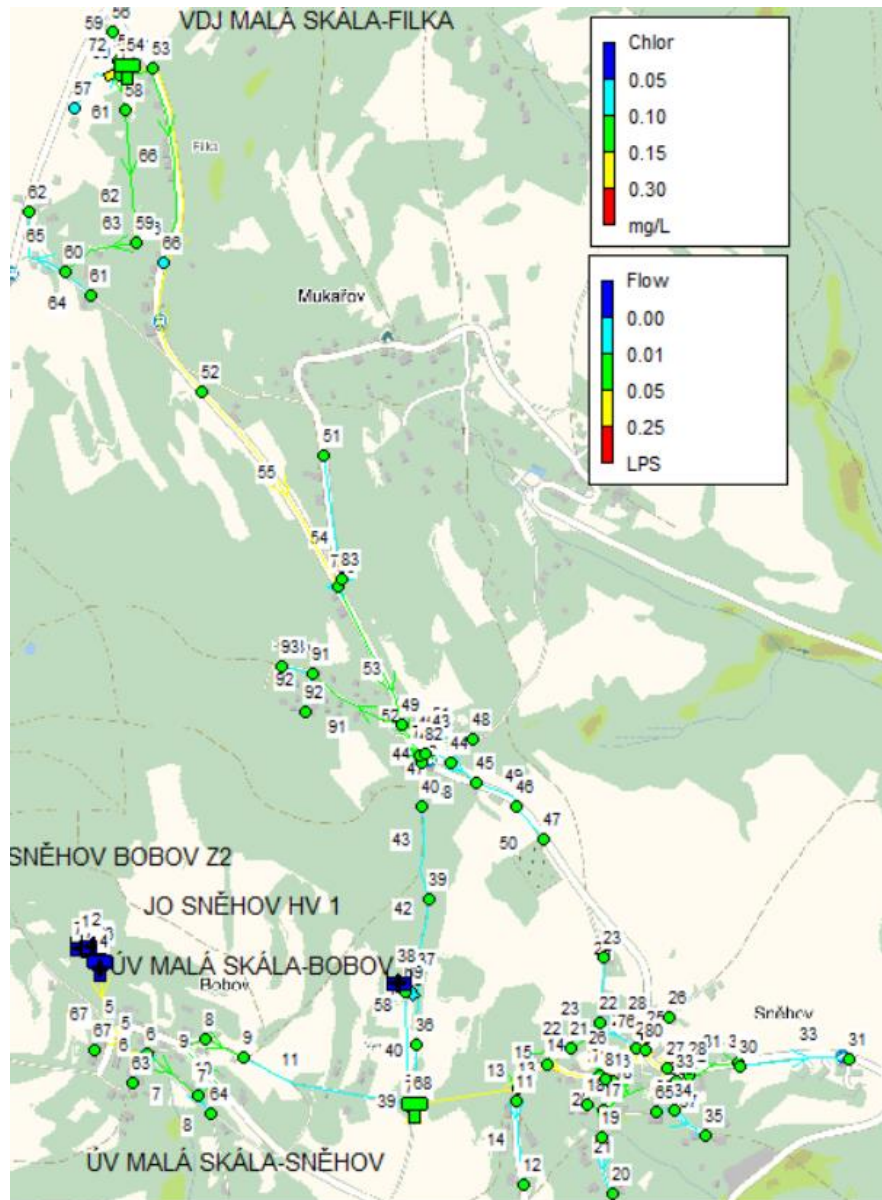
Obr. č. 43 Varianta 4 – koncentrace volného chloru v uzlech 47, 51, 56, 62, 66

Z výsledků modelu lze vyčíst, že pokud se bude rychlost úbytku volného chloru podobat rychlosti od doktorky Slavičkové, bude v oblasti Filka velmi nízká koncentrace volného chloru ve vodě. Tyto hodnoty jsou prakticky na hraně měřitelnosti běžnými kolorimetry. V tomto případě byl při prohlídce vodovodního systému použit kolorimetr Eutech C401, který má přesnost $\pm 0,02$ mg/l, pro měření hodnot 0 až 2 mg/l. Výsledky těchto měření jsou zpracovány v kapitole 5.4 Prohlídka vodovodního systému.

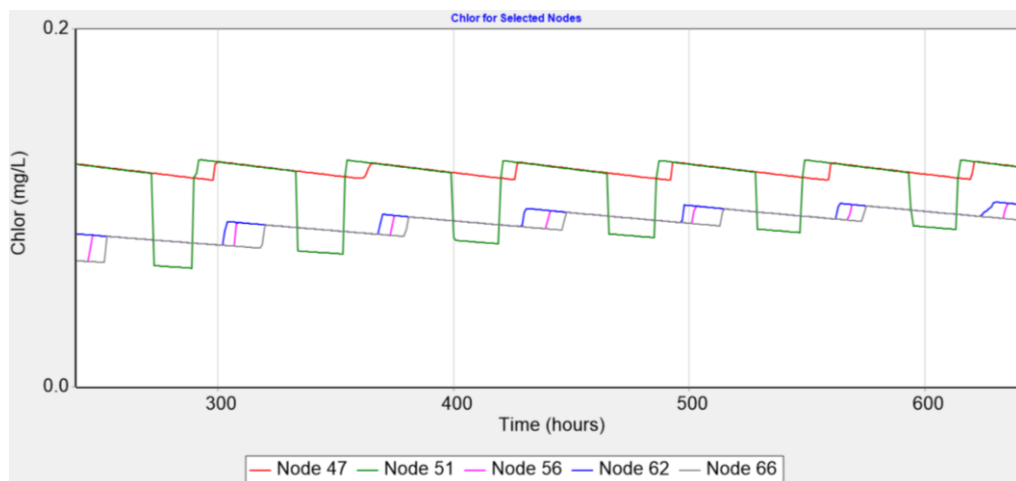
5.3.2 Výhledový stav

Jedná se o stav, ve kterém není manipulováno s vypínací hladinou ve vodojemu Filka a stavba sítě odpovídá výhledovému stavu viz výše. Ve vodovodní síti jsou započítány i redukční ventily. V rámci současných trendů týkajících se snižování dávkování chloru resp. přechodu na bezchlorový systém jsem pro modelování chloru použil pouze počáteční koncentraci C_1 . Tato koncentrace byla zvolena jednak z důvodu toho, že i při obhlídce tohoto systému se koncentrace volného chloru za vodojemy pohybovaly kolem 0,15 mg/l a také v kontextu vývoje posledních trendů, které vedou ke snižování dávek chloru pro dezinfekci vody.

5.3.2.a Varianta 5

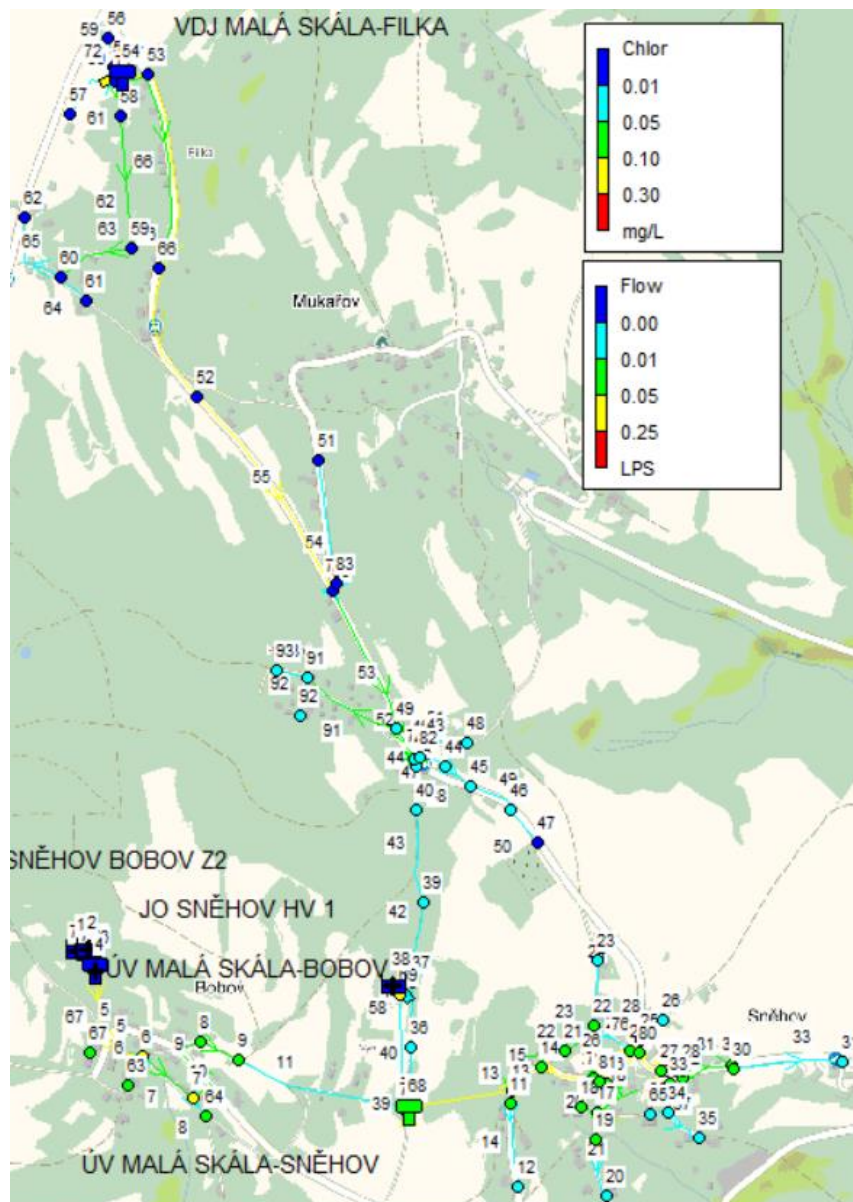


Obr. č. 44 Varianta 5 – koncentrace volného chloru po 640 hodinách

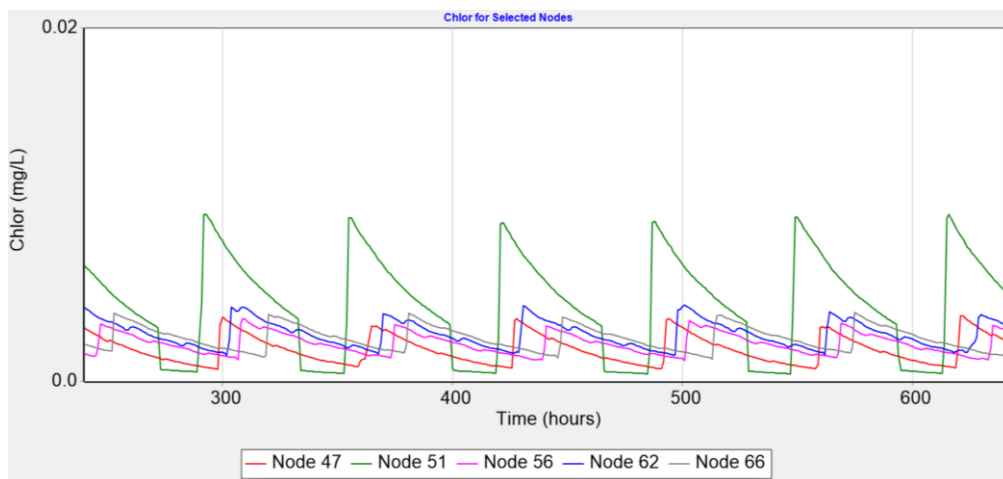


Obr. č. 45 Varianta 5 – koncentrace volného chloru v uzlech 47, 51, 56, 62, 66

5.3.2.b Varianta 6



Obr. č. 46 Varianta 6 – koncentrace volného chloru po 640 hodinách



Obr. č. 47 Varianta 6 – koncentrace volného chloru v uzlech 47, 51, 56, 62, 66

Vlivem vyšších odběrů dochází k častějšímu doplňování vodojemu Filka resp. spínání čerpadla ve Vodojemu Sněhov a tím se zvýší podíl vody „vodojemu Sněhov bez významného zdržení v síti“. Dojde tím k menším výkyvům v síti a vyšší koncentraci volného chloru v síti. Nejedná se ovšem o významné zvýšení koncentrací, ale o zvýšení v řádech setin mg/l.

5.4 Prohlídka vodovodního systému Malá Skála

Jelikož během zpracovávání mé diplomové práce nebylo možné provést řádnou měrnou kampaň, byla domluvena alespoň obhlídka vodovodního systému. Díky Bc. Tůmovi a jeho kolegům ze SčVK, jsem se mohl podívat do technologického zázemí vodojemů, automatické tlakové stanice viz Obr. č. 48 a také vystrojení jímacího vrtu HV1 Sněhov viz Obr. č. 49. Během prohlídky byla provedena měření koncentrace volného chloru na výtoku z vodojemů viz Tab. č. 7 a také ve vybraných usedlostech Tab. č. 8. Měření koncentrací volného chloru v domácnostech bylo provedeno pro získání orientačního přehledu o tom, jak systém funguje z hlediska úbytku volného chloru a pro následné porovnání naměřených hodnot s vypočtenými hodnotami na modelu. Měření úbytků volného chloru bylo prováděno Kolorimetrem Eutech C401 viz Obr. č. 50.



Obr. č. 48 Vystrojení Jímacího vrtu Sněhov



Obr. č. 49 Vystrojení čerpací stanice ve vodojemu Filka

5.4.1 Odebírání vzorků a měření

Před odebráním vzorku byla voda odpouštěna a vzorkovnice byla vypláchnuta. Poté byla vodou ze vzorkovnice vypláchnuta ampule od přístroje Eutech C401. Po vypláchnutí se do vzorkovnice nalilo 10 ml odebrané voda a do ní byl přidán reagent DPD (N, Ndietyl-p-fenylendiamin). Ten začne reagovat s volným chlorem ve vodě a vytváří růžové zbarvení vzorku v ampuli. Odstín růžové barvy je přímo úměrný koncentraci volného chloru ve vodě. Během obhlídky systému byly vzorky odebírány jak ve vodojemech Filka, Bobov a Sněhov, ale také ve vybraných lokalitách ve Sněhově a ve Filce viz obrázek Obr. č. 53. Během odebírání vzorků si někteří obyvatelé stěžovali na to, že jsou ovlivněny organoleptické vlastnosti vody. Konkrétně tvrdili, že je voda ráno a večer významně cítit chlorem. Během mého měření, které proběhlo mezi 2 a 3 hodinou odpoledne se žádné vysoké koncentrace volného chloru neprojeví viz tabulka Tab. č. 8.



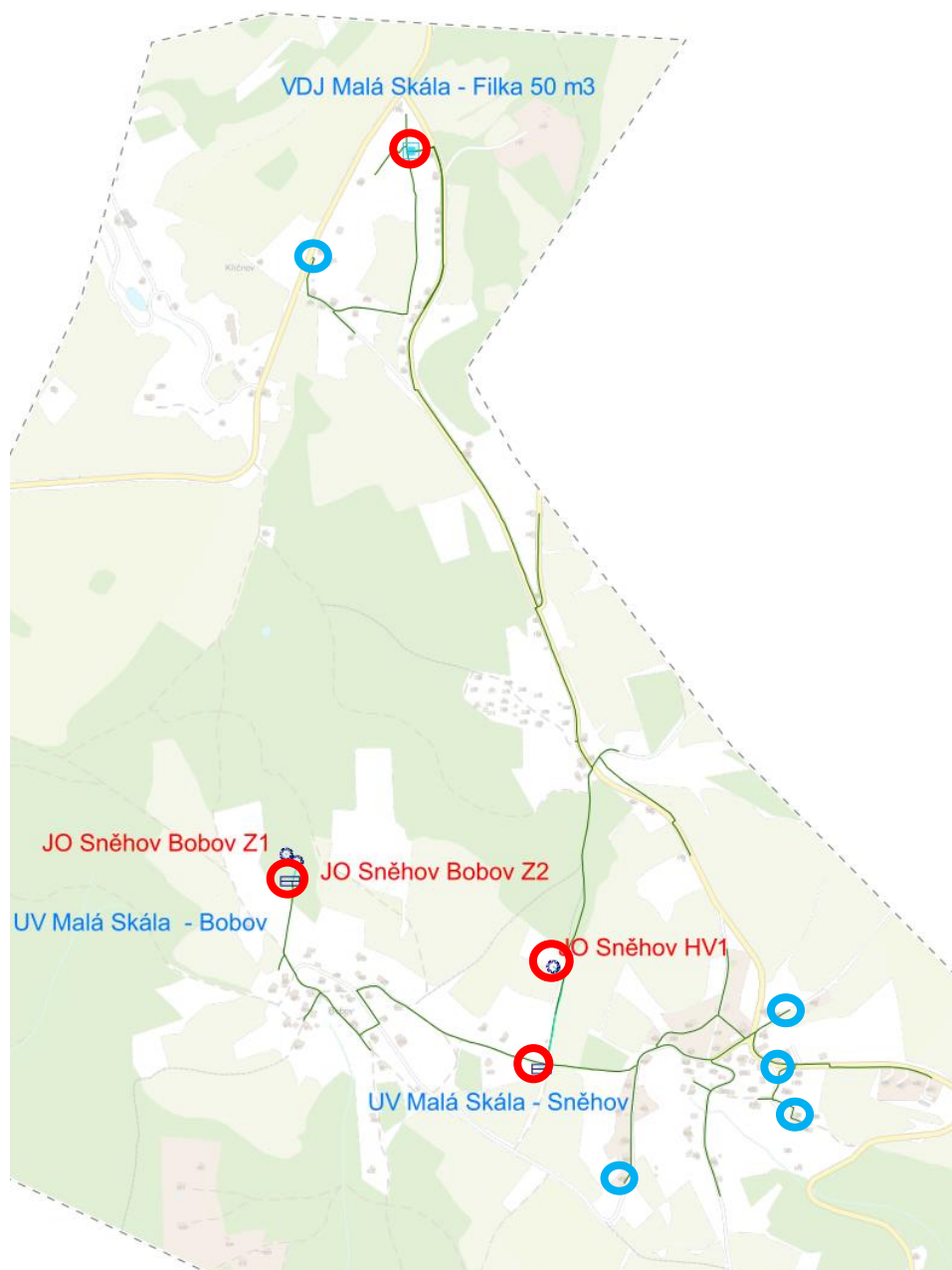
Obr. č. 50 Měření volného chloru ve vodovodní síti.

Tab. 7 č. Měření volného chloru na odtoku z vodojemu.

Vodojem	Měření [mg Cl/l]
Sněhov	0,14
Bobov	0,12
Filka	0,12

Tab. č. 8 Měření volného chloru ve vodovodní síti

Část Malé skály	č. p.	Měření [mg Cl/l]
Sněhov	455	0,05
Sněhov	442	0,04
Sněhov	433	0,04
Sněhov	452	0,06
Mukařov (Filka)	105	0,04



Obr. č. 51 Situace vodovodu Malá Skála – Sněhov s vyznačenými místy odběrů vzorků vody

- Legenda
- Prohlídka vodojemů a zdroje
 - Odběr vzorků pro měření volného chloru v domácnostech

5.4.2 Porovnání koncentrací volného chloru z modelu a z měření

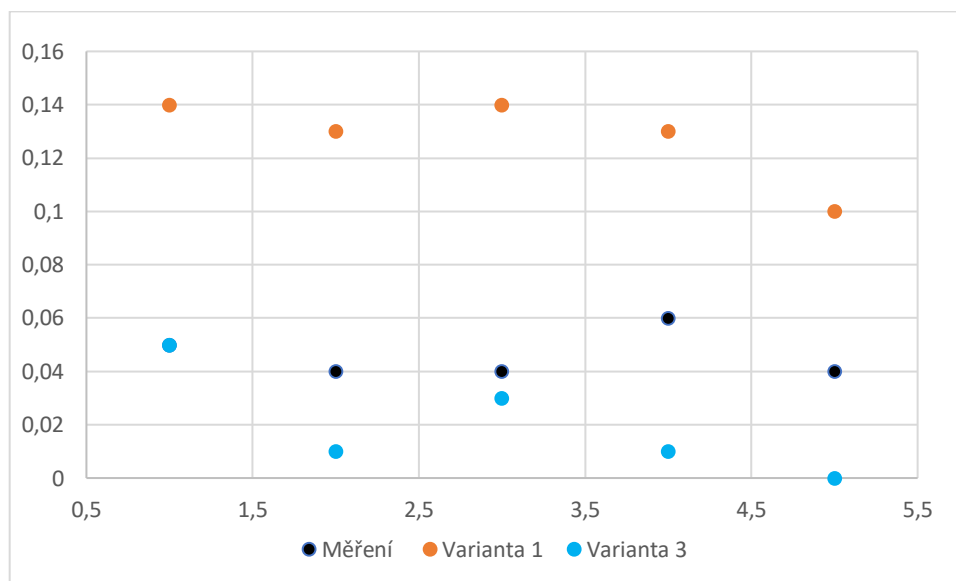
V rámci porovnání koncentrací volného chloru naměřených při místním šetření a koncentrací volného chloru v odpovídajících uzlech matematického modelu jsem použil počáteční koncentraci volného chloru o hodnotě 0,15 mg/l. Jedná se tudíž o porovnání skutečnosti s variantou 1 a 3. Odběrová místa z dané lokality jsem porovnával s nejbližším uzlem modelu. Vzhledem k tomu, že vzorky byly odebrány od 13:50 do 14:40 jsem použil

hodnoty z modelu v čase 14:00. Model v 15:00 udával takřka stejné výsledky jako ve 14:00. Hodnoty porovnání modelu a měření jsou uvedeny v tabulce Tab. č. 9 a také jsou znázorněny v grafu na obrázku Obr. č. 52. Na základě výsledků lze konstatovat, že skutečnosti více odpovídaly hodnoty vypočtené ve variantě 3, tedy reakčním koeficientům $K_b = -0,36 \text{ d}^{-1}$ a $K_w = -0,02 \text{ m/d}$. Pro přesnější stanovení těchto koeficientů by s ohledem na dobu zdržení vody ve vodovodní síti bylo nutné provést dlouhodobou měrnou kampaň s odběrem vzorků v jednotlivých denních hodinách.

Tab. č. 9 Porovnání modelu se skutečným stavem volného chloru v síti

Část Malé skály	č. p.	Uzel	Měření	Modelování	
			[mg Cl/l]	Varianta 1	Varianta 3
				[mg Cl/l]	[mg Cl/l]
Sněhov	455	27	0,05	0,14	0,05
Sněhov	442	35	0,04	0,13	0,01
Sněhov	433	26	0,04	0,14	0,03
Sněhov	452	12	0,06	0,13	0,01
Mukařov (Filka)	105	62	0,04	0,1	0,00

Obr. č. 52 Porovnání modelu se skutečným stavem chloru v síti



5.5 Závislost koncentrace volného chloru na průtoku

Vzhledem k významnému zdržení vody a rozdílnému zásobování vodou v jednotlivých obcích je podle mého názoru zajímavý vývoj koncentrace volného chloru vůči průtoku. Vzhledem k naměřeným výsledkům ve vodojemu Filka tj. koncentraci 0,12 mg/l jsem pro zobrazení této závislosti zvolil dávkování chloru v obou vodojemech na koncentraci 0,18

mg/l a úbytky chloru dle rychlostního koeficientu $k_b = -0,03 \text{ d}^{-1}$. Za takovýchto podmínek vycházejí koncentrace volného chloru ve vodojemu Filka kolem hodnoty 0,12 mg Cl/l. Potrubí k vodojemu Filka a vesnice za ním je zásobována tlakově, oproti tomu Sněhov je zásobován gravitačně a Bobov je zásobován gravitačně pouze za předpokladu dostatečné vydatnosti vodního zdroje Bobov. Proto jsem se rozhodl, že budu tento problém řešit jak pro přiváděcí řád do vodojemu Filka, tak pro oblast za vodojmem Filka. Dále je zde zobrazena tato závislost v obci Sněhov.

5.5.1 Výtlačný řád do vodojemu Filka

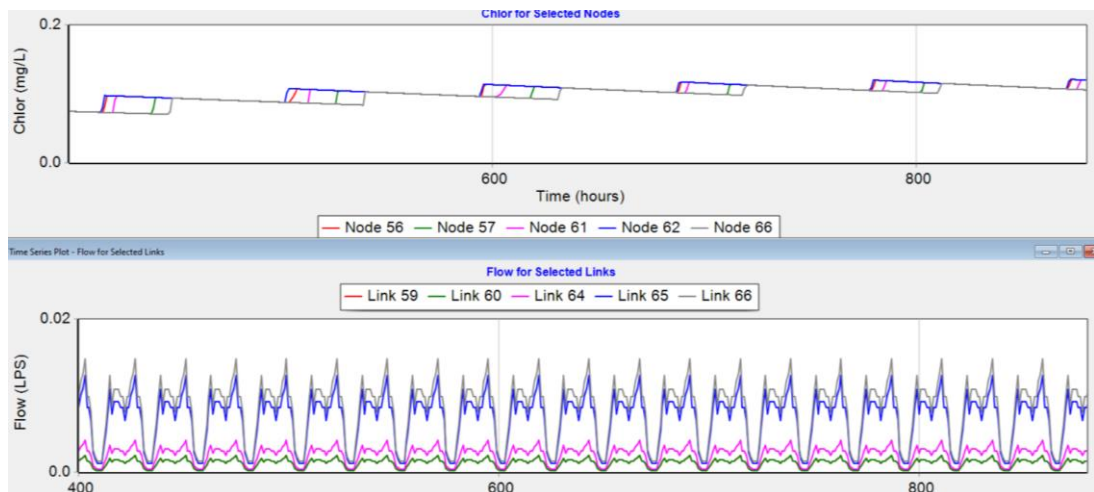
V tomto řešeném úseku je jasně vidět závislost množství volného chloru na spuštění čerpadla ve vodojemu Sněhov, kdy po spuštění dojde k vyčerpání hygienicky zabezpečené vody do řadů a posléze k úbytkům chloru do chvíle opětovného spuštění čerpadla. Voda ze Sněhova do Filky je vyčerpána za relativně velmi krátký časový úsek cca 2,5 hodiny. Dále je zde vidět že do uzlu 51 přitéká voda z vodojemu Filka pouze před čerpáním z VDJ Sněhov, kdy už je voda „z VDJ Sněhov spotřebována“ a je tedy tento uzel zásobován z VDJ Filka. Věc, která asi není z těchto grafů úplně patrná je, že průtoky v úsecích 40, 44 a 56 jsou téměř stejně velké a na tento systém relativně velké. Průtoky v těchto úsecích se liší pouze nepatrně o aktuální odběr vody a také o dobu dotoku mezi jednotlivými úseky. V úsecích 50 a 54 naproti tomu jsou velmi malé průtoky, které se pohybují kolem rychlosti 0,01 l/s.



Obr. č. 53 Závislost koncentrace volného chloru na průtoku před VDJ Filka.

5.5.2 Řady za vodojmem Filka

V tomto případě se již čerpání z VDJ Sněhov projevuje pouze v malém skokovém zvýšení koncentrace volného chloru. Významnou roli zde má i doba zdržení vody v potrubí a spuštění automatické tlakové stanice, která je v objektu VDJ Filka.



Obr. č. 54 Závislost koncentrace volného chloru na průtoku za VDJ Filka

5.5.3 Sněhov

Dle grafů znázorněných na Obr. č. 54, odpovídají průtoky koeficientu denní nerovnoměrnosti a ke zvýšení koncentrace volného chloru ve vodovodní síti dochází těsně po čerpání do vodojemu Filka. V úbytku chloru se nijak výrazně neprojeví noční nízké odběry vody v této oblasti.



Obr. č. 55 Závislost koncentrace volného chloru na průtoku v obci Sněhov

5.6 Popis rizik vodovodní sítě Malá Skála-Sněhov

Další částí mé diplomové práce bylo během obhlídky systému provést alespoň popis rizik a jejich analýzu pro vodní zdroje, vodojemy a potrubní síť z pohledu provozovatele vodárenské infrastruktury. Pro popis rizik jsem použil zkrácený seznam rizik vodovodních systémů ze SZU. [54]

5.6.1 Vodní zdroje

Vodní zdroje mají vyznačená ochranná pásma jak 1. tak 2. stupně a nehrozí zde znečištění způsobeného stavbami a související infrastrukturou, dopravou a také zemědělstvím. Pásmo 2. stupně ochrany je využíváno jako louka a částečně jako les. Samotný vodní zdroj je kryt betonovou deskou, která je uzamčená a tím chráněná proti vniknutí. Vstup do tohoto zdroje je oproti okolnímu terénu vyvýšen a je tak chráněn proti splachům a smyvům z okolí. V okolí vodního zdroje nejsou pořádány občasně akce, jako jsou festivaly a sportovní soutěže a není zde ani žádné sportovní zařízení.



Obr. č. 56 Vodní zdroj Sněhov

5.6.2 Vodojemy

Všechny tři vodojemy zapojené do tohoto systému jsou chráněny uzamykatelným plotem a dveřmi. Odvětrávání nádrží vodojemů je zabezpečeno pomocí filtračního materiálu. Jak již vyplynulo i z modelu, je ve vodojemu Filka velké zdržení vody vlivem jednak využití vodojemu jako zdroj požární vody a také tím že odběry v síti jsou poměrně malé. Dle obhlídky vodojemů se strojní vystrojení zdálo být udržované a čisté. Trubní materiál použitý v systému byl převážně z litiny a PE pouze vypouštěcí potrubí vodojemů bylo ze železa. V obcích zatím není vybudována splašková kanalizace a splašky jsou převážně odváděny do bezodtokových jímek případně do septiků a následně jsou vypouštěny do podmoků nebo potoka. Výhledově se budou budovat pouze bezodtoké jímky, které budou vyváženy na ČOV Turnov anebo čistírny pro několik objektů. Pokud budou splněny podmínky pro jejich zřízení a získán souhlas správce povodí.



Obr. č. 57 Vodojem Sněhov

5.6.3 Vodovodní síť a přípojky

Vzhledem k tomu, že vodovodní síť je ve vesnické zástavbě, je potenciálním nebezpečím porušení potrubí např. kořeny stromů. Dle matematického modelu je ve vodovodní síti před vodojemem Filka velmi nízký tlak. Dále je také nízký tlak v Bobově. Zde se ovšem jedná o tlaky, které jsou těsně pod předepsanými 25 m v. sl. Ovšem pro zdejší zástavbu (do 2.NP) jsou tlaky dostatečné. Nesprávně prováděné odkalování a opravy nemohu posoudit. Vodní zdroj Sněhov je dle vyjádření provozovatele dostatečně kapacitní. Oproti tomu vodní zdroj Bobov v letních měsících nedokáže zajistit dostatek vody pro zásobovanou oblast a dostatek vody v oblasti zajišťuje voda ze zdroje Sněhov. Vzhledem k tomu, že v nedávné době byla vodovodní síť renovována, nepředpokládám použití nevhodných materiálů. Potenciálně významným rizikem by mohlo být chování zákazníků, kdy se jedná o oblast s poměrně významným výskytem rekreatantů a také má mnoho lidí vlastní vodní zdroj. V tomto případě může hrozit mikrobiální kontaminace vody z důvodu dlouhodobého zdržení vody ve vodovodních přípojkách či nezákonného propojení veřejného vodovodu se soukromými zdroji vody.

5.6.4 Organizaci a pracovní postupy provozovatele

S ohledem na poskytnuté podklady a cíle této práce nejsem schopen toto posoudit.

C Závěr

Cílem této diplomové práce bylo namodelovat vodovodní systém místní části Sněhov v programu Epanet 2 a provést její analýzu.

V teoretické části jsem se věnoval jednak návrhu vodovodní sítě, ale hlavně provozu stávající sítě. A také tomu, zda a za jakých podmínek se dá vodárenský systém provozovat bez chlorace.

V praktické části jsem se věnoval popisu stávajícího systému, posouzení hydrauliky, době zdržení vody a také množství volného chloru v celém systému. Tato posouzení jsem provedl i s přihlédnutím k územnímu plánu lokality a také potenciálního připojení rekreační oblasti Protivná. Během posouzení jsem dospěl k názoru, že by bylo vhodné osadit na vybraná místa redukční ventily. Tím by byly splněny požadavky dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. Snížila by se tím pravděpodobnost poruchy, ztráty vody a případné následky potenciální havárie. Dále lze konstatovat, že ve vodovodní síti jsou malé rychlosti proudění vody, ty jsou zde ovšem z důvodu dimenzování potrubí pro zajištění požární bezpečnosti. Z toho důvodu je tento stav přijatelný.

Dále jsem řešil dobu zdržení vody, kdy jsem se pokoušel zdržení vody snížit pomocí zmenšení vodojemu. Tento krok byl veden správným směrem. Zdržení vody pokleslo, ale pokles nebyl tak výrazný, aby vyvážil možné riziko nedostatečného požárního objemu VDJ. Mnohem lépe se jevila varianta, kdy se do systému zapojila osada Protivná. Tím došlo k výraznějšímu snížení doby zdržení. Obyvatelé a rekreační z osady Protivná tuto možnost pravděpodobně využijí pouze v případě, že by jejich zdroje nebyly dostatečně vydatné.

V návaznosti na dobu zdržení vody v síti jsem řešil také koncentraci volného chloru v síti. Z literárních podkladů byly zvoleny dvě různé rychlosti úbytku volného chloru a aplikovány na matematický model řešené lokality. Snahou bylo získat alespoň rámcový přehled, jak se chlor v systému chová. Dále jsem posuzoval koncentrace volného chloru ve zvolených částech vodovodní sítě vzhledem k směru průtoku vody v potrubí.

Posledním řešeným bodem byla obhlídka vodovodního systému. Díky ochotě provozovatele SČVK a.s. jsem si mohl prohlédnout všechny vodojemy a vodní zdroj Sněhov. Dokonce jsem si mohl změřit koncentraci volného chloru ve vodojemech. Při kontrolních měřeních byly naměřeny koncentrace volného chloru ve vodě, které nepřesahovaly limity stanovené vyhláškou č. 252/2004 Sb.. Přesto si někteří obyvatelé stěžovali na to, že cítí chlor ve vodě v ranních a večerních hodinách. Během jednorázové měrné kampaně, při které byl použit kolorimetr Eutech C401 se koncentrace volného chloru pohybovaly na spodní hranici

měřitelnosti viz tabulka Tab. č. 8. Na matematickém modelu jsem prověřil, zda zvýšené koncentrace volného chlóru ve vodovodní síti nemohou být způsobeny provozem čerpacích stanic, kdy se skokově zvýší koncentrace volného chloru až na trojnásobek (ani tehdy ovšem nedošlo k překročení limitů stanoveným vyhláškou č. 252/2004) ve VDJ Filka. Další možností je, zda je správně nastavené dávkování chloru na hladinu vodojemů. Velké skoky v chlorování by se daly vyřešit menším čerpadlem na výtlačném řadu z VDJ Sněhov do VDJ Filka, které by bylo spínáno častěji a nedocházelo by k tak velkým výkyvům koncentrace volného chloru. Možné řešení by také mohlo být nainstalovat do vodojemů kontinuální měření koncentrace volného chloru v akumulacích nádrží. Vzhledem k velikosti sítě by mohlo stačit měření pouze ve VDJ Sněhov. Jedná se totiž o ústřední bod systému a také větší ze dvou vodojemů, do kterých se dávkuje chlornan sodný.

Další variantou pro řešení stížností by mohlo být snížení dávky chloru ve VDJ Bobov a Sněhov a aplikace chloru i ve VDJ Filka. Nejprogressivnější variantou by ovšem dle mého názoru byl bezchlorový provoz vzhledem k dobré kvalitě zdroje Sněhov a nově zrekonstruované vodovodní síti.

Na úplný závěr mé diplomové práce bych rád shrnul, že celkově je řešený vodárenský systém v dobrém technickém stavu. Co se týče provozování tohoto systému, doporučil bych především optimalizaci tlakových poměrů ve vybraných částech vodovodní sítě pomocí redukčních ventilů a dále bych doporučil zvážit možnost provozování tohoto systému bez hygienického zabezpečení vodovodní sítě pomocí chlóru či podobných látek. V případě rozhodnutí pro „bezchlorový“ provoz doporučuji postupovat podle metodiky Water safety plan.

D Zdroje

- [1] Kolář, Václav, Cyril Patočka a Jiří Bém. *Hydraulika*. Vyd.1. Praha: SNTL,1983. 474s.
- [2] Kožíšek F.: Proč voda s chlorem, proč voda bez chloru? Sborník konference Pitná voda 2010, s. 35-40. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8
- [3] *Redirecting to <https://www.sovak.cz/cs>* [online]. Copyright © [cit. 9.10.2020]. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/sites/default/files/igfrsegJuR9xtcBAL/Sovak121472.pdf>
- [4] KOŽÍŠEK, František, Jiří PAUL a Josef DATEL. *Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2013. ISBN 978-80-87402-26-9.
- [5] Dezinfekce chlorem a jeho sloučeninami *Akreditované rozborů vody v rámci celé ČR - Vaše jednička v rozbořech vody* [online]. Dostupné z: <https://www.vo-da.cz/encyklopedie-wiki/dezinfekce-chlorem-a-jeho-slouceninami/>
- [6] *Informační systém* [online]. Copyright ©c [cit. 04.11.2020]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/22808/prif_d/1_UVOD.pdf
- [7] Obecný přehled generací počítačů | Historie počítačů v Československu. *Historie počítačů v Československu 1950–1975* [online]. Copyright © 2005 [cit. 5.11.2020]. Dostupné z: <https://www.historiepcitacu.cz/obecny-prehled-generaci-pocitacu.html>
- [8] 216/2011 Sb. Vyhláška o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 19.10.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-216>
- [9] KUBEŠ, Jiří. *Provozování a bezpečnost zdrojů, úpraven a rozvodů pitné vody*. České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií, 2013. ISBN isbn978-80-87472-49-1. Provoz
- [10] 428/2001 Sb. Vyhláška, kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 17.11.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [11] 20/2002 Sb. Vyhláška o způsobu a četnosti měření množství a jakosti vody. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 17.11.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-20>

- [12] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [13] GRÜNWALD, Alexander. *Vodárenství*. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 8090246079;9788090246072;.
- [14] SZÚ [online]. Copyright © [cit. 15.12.2020]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_Tabor_2016.pdf
- [15] Naše vody informační portál o vodě [online] [cit. 19.10.2020] Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/podil-odberu-podzemnich-zdroju-pitne-vody-se-predchozich-deseti-letech-zvysoval>
- [16] Pražská vodohospodářská společnost - Spotřeba vody [online] [cit. 25.10.2020] Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [17] Zákony pro lidi – Zákon č. 254/2001 Sb. [online] [cit. 26.10.2020] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254#cast1>
- [18] Ministerstvo zemědělství – Ochrana pásma vodních zdrojů [online] [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ochranna_pasma_vodnich_zdroju
- [19] Pražská vodohospodářská společnost [online] [cit. 27.10.2020] Dostupné z <http://www.pvs.cz/pro-zakazniky/mestske-standardy/>
- [20] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina, Marek SLAVÍČEK a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. 2., přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 9788001053904;8001053903;.
- [21] BERÁNEK, Josef, et al. Inženýrské sítě. *Brno: Vysoké učení technické: fakulta stavební*, 2005. Dostupné z [online] [cit. 28.10.2020] [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BP51-Inzenyrske%20site%20\(V\)/M01-Inzenyrske%20site.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BP51-Inzenyrske%20site%20(V)/M01-Inzenyrske%20site.pdf)
- [22] ČSN 75 5301. Vodárenské čerpací stanice. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Třídící znak 75 5301.
- [23] 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví. *Zákony pro lidi - Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 20.11.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>

[24] Číslo 12/2018 časopisu Sovak | SOVAK ČR. *Redirecting to <https://www.sovak.cz/cs>* [online]. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/casopis/cislo-122018-casopisu-sovak>

[25] *MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s. - MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s.* [online]. Copyright © [cit. 17.11.2020]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/archive/014/001699.pdf>

[26] 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly.... *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 19.11.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>

[27] MELICHAR, Jan. Úvod do čerpací techniky. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.

[28] Jana Ambrožová: Encyklopedie hydrobiologie . *Vydavatelství VŠCHT Praha* [online]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-006/

[29] Aktuální přehled rizikové analýzy[online]. Copyright © [cit. 20.11.2020]. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2016/PV%20Tabor%20sbornik/30-Pumann.pdf>

[30] ČSN 75 5355. Vodojemy. ICS 13.060;23.080, Praha: ÚNMZ, červen 2014.

[31] 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 19.11.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>

[32] ČSN 73 0873. Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou. ICS 13.060;23.080, Praha: ÚNMZ, červen 2014.

[33] ČSN 75 5401. Navrhování vodovodního potrubí. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

[34] ČSN 73 6005. Prostorové uspořádání sítí technického vybavení. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1.9.1994.

[35] Výhody a nevýhody zbytkového chloru z hlediska chemického [online]. Dostupné z: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2010/PV2010%20sbornik/08-Jeligova.pdf>

[36] SiteFlow [online]. [cit. 8.10.2020]. Dostupné z: <https://www.aquion.cz/software/7-siteflow>

[37] *ResearchGate | Find and share research* [online]. Copyright © [cit. 8.10.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Michel_Detay/publication/263696651_Creating_excel

lence_in_French_distribution_system_a_combination_of_new_on-line_sensors_and_models_to_optimize_chlorine_residual_according_to_microbiological_growth_and_network_characteristics/links/545230cf0cf2bf864cbb3016/Creating-excellence-in-French-distribution-system-a-combination-of-new-on-line-sensors-and-models-to-optimize-chlorine-residual-according-to-microbiological-growth-and-network-characteristics.pdf

[38] Software pro analýzu a návrh vodovodních sítí - WaterGEMS. *Object moved* [online]. [cit. 8.10.2020] Dostupné z: <https://www.bentley.com/cs/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>

[39] ROSSMAN, A. L., 2000: EPANET 2 Users Manual, United States Enviromental Protection Agency US E.P.A., 9/2000 [cit. 8.10.2020].

[40] MIKE+ Water Distribution. *MIKE Powered by DHI* [online]. Copyright © DHI [cit. 9.10.2020]. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mikeplus/water-distribution/>

[41] Stanovisko ČMI č. 1112015 Ke stažení | Český metrologický institut. *Vítá Vás Český metrologický institut | Český metrologický institut* [online]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/download>

[42] dTest: Pitná voda a práva spotřebitele - Nezávislé testy, víc než jen recenze. *dTest: Nezávislé testy, víc než jen recenze* [online]. Copyright © pinkomelet [cit. 20.11.2020]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-1116/pitna-voda-a-prava-spotrebitel>

[43] VRV a.s. - Matematické modelování. *VRV a.s. - Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., Nábřeží 4, 150 56 Praha 5 - Smíchov* [online]. Dostupné z: <https://www.vrv.cz/sluzby-matematicke-modelovani-uniky>

[44] Územní plán - Oficiální stránka obce Malá Skála. Malá Skála - Oficiální stránka *obce Malá Skála* [online]. Copyright © 2020 [cit. 21.11.2020]. Dostupné z: <https://www.mala-skala.cz/obec-7/uzemni-plan-1/?page=all>

[45] MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s. - MORAVSKÁ VODÁRENSKÁ, a.s. [online]. Copyright © [cit. 23.11.2020]. Dostupné z: <https://www.smv.cz/res/archive/014/001643.pdf>

[46] TZB.-Info - Použití UV záření pro dezinfekci pitné vody [cit. 27.11.2020] Dostupné z <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9697-pouziti-uv-zareni-pro-dezinfekci-pitne-vody>

[47] Characterization and Modeling of Chlorine Decay in Distribution Systems - John J. Vasconcelos, Paul F. Boulos - *Knihy Google. Knihy Google* [online]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=CG23TIEAuBUC&oi=fnd&pg=PR11&ots=>

v0cnJD8nnd&sig=Ur02QtJ5cODGFMOSI7gZwyXxFtk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[48] Bad Request — ScienceDirect. *ScienceDirect.com / Science, health and medical journals, full text articles and books*. [online]. Copyright © 2020 Elsevier B.V. or its licensors or contributors. ScienceDirect [cit. 23.11.2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135498005193#TBL1>

[49] ČSN EN 805. Vodárenství pořadavky na vnější sítě a jejich součásti. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.

[50] Dezinfekce pitné vody | Kyslíkové koncentrátoři na doma, na baterii i do auta. *Kyslíkový koncentrátor - nejlevnější koncentrátor kyslíku | Kyslíkové koncentrátoři na doma, na baterii i do auta* [online]. Copyright © Kyslíkové koncentrátoři na doma, na baterii i do auta [cit. 04.12.2020]. Dostupné z: <https://www.kyslikove-koncentratory.eu/dezinfekce-pitne-vody-c29/>

[51] OZON V MODERNÍCH TECHNOLOGIÍCH ÚPRAVY PITNÉ VODY [Online] [cit. 04.12.2020] Dostupné z <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/ozon2.pdf>

[52] Waterfilter - Proč dezinfikovat vodu pomocí UV záření?. *Waterfilter - Filtrace a úprava vody* [online]. [cit. 04.12.2020] Dostupné z: <https://www.waterfilter.cz/proc-dezinfikovat-vodu-pomoci-uv-zareni/>

[53] *Grundfos-Pump Series-CR, CRI, CRN, CRE, CRIE, CRNE Environmental Equipment Pump curves* [online]. Copyright © B [cit. 10.12.2020]. Dostupné z: <https://isurplus.com.au/manuals/Grundfos%20CR1%20Pump%20User%20Manual.pdf>

[54] *SZÚ-Krátký seznam nebezpečí* [online]. Copyright © [cit. 14.12.2020]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/wsp/nebezpeci_kratsi_seznam

[55] What is SCADA Software?. *Samsara | Industrial IoT* [online]. Copyright © 2020 Samsara Networks, Inc. [cit. 15.12.2020]. Dostupné z: <https://www.samsara.com/guides/scada-software>

[56] *Unipi* [online]. Copyright © 2014 [cit. 15.12.2020]. Dostupné z: https://www.unipi.technology/cs/produkty/mervis-scada-335?gclid=Cj0KCQiA2uH-BRCCARIsAEeef3knp8pFSFK7Zt6JbpXSOewCFzNSO8E41rDfGXr_-Dmfft_i_kr8IaAoYLEALw_wcB

E Obrázky

Obr. č. 1 TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.

Obr. č. 2 Proudění tekutin | Eduportál Techmania. *Eduportál* | *Eduportál Techmania* [online]. Copyright © Techmania Science Center, o.p.s. [cit. 04.11.2020]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/tekutiny/proudeni-tekutin>

Obr. č. 3 Soubor:Bernoulliho rovnice.jpg – Wikipedie. [online 4.11. 2020]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Bernoulliho_rovnice.jpg

Obr. č. 4 File:Moody diagram.jpg - Wikimedia Commons. [online]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg

Obr. č. 5 Ověření energetické náročnosti čerpací techniky [Online] [cit. 05.12.2020] Dostupné z <https://www.tzb-info.cz/4887-overeni-energeticke-narocnosti-cerpaci-techniky>

Obr. č. 6 ŠNITA, D. Chemické inženýrství I. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko - technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-589-7

Obr. č. 7 GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 8090246079;9788090246072;.

Obr. č. 8 KUBEŠ, Jiří. Provozování a bezpečnost zdrojů, úpraven a rozvodů pitné vody. České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií, 2013. ISBN isbn978-80-87472-49-1. Provoz Obr. č. 9 TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985

Obr. č. 10 GHC Invest [online]. Dostupné z: [https://www.ghcinvest.cz/2-Reference/3-Technologie-\(upravny-chlorovny-MaR\)/#!prettyPhoto](https://www.ghcinvest.cz/2-Reference/3-Technologie-(upravny-chlorovny-MaR)/#!prettyPhoto)

Obr. č.11 Čína čištění odpadních vod Ozon systém výrobci, dodavatelé, továrna - nízká cena čištění odpadních vod Ozonový systém na prodej - Guolin. Čína ozon generátor, monohydrát kyseliny Glyoxylová, piezoelektrické keramické výrobci, dodavatelé, továrna - Qingdao Guolin environmentální Technology Co., Ltd. [online]. Copyright © Qingdao Guolin environmentální Technology Co., Ltd.. Všechna práva vyhrazena. [cit. 04.12.2020]. Dostupné z: <http://cz.guolin-ozongenerator.org/ozone-generator/water-treatment-ozone-generator/waste-water-treatment-ozone-system.html>

Obr. č.12 UV lampa Viqua S5Q. AQUACON - úprava a čištění vody: úpravy a čistírny odpadních vod [online]. Copyright © [cit. 04.12.2020]. Dostupné z: <http://www.aquacon.cz/dezinfekce-vody-a-uv-lampy/uv-lampy/uv-lampa-viqua-s5q.html>

Obr. č.13 GRÜNWARD, Alexander. *Vodárenství*. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 8090246079;9788090246072;.

Obr. č. 14 ČSN 73 0873. Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou. ICS 13.060;23.080, Praha: ÚNMZ, červen 2014.

Obr. č. 15 KOŽÍŠEK, František, Jiří PAUL a Josef DATEL. *Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2013. ISBN 978-80-87402-26-9

Obr. č. 16 KOŽÍŠEK, František, Jiří PAUL a Josef DATEL. *Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2013. ISBN 978-80-87402-26-9

Obr. č. 17 Fotografie vlastního původu

Obr. č. 18 Fotografie vlastního původu

Obr. č. 19 Podklady od provozovatel

Obr. č. 20 Původ vlastní

Obr. č. 21 Původ vlastní

Obr. č. 22 Podklady od provozovatel

Obr. č. 23 Fotografie vlastního původu

Obr. č. 24 Původ vlastní

Obr. č. 25 Původ vlastní

Obr. č. 26 Původ vlastní

Obr. č. 27 Původ vlastní

Obr. č. 28 Původ vlastní

Obr. č. 29 Původ vlastní

Obr. č. 30 Původ vlastní

Obr. č. 31 Původ vlastní

Obr. č. 32 Původ vlastní

Obr. č. 33 Původ vlastní

Obr. č. 34 Původ vlastní

Obr. č. 35 Původ vlastní

Obr. č. 36 Původ vlastní

Obr. č. 37 Původ vlastní

Obr. č. 38 Původ vlastní
Obr. č. 39 Původ vlastní
Obr. č. 40 Původ vlastní
Obr. č. 41 Původ vlastní
Obr. č. 42 Původ vlastní
Obr. č. 43 Původ vlastní
Obr. č. 44 Původ vlastní
Obr. č. 45 Původ vlastní
Obr. č. 46 Původ vlastní
Obr. č. 47 Původ vlastní
Obr. č. 48 Fotografie vlastního původu
Obr. č. 49 Fotografie vlastního původu
Obr. č. 50 Fotografie vlastního původu
Obr. č. 51 Podklady od provozovatel
Obr. č. 52 Původ vlastní
Obr. č. 53 Původ vlastní
Obr. č. 54 Původ vlastní
Obr. č. 55 Původ vlastní
Obr. č. 56 Fotografie vlastního původu
Obr. č. 57 Fotografie vlastního původu

F Tabulky

Tab. č. 1 Pražské vodovody a kanalizace-Ztráty vody ve vodovodní síti [online] [cit. 2.11.2020] Dostupné z:<https://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobnidata/zakladni-informace/ztraty-vody/00>

Tab. č. 2 Pražská vodohospodářská společnost - Spotřeba vody [online] [cit. 2.11.2020] Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>

Tab. č. 3 MAPA - Geoportál Libereckého kraje. Úvod - Geoportál Libereckého kraje [online] [cit. 29.11.2020] . Dostupné z: https://prvk.kraj-lbc.cz//mapa?hslayers=zabaged,prvkuk/karty_obci,orto,kn,uziv GIS

Tab. č. 4 Podklady od provozovatele

Tab. č. 5 Podklady od provozovatele

Tab. č. 6 Vlastní původ

Tab. č. 7 Vlastní původ

Tab. č. 8 Vlastní původ

0