

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ**



**MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODU MĚSTA  
SLANÝ A OKOLNÍCH OBCÍ A POSOUZENÍ  
MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ ROZVOJOVÝCH PLOCH**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**MATĚJ KUDERA**

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



Květen 2023

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Kudera</u>	Jméno: <u>Matěj</u>	Osobní číslo: <u>477433</u>
Zadávací katedra: <u>K144 - Katedra vodního hospodářství obcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Matematické modelování vodovodu města Slaný a okolních obcí a posouzení možnosti připojení rozvojových ploch</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Mathematical modelling of the water supply of the town Slaný and surrounding municipalities and assessing the possibility of connection of development areas</u>	
Pokyny pro vypracování: Cílem diplomové práce bude matematické modelování vodovodu města Slaný a okolních obcí a posouzení možnosti připojení rozvojových ploch. V teoretické části bude zpracována rešerše literatury k dané problematice. Součástí práce bude analýza zásobování dané lokality a příprava podkladů pro modelování a hydraulické posouzení možnosti připojení rozvojových ploch. Bude využito modelování v programu Epanet 2.2. z hlediska tlakových a průtokových poměrů pro různé zatěžovací stavy.	
Seznam doporučené literatury: GRÜNWARD, Alexander a kol.: Vodárenství. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 80-902460-7-9 COOPER, James a Laredo ROBINSON. Computer modeling of water distribution systems. Fourth edition. Denver, CO: American Water Works Association, 2017. ISBN 978-1-62576-252-8. TRIFUNOVIĆ, Nemanja. Introduction to Urban Water Distribution. London: Taylor & Francis, 2006. ISBN 100-415-39517-8. ROSSMAN, Lewis, Hyoungmin WOO, Michael TRYBY, Feng SHANG, Robert JANKE a Terrana HAXTON. EPANET 2.2 User Manual. EPA/600/R-20/133. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2020.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>22.2.2023</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>22. 5. 2023</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*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“.*

<u>22.2.2023</u> 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 ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze, 22. května 2023

.....

Matěj Kudara

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Ing. Kateřině Slavičkové, Ph.D. za odbornou pomoc a rady poskytnuté při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě D-plus projektová a inženýrská, a. s. a provozovateli vodovodní sítě Slavos Slaný, s.r.o., za poskytnutí potřebných dat.



## **Abstrakt**

Předmětem diplomové práce je posouzení vodovodní sítě s využitím matematického modelování v softwaru Epanet 2.2. První část je věnována rešerši literatury v oblasti zásobování pitnou vodou. Podrobněji se věnuje jednotlivým prvkům distribučních systémů pitné vody, potřebě vody, hydraulice vodovodních sítí a jejich matematickému modelování. Na základě literární rešerše se druhá část zabývá matematickým modelováním vodovodu Slánské oblasti včetně analýzy zásobování dané lokality a posouzení možnosti připojení rozvojových ploch s návrhem opatření pro zajištění vyhovujících tlakových a průtokových poměrů.

**Klíčová slova:** vodovodní sítě, distribuce pitné vody, potřeba vody, matematické modelování vodovodních sítí, Epanet

## **Abstract**

The subject of the diploma thesis is the assessment of the water supply system using mathematical modelling in Epanet 2.2 software. The first part is devoted to literature research in the field of drinking water supply. It discusses in detail the elements of water distribution systems, water demand, hydraulics of water supply networks and their mathematical modelling. Based on the literature research, the second part deals with the mathematical modelling of the water supply network of the Slaný region, including the analysis of its supply system and assessment of the possibility of connecting the development areas with the suggestion of measures to ensure suitable pressures and flow rates.

**Keywords:** water distribution networks, distribution of drinking water, water demand, mathematical modelling of water distribution systems, Epanet

# Obsah

ÚVOD.....	9
1 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	10
1.1 Základní prvky distribučních systémů pitné vody.....	10
1.1.1 Vodní zdroj a jímání vody .....	10
1.1.1.1 Podzemní voda.....	11
1.1.1.2 Povrchová voda .....	12
1.1.2 Úpravna vody .....	13
1.1.2.1 Procesy úpravy vod.....	13
1.1.3 Řady pro distribuci vody .....	15
1.1.3.1 Zásady trasování .....	16
1.1.3.2 Materiály potrubí.....	17
1.1.4 Armatury na vodovodní síti .....	20
1.1.4.1 Uzavírací a regulační armatury.....	20
1.1.4.2 Redukční ventily.....	22
1.1.4.3 Zavzdušňovací a odvzdušňovací ventily, kalosvody .....	22
1.1.4.4 Hydranty.....	23
1.1.4.5 Vodoměry.....	23
1.1.5 Čerpací stanice.....	24
1.1.5.1 Základní rozdělení čerpadel.....	25
1.1.5.2 Automatické tlakové stanice .....	26
1.1.6 Vodojemy .....	26
1.1.6.1 Tlaková funkce.....	27
1.1.6.2 Objem vodojemu .....	28
1.1.6.3 Typy vodojemů .....	30
1.2 Typy distribučních systémů.....	30
1.2.1 Podle výškového umístění zdroje vody a vodojemu.....	30
1.2.2 Podle rozsahu zásobování.....	31
1.2.3 Podle plošného uspořádání rozvodné sítě .....	32
1.3 Potřeba vody .....	33
1.3.1 Druhy potřeby vody.....	33
1.3.2 Vývoj potřeby vody.....	34
1.3.3 Výpočet potřeby vody.....	35
1.3.3.1 Průměrná denní potřeba vody .....	36
1.3.3.2 Nerovnoměrnosti potřeby vody .....	37

1.3.4	Cena vody.....	38
1.4	Hydraulika a hydrotechnické výpočty vodovodních sítí.....	40
1.4.1	Hydraulika potrubí .....	40
1.4.1.1	Rovnice kontinuity .....	40
1.4.1.2	Bernoulliho rovnice .....	41
1.4.1.3	Tlakové ztráty.....	42
1.4.2	Hydraulika soustavy potrubí a čerpadla.....	45
1.5	Matematické modelování distribučních systémů pitné vody .....	47
1.5.1	Typy simulace .....	47
1.5.2	Výpočet .....	48
1.5.2.1	Princip výpočtu.....	48
1.5.2.2	Výpočetní iterační metody.....	49
1.5.3	Potřebná data.....	50
1.5.4	Tvorba modelu.....	51
1.5.4.1	Schematizace .....	51
1.5.4.2	Prvky distribučního systému.....	51
1.5.4.3	Pravidla řízení .....	54
1.5.5	Kalibrace a verifikace.....	54
1.5.6	Použití modelu.....	55
1.5.6.1	Řízení v reálném čase.....	57
2	PRAKTICKÁ ČÁST .....	58
2.1	Výchozí podklady .....	58
2.2	Charakteristika zájmové oblasti.....	58
2.3	Popis distribučního systému pitné vody .....	59
2.3.1	Vodní zdroje a úpravna vody.....	59
2.3.2	Oblasti zásobování .....	60
2.4	Spotřeba vody.....	61
2.5	Dopracování matematického modelu.....	63
2.5.1	Nastavení modelu.....	64
2.5.2	Vodojemy a akumulční nádrž.....	65
2.5.3	Regulační ventily.....	65
2.5.4	Automatické tlakové stanice.....	66
2.5.5	Potrubí a uzly .....	66
2.5.6	Pravidla řízení.....	66
2.5.7	Nerovnoměrnost odběrů.....	67
2.5.7.1	Nerovnoměrnost odběrů pro pásmo Jedoměřice .....	70

2.5.8	Kalibrace.....	70
2.5.9	Výsledky simulace .....	76
2.5.9.1	Výsledky simulace doplněných objektů .....	77
2.5.9.2	Výsledky simulace stávajícího stavu.....	78
2.6	Rozvojové plochy .....	82
2.6.1	Modelování připojovaných rozvojových ploch .....	82
2.6.1.1	Lokalita Na Dolíkách.....	82
2.6.1.2	Blahotice - Slánský mlýn.....	85
2.6.1.3	Karla Havlíčka Borovského.....	87
2.6.1.4	Na Hájích .....	91
2.6.2	Výsledky simulace a návrh opatření.....	93
2.6.2.1	Lokalita Na Dolíkách.....	93
2.6.2.2	Blahotice – Slánský mlýn .....	97
2.6.2.3	Karla Havlíčka Borovského.....	103
2.6.2.4	Na Hájích .....	108
2.6.3	Vliv rozvojových ploch na distribuční síť .....	110
ZÁVĚR.....		112
Seznam literatury .....		114
Seznam obrázků.....		119
Seznam tabulek .....		122
Seznam příloh .....		123

# ÚVOD

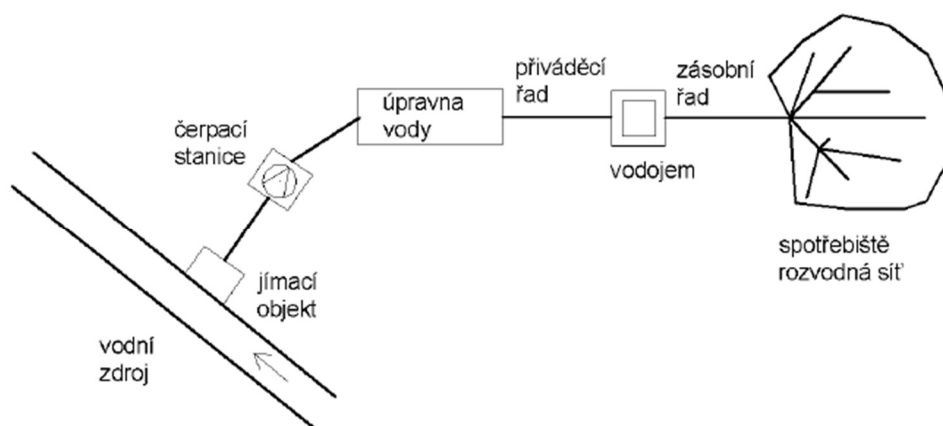
Pitná voda je zásadní pro zajištění zdraví a prosperity obyvatelstva a úzce souvisí s rozvojem civilizace, kdy byl dostatek kvalitních vodních zdrojů klíčovým kritériem pro vznik osídlení. Ačkoliv řada lidí u nás považuje pitnou vodu za samozřejmost, na světě k ní v roce 2020 nemělo přístup okolo 26 % obyvatel a prognóza na rok 2050 předpovídá nárůst až na 50 % celosvětové populace vlivem rostoucího počtu obyvatel a klimatické změny [1]. S klimatickou změnou se potýkáme i v České republice, kde změna rozložení srážek v čase a prostoru, zvýšení průměrné teploty a stále častější delší období sucha ovlivňují zásoby povrchových a podzemních vod, jejichž pokles již několikrát vedl k přerušování dodávek pitné vody v individuálně zásobovaných menších obcích. Vzhledem k poloze České republiky se musíme k doplnění vodních zdrojů spoléhat pouze na vodu ze srážek a měli bychom hledat způsoby pro snížení spotřeby vody. Jedním z nich je i matematické modelování vodovodů, které může pomoci optimalizovat distribuční síť a snížit ztráty vody.

Diplomová práce se v první části zabývá literární rešerší v oblasti zásobování pitnou vodou a využití matematického modelování. Praktická část je věnována matematickému modelování města Slaný a okolních obcí. Hlavním cílem práce je následné posouzení možnosti připojení rozvojových ploch.

# 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

## 1.1 Základní prvky distribučních systémů pitné vody

Vodárenskou soustavu tvoří soubor propojených prvků, které společně zajišťují zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství pitnou vodou. Vodárenskou soustavu lze dále dělit na jednotlivé subsystémy podle jejich účelu. Základní subsystémy vodárenské soustavy jsou na Obr. 1 a podrobněji popsány v kapitolách 1.1.1 - 1.1.6 [2].



Obr. 1: Základní prvky distribučních systémů vody [3]

### 1.1.1 Vodní zdroj a jímání vody

Zdroje vody dělíme na povrchové a podzemní, které se liší způsobem jímání a látkovým složením surové vody, z čehož vyplývají i rozdílné nároky na její úpravu. V České republice dochází setrvale k poklesu množství jímané povrchové i podzemní vody pro vodárenské účely po roce 1990 z důvodů poklesů ztrát v síti, modernizací výrobních procesů se sníženou potřebou vody a v posledních letech i vlivem sucha, které ovlivňuje dostupnost povrchových zdrojů a nižší hladinu podzemních vod. Pro vodárenské účely se odebírá více povrchové než podzemní vody, v roce 2021 bylo odebráno 306,3 mil. m<sup>3</sup> povrchové vody (pokles oproti roku 1990 o 58,9 %) a 292,7 mil. m<sup>3</sup> podzemní vody (pokles oproti roku 1990 o 44 %) [4].

K ochraně zdrojů podzemních a povrchových vod využívaných pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou stanovuje vodoprávní úřad ve veřejném zájmu

ochranná pásma I. a II. stupně opatřením obecné povahy, ve kterém stanovuje velikosti pásem, omezení a zákazy činností na jejich plochách. Ochranné pásmo I. stupně se stanovuje pro ochranu zdroje v bezprostřední blízkosti odběrného či jímacího zařízení. Ochranné pásmo II. stupně slouží pro ochranu před zhoršením vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti zdroje (pásmo nemusí tvořit souvislou plochu) [5].

### 1.1.1.1 Podzemní voda

Pro úpravu na vodu pitnou se jímá surová voda ze zvodnělých vrstev pod zemským povrchem. Infiltrací povrchových vod a atmosférických srážek dochází k doplňování zvodnělých vrstev, čímž je ovlivňováno i fyzikálně-chemické složení surové vody. To je dáno především typem horninového prostředí, složením půdy, stupněm využívání zdroje, obsahem cizorodých látek ve vsakovaných vodách a hloubkou odběru vody (voda ve svrchní oxidační vrstvě nebo z velkých hloubek) [6] [3].

Volba jímacího objektu závisí především na uložení a výšce zvodnělé vrstvy, vydatnosti zdroje a množství jímané vody, které jsou zjištěny hydrogeologickým průzkumem (obsahem je i návrh jímání). Navrhováním, výstavbou a provozem jímacích objektů se zabývá norma *ČSN 75 5115 Jímání podzemní vody*. Jímací objekty se dělí na plošné, vertikální, horizontální a kombinované.

Mezi plošné jímací objekty patří **pramenní jímky**, které slouží pro zachytávání vody z pramenů a plošných vývěřů ze skalnatých hornin do jímek s usazovací komorou, bezpečnostním přepadem, odváděcím a výpustným potrubím.

Nejpoužívanějším typem jsou **hydrogeologické jímací vrty** hloubené rotačním vrtáním (vhodné pro sypké a nesoudržné horniny), které patří mezi vertikální jímací objekty. Mezi další typy vertikálních objektů patří **trubní (vrtaná) studna** pro odběr z hlubokých vrstev v libovolném geologickém podloží. **Šachtové studny** se z důvodu velkého akumulacího objemu používají pro nerovnoměrné nebo individuální odběry, podle způsobu hloubení se dělí na kopané nebo spouštěné. Pro odběry malých objemů vody ze štěrkopískových náplavů mělko pod povrchem se používá **trubková (jehlová) studna**.

Horizontální jímací objekty se používají při malé výšce zvodnělé vrstvy. Patří mezi ně **jímací zářezy**, ražené **štoly** a **galerie** v otevřených rýhách.

Kombinovaný jímací objekt tvoří soustava horizontálních jímacích drénů ústících do sběrné šachtové studny, která se používá pro zdroje v nasycených vrstvách o malé mocnosti [6] [3] [7].

### 1.1.1.2 Povrchová voda

Povrchová voda se pro vodárenské účely odebírá z tekoucích vod nebo nádrží, přičemž množství odebírané vody je omezeno podmínkou zachování minimálního zůstatkového průtoku. Jakost povrchové vody je dána především množstvím znečištění z bodových zdrojů, teplotou vody, manipulací na vodních dílech a průtočným množstvím [6] [3].

V tekoucích vodách kvalita vody kolísá po délce a šířce toku, pro určení kvality se tekoucí vody zařazují do 5 tříd dle ČSN 75 7221 *Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod*. Kvalitu vody, která je obvykle po úpravě vhodná pro vodárenské účely, splňují toky I. a II. tříd [8] [9].

Volba jímacího objektu pro tekoucí vody závisí především na velikosti toku, režimu proudění, splaveninovém režimu, stabilitě břehů a dna. Pro odběr vody z bystrinných vodních toků se používají **jímadla ve dně koryta** v podobě jímacích drénů nebo příčných odběrných žlabů. **Břehová jímadla** se využívají pro jímání vody ze středních a dolních toků se stabilním dnem a břehy. Pro eliminaci zanášení sedimentů se doporučuje tyto objekty budovat ve třetí čtvrtině konkávního břehu a v místech, kde nedochází k rozšíření toku. **Jímadla v řečišti** se využívají u velkých toků s nestabilními břehy, kde je odběrný objekt umístěn v proudnici nade dnem řečiště [2] [6].

U nádrží závisí kvalita vody především na době zdržení, jakosti přítoku a hloubce nádrže v souvislosti se sezónní stratifikací. Z toho důvodu se pro odběr vody z nádrží nejčastěji využívají **odběrné věžové objekty**, kde je možné volit hloubku odběru z jednotlivých etáží s ohledem na aktuální kvalitu vody. U betonových přehrad bývají odběrné věže součástí tělesa hráze, u ostatních



typů přehrad jsou nejčastěji voleny samostatně stojící objekty komunikačně propojené s hrází [2] [6].

### **1.1.2 Úprava vody**

V úpravě vody se surová voda upravuje na pitnou vodu. Na základě jakosti surové vody se volí takové technologické postupy, které zajistí požadované fyzikálně-chemické vlastnosti vody a její zdravotní nezávadnost. Úprava vody se obvykle navrhuje, co nejbližší zdroji vody, na maximální denní potřebu vody  $Q_{\max,d}$  pro nepřetržitý provoz. Navrhováním úpraven vody se blíže zabývá norma *ČSN 75 5201 Navrhování úpraven vody*.

*Vyhláška č. 428/2001 Sb, kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích, v platném znění* řadí na základě naměřených limitních hodnot jednotlivých ukazatelů jakosti vody surovou vodu do tří kategorií (musí vyhovovat 95 % vzorků dané kategorii), pro které uvádí standardní metody úpravy. V případě nadlimitních hodnot u surové vody, které nevyhovují daným kategoriím, je možné ji upravovat na pitnou vodu pouze s udělením výjimky od příslušného krajského úřadu.

Ukazatele jakosti pitné vody včetně hygienických limitů, které musí být dodrženy u koncových spotřebitelů, četnost a rozsah kontrol pitné vody jsou uvedeny ve *Vyhlášce č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění* [10] [11] [12].

#### **1.1.2.1 Procesy úpravy vod**

Technologické procesy úpravy vody jsou voleny v závislosti na složení surové vody a na koncentraci, charakteru a formě znečišťujících látek. Doporučuje se optimalizovat parametry technologií pomocí modelových zkoušek a poloprovozní úpravy vody, případně využít zkušenosti z provozů s podobnou jakostí vody, aby úprava na požadovanou jakost vyžadovala co nejméně druhů a množství přidávaných chemikálií a procesů. Mezi technologické procesy úpravy vody patří mechanické, chemické, fyzikálně-chemické a biologické způsoby [3] [12].

Vzhledem k původu povrchových a podzemních vod je rozdílné jejich bakteriologické a fyzikálně-chemické složení, což ovlivňuje volbu vhodných technologických procesů. U podzemních vod je ve srovnání s povrchovými vodami:

- vyšší obsah rozpuštěných látek, oxidu uhličitého, iontů železa a manganu,
- vyšší  $\text{KNK}_{4,5}$ ,
- stálá teplota a nepatrné kolísání fyzikálně chemických parametrů,
- nízký obsah rozpuštěného kyslíku, organismů a organických látek.

*Tab. 1: Technologické procesy úpravy podzemní vody [3]*

<b>Základní technologické procesy</b>	<b>Další možnosti úpravy</b>
Odkyselování	Odstraňování vápníku a hořčíku
Odželezování	Deionizace
Odmanganování	Demineralizace
Filtrace	Desorpce
Dezinfekce	Membránové procesy
	Iontová výměna
	Čiření

*Tab. 2: Technologické procesy úpravy povrchové vody [3]*

<b>Základní technologické procesy</b>	<b>Další možnosti úpravy</b>
Mechanické předčištění	Membránové procesy
Preoxidace	Flotace
Čiření	
Filtrace	
Adsorpce	
Dezinfekce	
Stabilizace	

Povrchové vody ve srovnání s podzemními vodami mají:

- nižší mineralizaci a nižší obsah oxidu uhličitého,
- větší obsah kyslíku, proměnlivost teploty a koncentraci organických látek,
- větší počet a rozmanitost mikroorganismů,

- chemické složky většinou v oxidované formě.

Základní technologické procesy a případné další možnosti úpravy jsou pro podzemní vodu uvedeny v *Tab. 1*, pro povrchovou vodu v *Tab. 2* [3].

**Mechanické způsoby** se používají pro odstranění hrubých nečistot zejména z povrchových vod k prevenci poškození čerpadel a zanášení potrubí. Mezi prostředky patří česle, síta, lapáky písku a usazovací nádrže.

**Chemické způsoby** slouží především pro úpravu podzemních vod (odstranění agresivního oxidu uhličitého, železa, manganu, vápníku, hořčíku atd.) pomocí neutralizace, srážení, oxidace vzdušným kyslíkem nebo silnými oxidačními činidly.

**Fyzikálně chemické způsoby** se používají k:

- odstranění nerozpuštěných a koloidně dispergovaných látek – koagulace a flotace,
- odstranění rozpuštěných plynů – desorpce vzduchem,
- odbarvování a dezodorizaci – adsorpce aktivním uhlím,
- deionizace a demineralizace – iontová výměna, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza.

**Biologické způsoby** slouží pro odmanganování a odželezování vody. Dále se uplatňují při pomalé filtraci, desulfataci a denitrifikaci [3].

### 1.1.3 Řady pro distribuci vody

Řady všech kategorií by měly jako celek zajistit přísun pitné vody ke spotřebiteli v požadovaném množství, tlaku a kvalitě při co nejnižších nákladech. Doprava vody je mezi vodním zdrojem, úpravnou a vodojemem zajišťována pomocí **příváděcího řadu** (1. kategorie: vedení nadřazená), který je dimenzován na maximální denní potřebu vody  $Q_{\max,d}$ . Při překonávání větších výškových rozdílů se u potrubí stanoví jednotlivá tlaková pásma dle maximální hodnoty provozního přetlaku potrubí. Rozdělení na tlaková pásma u výtlačných řadů se dosahuje pomocí kaskádového čerpání do jednotlivých stupňů, v případě

gravitačních řadů je tlak regulován pomocí přerušovacích komor, redukčních ventilů nebo vodojemů [6] [10].

**Zásobním řadem** (2. kategorie: vedení hlavní) je voda dopravována z vodojemu do spotřebiště, kde je napojen na **rozvodnou síť** (3. kategorie: vedení uliční). Zásobní řad i rozvodná síť jsou dimenzovány na maximální hodinovou potřebu vody  $Q_{\max,h}$ . Tlak vody, z důvodu konstrukce a spolehlivé funkce zařízení a pro minimalizaci ztrát vody, musí být dle *Vyhlášky č. 428/2001 Sb. v platném znění*:

- v místě vodovodní přípojky minimálně 0,15 MPa při zástavbě do 2 nadzemních podlaží nebo 0,25 MPa při zástavbě nad 2 nadzemní podlaží,
- v nejnižším místě tlakového pásma maximálně 0,6 MPa, v odůvodněných případech je přípustných 0,7 MPa.

Pro dodržení tlakové podmínky je nutné rozdělit spotřebiště na jednotlivá tlaková pásma o výškovém rozmezí 25–35 m zpravidla zajištěná polohami vodojemů (viz kapitola 1.1.6.1), ze kterých jsou zásobována. Pro ojedinělé výškové budovy v pásmu je možné zřídit zařízení pro zvýšení tlaku na vnitřním vodovodu (viz kapitola 1.1.5.2) [6] [10].

**Vodovodní přípojky** (4. kategorie: vedení přípojková) slouží pro zásobování koncového spotřebitele pitnou vodou (vlastníkem přípojky je vlastník stavby připojené na vodovod) a jsou tvořeny úsekem potrubí od rozvodného řadu po vodoměr. Na odbočení z rozvodného řadu musí být osazena uzavírací armatura [13] [14].

Optimální rychlosti proudění jsou v příváděcích a zásobních řadech okolo 1,5 m/s, v rozvodné síti okolo 1 m/s. Norma *ČSN EN 805 Vodárenství – požadavky na vnější sítě a jejich součásti* doporučuje rychlost proudění v rozmezí 0,5 – 2 m/s (až 3,5 m/s za zvláštních okolností). Nižší rychlosti proudění jsou rizikem z hlediska kvality vody, naopak vyšší rychlosti vedou k vysokým hydraulickým ztrátám [15].

### 1.1.3.1 Zásady trasování

Vodovodní potrubí by mělo v zastavěném území přednostně vést ve veřejných prostorech, kde je zajištěn přístup pro údržby a opravy. Uložení vodovodního potrubí v intravilánu musí být v souladu s normou *ČSN 73 6005 Prostorové*

*uspořádání technického vybavení, která specifikuje zájmová pásma vedení vodovodu v uličním prostranství, nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti ve svislém a vodorovném směru při křížení a souběhu vedení technického vybavení. Vodovodní potrubí musí být při souběhu nebo křížení s kanalizační stokou nebo jiným potrubím dopravujícím zdraví škodlivé látky umístěno nad těmito potrubími (výjimku může vydat vodoprávní úřad). Minimální výška krytí vodovodního potrubí je stanovena v chodníku a volném terénu 1-1,6 m, ve vozovce 1,5 m. Maximální výška krytí je doporučena 2,2 m. Norma ČSN 75 5401 *Navrhování vodovodního potrubí* dále zpřesňuje výšku krytí ve volném terénu v závislosti na inženýrskogeologických a hydrogeologických podmínkách pro různé zeminy z důvodu různého statického působení a ochrany vůči klimatickým podmínkám. Pro snížení provozních nákladů je vhodné v co největší míře navrhovat gravitační řady s minimem čerpání [16] [17].*

Podélný sklon vodovodního potrubí se navrhuje dle dimenzí:

- do DN 200 mm nejméně 3 ‰,
- v rozmezí DN 250-500 mm nejméně 1 ‰,
- nad DN 600 mm nejméně 0,5 ‰ [10].

Maximální sklony potrubí nejsou definovány, ale při sklonu potrubí nad 15 ‰ je nutné posoudit stabilitu potrubí a případně ho zajistit proti posunutí [17].

Vodovodní přípojky se navrhují přednostně kolmo na připojovaný objekt s minimem lomů v minimálním sklonu 3 ‰ pokud možno ve stoupání směrem k vnitřnímu vodovodu [14].

### **1.1.3.2 Materiály potrubí**

Materiály, které přicházejí do styku s pitnou nebo surovou vodou, musí vyhovět svým složením a značením hygienickým požadavkům dle *Vyhlášky č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody, v platném znění*, aby nedošlo ke zhoršení jakosti a zdravotní nezávadnosti vody [18].

Neexistuje univerzální materiál potrubí do všech podmínek, a proto je při volbě materiálu nutné zohlednit jeho požadované vlastnosti a prostředí ve kterém bude uloženo. Zejména je nutné posoudit požadavky na pracovní a zkušební

přetlak, vodní rázy, statické a dynamické zatížení, únosnost a agresivitu půdy, přítomnost bludných proudů, drsnost potrubí, požadovanou životnost a spolehlivost vzhledem k provozním a pořizovacím nákladům, způsob provádění. Základní dělení trubních materiálů je na:

- kovové materiály (šedá litina, tvárná litina, ocel),
- nekovové materiály (PVC, PE, sklolaminát, železobeton, azbestocement)

Další možností dělení je podle odolnosti materiálu vůči vnějšímu zatížení a tuhosti v ohybu na:

- tuhé – šedá litina, azbestocement, železobeton,
- polotuhé – tvárná litina, ocel,
- pružné – PVC, PE, sklolaminát [15] [17].

### **Litina**

Šedá litina je jedním z nejstarších materiálů, který se ve vodárenství využívá a patří k historicky nejvyužívanějším materiálům. Výhodou je její dlouhá životnost a pevnost, odolnost vůči mechanickému opotřebení. Nevýhodou je nižší odolnost vůči vnitřní a vnější korozi, která vzhledem k velkým tloušťkám stěn výrazně neohrožuje životnost potrubí, ale může zhoršovat kvalitu vody. K dalším negativům patří velká váha, náchylnost k inkrustaci u potrubí bez povrchové úpravy a křehkost.

V současné době používaná tvárná litina eliminuje díky změně formy uhlíku nedostatky šedé litiny. Zejména dosahuje 2 až 2,5krát vyšší pevnosti, vyšší pružnosti a z důvodu menší tloušťky stěn i nižší hmotnosti. Pro omezení koroze je vhodné chránit vnější povrch potrubí například pocínováním nebo plastovým rukávem, vnitřní povrch například cementovou nebo plastovou vystýlkou. Spojování litinových potrubí se provádí pomocí hrdel s pryžovým těsněním nebo pomocí přírubových spojů s pryžovým těsněním. V místech, kde je riziko podélného posunutí (směrové a výškové lomy, velké tlaky apod.) je možné využít zámkové spoje, které nahrazují funkci betonových bloků [15] [19].

### **Ocel**

Pro svou vysokou pevnost vůči namáhání a odolnost proti působení vodního rázu je ocelové potrubí vhodné pro využití v čerpacích stanicích. Ve srovnání

s litinovým potrubím je také pružnější a má tenčí stěny (je lehčí). Vzhledem k velké náchylnosti ke korozi je jeho využití při ukládání do země minimální. Pro ochranu vůči korozi se užívají podobné metody jako u litinových potrubí. Spojování potrubí se provádí pomocí závitových spojů, hrdlových svařovaných spojů, přírubových spojů nebo pomocí svařování na tupo [15] [19] [20].

### **Azbestocement**

Azbestocementové potrubí je vyrobeno ze směsi azbestu, cementu a písku. Výhodou je odolnost potrubí vůči vnitřní i vnější korozi, malá drsnost povrchu a nízká váha. Nevýhodou je jeho křehkost. Od 70. let 20. století byla omezována výroba tohoto potrubí z důvodu karcinogenity azbestu. Dle Světové zdravotnické organizace azbestová potrubí nepředstavují riziko pro pitnou vodu (nejsou stanoveny limity pro koncentraci azbestu v pitné vodě), ale rizikem je inhalace azbestocementových vláken během manipulace s potrubím. V ČR byla výroba ukončena v roce 1975 a postupně dochází k výměně stávajících potrubí vzhledem k jejich životnosti 20-30 let. I přesto ještě v roce 2009 tvořila téměř 4 % z celkové délky české vodovodní sítě. Spoje potrubí jsou řešeny pomocí speciálních ocelových spojek [21] [22] [23].

### **Železobeton**

Železobetonová potrubí se používají především na přívodní a zásobní potrubí, případně v podmačeném podloží, kde vzhledem k jejich vysoké hmotnosti (500 kg/m délky u DN 600 mm) nehrozí jejich pohyb. U větších dimenzí se využívá předpjetí pro zvýšení odolnosti vůči vnitřnímu a vnějšímu zatížení. Výhodou je nízká drsnost potrubí, cena, poměrně dobrá odolnost vůči korozi (ochrana je nutná jen v případě přítomnosti sulfátů nebo chloridů z důvodu agresivity vůči betonu) a vnějšímu zatížení. Nevýhodou je především nutnost využití těžké mechanizace při výstavbě vzhledem k jejich vysoké hmotnosti. Spojení potrubí se provádí pomocí nasouvacích hrdel s pryžovým těsněním [15].

### **Polyvinylchlorid (PVC)**

Výhodou PVC potrubí je jejich odolnost vůči korozi (nejsou odolná vůči dlouhodobému působení ropných látek, pro které je potrubí propustné), nízká váha, nízká cena výrobku i výstavby. Nevýhodou je jeho křehkost při teplotách

pod bodem mrazu, pokles pevnosti v tahu při vyšších teplotách a nutnost podkladního lože a tříděný obsyp. Potrubí s větší dimenzí než 600 mm nejsou běžná. Spoje trubí jsou pomocí hrdel s těsnícími kroužky [15].

### **Polyetylén (PE)**

Rozlišujeme 3 druhy polyetylenového potrubí podle hustoty materiálu: nízkohustotní polyetylen LDPE (potrubí do dimenze 50 mm), středněhustotní polyetylen MDPE (potrubí do 200 mm) a vysokohustotní polyetylen HDPE. Výhodou oproti PVC potrubí je jeho vyšší odolnost vůči přetlaku a velká pružnost, která umožňuje dodávku menších profilů potrubí o velkých délkách v návinech a změnu směru bez nutnosti použití tvarovek. Nevýhodou je jeho vyšší cena, riziko tvorby biofilmu na stěnách potrubí a snížení pevnosti v čase a při vyšších teplotách. Pro spojování potrubí se využívá svařování na tupo, mechanické spojky nebo elektrotvarovky [15] [22].

### **Sklolaminát**

Sklolaminátová potrubí jsou vyráběna především ve větších profilech, které se používají na přívodní řady. Výhodou je jejich nízká váha, odolnost vůči korozi a nízká drsnost. Nevýhodou jsou požadavky na zásyp a podkladní lože, aby nedošlo k deformaci stěny potrubí nebo k ohybu. Pro spoje potrubí se využívají spojky s pryžovým těsněním nebo příruby [15] [22].

## **1.1.4 Armatury na vodovodní síti**

Armatury jsou zařízení, která jsou součástí vodovodního potrubí, sloužící k uzavření potrubí nebo regulaci průtoku a tlaku, odběru vody, bezporuchovému provozu, čištění a opravám potrubí. Součástí potrubí jsou i tvarovky, které slouží ke změně směru, průměru potrubí nebo odbočení [24] [25].

### **1.1.4.1 Uzavírací a regulační armatury**

Uzavírací armatury jsou při běžném provozu plně otevřené a slouží pouze k úplnému uzavření potrubí. Tyto armatury se navrhují:

- v místech rozvětvení sítě,
- v takových místech, aby bylo možné uzavřít řad v každé ulici,



- na odbočení vodovodních přípojek,
- u okruhových sítí před a za odbočkami u odběratelů, kde nesmí být přerušena dodávka vody,
- podle potřeby na odbočkách pro hydranty a výtokové stojany.

Přičemž je doporučena jejich vzájemná maximální vzdálenost u přiváděcích řadů 5 km, u hlavních řadů 2 km, u rozváděcích řadů na venkově 1 km a u rozváděcích řadů ve městě 0,5 km [17] [24].

Regulační armatury slouží k regulování průtoku vody [25].

**Šoupátka** slouží pro uzavírání průtoku pomocí srdce ve tvaru klínu ve směru kolmém na směr proudění. K regulaci průtoku se příliš nepoužívají, protože by vlivem dlouhodobého jednostranného namáhání částečně vysunutého srdce mohlo docházet k netěsnosti v uzavřené pozici. Výhodou jsou minimální hydraulické ztráty při otevřené pozici a možnost mechanického čištění potrubí. Nevýhodou je nutnost pomalého zavírání z důvodu zamezení vzniku přetlaku [15] [25].

**Uzavírací (motýlkové) klapky** fungují na principu otočného talíře okolo vertikální nebo horizontální osy uvnitř potrubí. Při plném otevření je talíř natočen ve směru proudění, což vede k větším hydraulickým ztrátám než v případě šoupátek a vytváří bariéru pro mechanické čištění potrubí. Výhodou jsou menší prostorové nároky (uzavírání probíhá uvnitř potrubí). Při použití k regulaci průtoku hrozí riziko rozkmitání, proto se nesmí používat v úsecích, kde hrozí vznik hydraulických rázů [15] [25].

**Zpětné klapky** zajišťují průtok vody pouze v požadovaném směru proudění, přičemž se klapka samovolně zavírá i otevírá podle směru proudění. Využívá se především na výtlačných potrubích čerpadel. Podle typu uzavírání se dělí na diskové klapky, pryžové klapky nebo kulové klapky [15] [25].

**Plovákové uzávěry** slouží k regulaci přítoku nebo odtoku z vodojemů nebo akumulčních nádrží v závislosti na úrovni jejich hladiny. Pro tyto účely se používají plovákové ventily nebo plovákové klapky [25].

**Koncové (žabí) klapky** slouží k zabránění vnikání živočichů a vody z vnějšího prostředí do potrubí na koncích odkalovacích potrubí, odpadních potrubí u vodojemů a akumulacních nádrží. K otevření klapky dojde vlivem přetlaku při proudění vody [25].

#### **1.1.4.2 Redukční ventily**

Redukční ventily slouží ke snížení tlaku v navazující části potrubí na gravitačních řadech rozvodných sítí. Využívají se z důvodu splnění podmínky maximálních přetlaků v daných tlakových pásmech. Principem u pružinového redukčního ventilu je nastavení požadovaného tlaku pomocí pružiny zakončené talířem, který je přitlačován na přítokovou komoru. Proudící voda musí překonat odpor pružiny, čímž ztrácí část tlakové energie. Redukční ventil je možné použít i k udržení požadovaného minimálního tlaku v části nad ventilem, kdy dochází k uzavírání ventilu při poklesu tlaku v této části potrubí [22] [25].

#### **1.1.4.3 Zavzdušňovací a odvzdušňovací ventily, kalosvody**

Při přítomnosti vzduchu v potrubí může docházet k omezení průtoku, změnám tlaku a hydraulickým rázům, proto se navrhuje zavzdušňovací a odvzdušňovací ventily, které se používají k uvolňování vzduchu při napouštění potrubí a během provozu a k zavzdušnění při vypouštění. Vzhledem ke své funkci se navrhuje na nejvyšších místech potrubí v lomových bodech. Jejich funkci mohou zajišťovat i hydranty a vodovodní přípojky navržené v těchto místech. Principem fungování automatického plovákového odvzdušňovacího a zavzdušňovacího ventilu je plovák v plovákové komoře, který vertikálním pohybem otevírá a uzavírá výtokovou trysku. Při přítomnosti vzduchu v potrubí klesá hladina s plovákem a dochází k otevření, stejný případ nastává při vypouštění potrubí, kde je pokles plováku způsoben vzniklým podtlakem v potrubí [2] [25].

Kalosvody se navrhuje na nejnižších místech potrubí v lomových bodech k vypouštění usazených kalů a případně vody z potrubí. Funkci kalosvodů plní hydranty nebo odbočky s uzavírací armaturou a odpadním potrubím, které je ve výústním objektu zakončeno žabí klapkou [2].

#### 1.1.4.4 Hydranty

Nadzemní a podzemní hydranty slouží k odběrům vody pro požární i jiné účely, odvzdušňování, odkalování, vypouštění a proplachování potrubí. K ochraně proti zamrznutí jsou hydranty vybaveny automatickým odvodněním těl. V případě požárních hydrantů jsou jejich největší vzdálenosti a minimální dimenze potrubí dány dle *ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou* podle druhů budov a ploch jejich požárních úseků. Nejmenší dimenze potrubí jsou stanoveny v rozmezí 80-200 mm, úseky v rozmezí 200-400 m. U hydrantů pro odběr požární vody je požadavek na minimální hydrostatický přetlak 0,2 MPa a doporučení osazení na okružovou síť. Obecně jsou preferovány podzemní hydranty, avšak pro požární účely se mají navrhovat především hydranty nadzemní [17] [26].

#### 1.1.4.5 Vodoměry

Vodoměry jsou osazovány za účelem kontroly hydraulického chování distribučních systémů (měřidla nestanovená) nebo k měření proteklé vody u domovních vodoměrů a vody odebírané ze zdrojů (měřidla stanovená) [25].

**Rychlostní vodoměry** fungují na principu roztáčení rotoru na hřídeli pomocí proudící vody. Pomocí mechanických převodů nebo magneticky dochází k načítání objemu proteklé vody na počítadle. Tento typ vodoměru je možné použít pro potrubí až do průměru 500 mm. Požaduje se přímý úsek potrubí před vodoměrem bez dalších armatur o délce šestinásobku dimenze potrubí [15] [25].

**Objemové vodoměry** načítají přímo objem proteklé vody na základě střídavého plnění a prázdnění komor známého objemu proudící vodou. Využívají se především na domovních přípojkách a jejich výhodou je vyšší přesnost. Stejně jako u rychlostních vodoměrů je pro přesnost měření doporučen přímý úsek potrubí před vodoměrem délky šestinásobku dimenze potrubí [15].

**Průřezové vodoměry** jsou založeny na měření rozdílu tlaku mezi 2 průřezy s rozdílnými průměry. Poté je dopočítán průtok na základě známého ztrátového

koeficientu s využitím rovnic Bernoulliho a kontinuity (viz kapitola 1.4.1). Podle druhu škrtící armatury se dělí na dýzy, clony a Venturiho trubice. Využívají se především v místech s většími dimenzemi a průtoky. Pro přesnost měření je potřeba co nejdelší přímý úsek před vodoměrem [15] [25].

**Indukční vodoměry** jsou založeny na Faradayově zákonu elektromagnetické indukce. V úseku potrubí, kde je cívkami generováno magnetické pole, se pomocí elektrod měří indukované elektrické napětí mezi dvěma profily, které je přímo úměrné střední rychlosti proudění kapaliny, intenzitě magnetického toku a velikosti potrubí. Vztah mezi indukovaným napětím a průtokem je stanoven pomocí kalibrace od výrobce. Indukční vodoměry nevyžadují přímý úsek před vodoměrem, nezpůsobují hydraulickou ztrátu a patří mezi nejpřesnější měřidla [22].

**Ultrazvukové vodoměry** jsou založeny na měření času průchodu ultrazvukového vlnění mezi dvěma profily střídavě ve směru a proti směru proudění. Diference naměřených časů je funkcí rychlosti proudění, ze které je možné dopočítat průtok. Při kalibraci je nutné zohlednit materiál, tloušťku stěny a průměr potrubí. Stejně jako indukční vodoměry nezpůsobují hydraulickou ztrátu, ale jsou méně přesné [15] [22].

### 1.1.5 Čerpací stanice

Čerpací stanice slouží na vodovodní síti pro zajištění požadovaného tlaku a průtoku v místech, kde jich není možné dosáhnout gravitačně. Podle polohy v distribuční síti a funkce můžeme čerpací stanice dělit na:

- hlavní čerpací stanice – na výstupu z úpravny vody pro dopravu vody do zásobního vodojemu,
- přečerpávací stanice – na přiváděcím nebo zásobním řadu pro zajištění dopravy do zásobního vodojemu nebo zásobovacího pásma,
- automatická tlaková čerpací stanice – pro čerpání vody přímo do zásobovacího pásma bez akumulace [24].

Spotřeba energie při čerpání představuje největší část provozních nákladů, a proto je důležitý správný návrh čerpadel s co nejvyšší účinností (návrh čerpadla viz kapitola 1.4.2) na základě předpokládaného čerpaného množství, přičemž

doporučené rychlosti v sacím potrubí jsou u profilů do 300 mm 0,5-1,2 m/s a nad 300 mm 0,5-1,5 m/s. Doporučuje se navrhnout rezervní čerpadla pokrývající celý požadovaný dopravní výkon. V případě návrhu čerpadel v paralelním uspořádání se doporučují stejné typy čerpadel [22] [27].

### **1.1.5.1 Základní rozdělení čerpadel**

Základní rozdělení čerpadel je podle hydraulického principu jejich činnosti na hydrostatická, hydrodynamická a ostatní, přičemž se dále dělí na jednotlivé podkategorie dle *ČSN 11 0000 Rozdělení a terminologie čerpadel* [28].

**Hydrostatická (objemová) čerpadla** přeměňují mechanickou energii pohyblivého členu na energii tlakovou a teplo vznikající v důsledku zvýšených turbulencí a tření. Čerpané množství závisí na objemu čerpadla a rychlosti pohyblivého členu, průtok není nepřetržitý. Dopravní výška je limitována pouze odolností čerpadla vůči tlaku, a proto se používají v místech, kde jsou požadovány vysoké tlaky a menší průtoky. V současné době jsou nahrazovány novými hydrodynamickými čerpadly, která jsou již schopna zajistit obdobné tlaky. Využívají se stále v úpravnách vody pro dávkování chemikálií, kde se využívá toho, že za jednu otáčku dopraví vždy stejný objem kapaliny. Jejich účinnost se pohybuje okolo 90 %, která klesá s opotřebením pohyblivého členu a válce, ve kterém se pohybuje. Průtok se může regulovat pomocí frekvenčního měniče (změna rychlosti pohyblivého členu) nebo obtokem [22] [29].

**Hydrodynamická (odstředivá) čerpadla** se používají nejčastěji k čerpání vody na distribuční síti. Fungují na principu přeměny mechanické energie oběžného kola s lopatkami na kinetickou energii dopravované kapaliny, která je následně ve spirále nebo v rozváděcím kole přeměněna částečně na tlak a pohyb kapaliny a částečně na teplo v důsledku vzniku turbulencí a třením. Účinnost hydrodynamických čerpadel je vzhledem ke dvojí přeměně energie nižší než u hydrostatických a zpravidla se pohybuje okolo 80 %, u větších čerpadel může dosahovat až 90 %. U čerpadel v provozu dochází ke ztrátě účinnosti přibližně o 1 % ročně. Používají se zejména pro malé tlaky a vysoké průtoky, kdy je kapalina vzhledem ke konstrukci čerpadla dopravována nepřetržitě bez pulzů. K regulaci

průtoku může být použit nejen frekvenční měnič a obtok, ale i škrcení na výtlaku [22] [29].

### **1.1.5.2 Automatické tlakové stanice**

Automatické tlakové stanice (ATS) slouží pro zvyšování tlaku vody bez akumulace v místech, kde není možné budovat vodojemy nebo pro jednotlivé výškové budovy. ATS jsou tvořeny tlakovou nádobou a čerpadly. Ke zvýšení tlaku na požadovanou hodnotu dochází dočerpáním vody do tlakové nádoby, ve které se nachází vzduch, který pod tlakem vytlačuje vodu ke spotřebiteli. Provoz je zajištěn automaticky snímáním zapínacího a vypínacího tlaku dle požadavku na minimální a maximální přetlak, přičemž nejvyšší doporučená hodnota rozdílu je 0,2 MPa. Objem tlakové nádoby by měl být určen podle pokynů výrobce s ohledem na hospodárnost provozu (vyšší spotřeba energie při nabíhání motoru). Investiční náklady jsou v porovnání s vodojemy nižší, naopak cena provozu je vyšší [6] [27].

### **1.1.6 Vodojemy**

Vodojemy jsou objekty určené pro krátkodobou akumulaci pitné vody, které musí zajistit zachování její jakosti, čemuž jsou uzpůsobeny i požadavky na tyto objekty. Zejména by měly být uzavřené, vodotěsné a chráněné před vnějšími klimatickými změnami a znečištěním. Vodojemy je možné dělit podle jejich účelu a funkce.

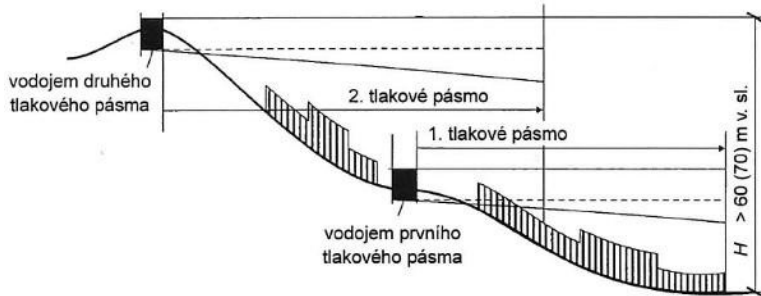
**Hlavní vodojemy** slouží jako nadřazené pro další druhy vodojemů.

**Zásobní vodojemy** jsou vodojemy tlakového pásma, které zajišťují:

- tlakové poměry ve spotřebišti,
- vyrovnávání nerovnoměrností mezi přítokem a odběrem vody ve spotřebišti,
- udržování rezervy pro případ poruch nebo přerušování dodávky vody,
- poskytování vody pro požární účely,
- hygienické zabezpečení vody.

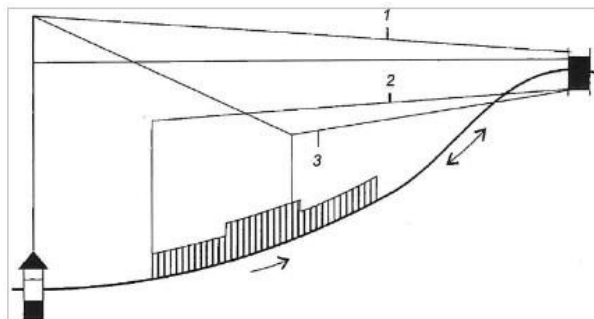
Podle polohy vzhledem ke spotřebišti je možné zásobní vodojemy dělit na:

- **Přerušovací vodojem**, který slouží k přerušení tlaku a rozdělení spotřebiště na jednotlivá tlaková pásma u gravitačních systémů (viz Obr. 2).



Obr. 2: Rozdělení spotřebiště na 2 tlaková pásma pomocí přerušovacího vodojemu [30]

- **Vodojem průtočný (před spotřebištěm)**, který slouží pro obsluhu celého spotřebiště u výtlačných nebo gravitačních distribučních systémů.
- **Koncový (vyrovnávací) vodojem**, který je umístěn za spotřebištěm a slouží pro vyrovnávání tlakových rozdílů v síti při nerovnoměrnosti odběrů (viz Obr. 3).



- 1 - čára energie při plnění vodojemu
- 2 - čára energie při zásobování spotřebiště z vodojemu
- 3 - čára energie při současném zásobování spotřebiště z vodojemu a čerpací stanice

Obr. 3: Funkce vyrovnávacího vodojemu [30]

**Požární vodojemy** zajišťují akumulaci vody pro hašení požárů.

**Vodojemy prací vody** akumulují vodu pro praní filtrů v úpravně vody.

**Provozní vodojemy** zajišťují akumulaci vody pro provoz vodárenských objektů [31] [32] [33].

### 1.1.6.1 Tlaková funkce

Požadovaný tlak v rozvodné síti zajišťují vodojemy svojí výškovou polohou ve spotřebišti. Pro dodržení minimálních ( $H_{\min}$ ) a maximálních přetlaků ( $H_{\max}$ ) dle

Vyhlášky č. 428/2001 Sb. v platném znění (viz kapitola 1.1.3) je možné určit rozmezí nadmořských výšek pásma při předpokladu kolísání hladiny ve vodojemu  $\Delta p$  cca 5 m v. sl. a tlakových ztrát na trase do spotřebiště  $\Delta h$  5 m v. sl.:

$$h = H_{max} - H_{min} - \Delta h - \Delta p = 60(70) - 25 - 5 - 5 = 25 (35) \text{ m v. sl.}$$

(Rovnice 1)

V případě, že je dané tlakové pásmo zásobované z více vodojemů, doporučuje se, aby jejich maximální provozní hladina byla na stejné úrovni. Pokud je ve spotřebišti více tlakových pásem, tak se pro každé pásmo obsluhované jedním nebo více vodojemy požaduje hydraulická nezávislost, aby nedocházelo k ovlivnění tlakových poměrů mezi pásmy. Propojení pásem je ojedinělé a slouží pouze pro potřeby havarijního zásobování, za normálního stavu je uzavřené [6].

### 1.1.6.2 Objem vodojemu

Využitelný objem zásobního vodojemu se obvykle navrhuje na 60-80 % maximální denní potřeby vody zásobovaného pásma a určí se jako součet dílčích objemů zajišťujících jednotlivé funkce (provozní, poruchový, požární) podle požadovaného účelu vodojemu, který plní na distribuční síti [31].

**Provozní objem ( $V_{prov}$ )** slouží pro vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem. Stanovuje se na základě hodinových přítoků a odběrů vody. Hodinové přítoky závisí na způsobu plnění vodojemu, při rovnoměrném plnění mohou nastat 2 situace:

- gravitační přítok – maximální denní potřeba vody ( $Q_{max,d}$ ) je rovnoměrně rozdělena na 24 hodin,
- čerpání – maximální denní potřeba vody ( $Q_{max,d}$ ) je rovnoměrně rozdělena podle počtu hodin, kdy je čerpadlo v provozu (zpravidla mimo hodiny odběrových špiček elektrické energie).

Pro nerovnoměrné plnění je nutné stanovit časový průběh plnění zvlášť.

Při výpočtu (viz Tab. 3) se nejprve sečtou přítoky a odběry v jednotlivých hodinách, čímž se získají přebytky a nedostatky vody. Následně se vypočítá jejich součtová čára a hledaný provozní objem ( $V_{prov}$ ) je rozdíl mezi maximální zápornou hodnotou nedostatku a maximální hodnotou přebytku [2].



Tab. 3: Příklad výpočtu provozního objemu u vodojemu zásobeného gravitačně

hodina	souč. $k_h$ [%]	stávající odběr (O) [m <sup>3</sup> /hod]	přítok (P) [m <sup>3</sup> /hod]	P-O [m <sup>3</sup> ]	bilance odběrů [m <sup>3</sup> ]
od-do	1,8				
0-1	1%	24,84	103,51	78,67	78,67
1-2	0,70%	17,39	103,51	86,12	164,79
2-3	0,70%	17,39	103,51	86,12	250,91
3-4	0,70%	17,39	103,51	86,12	337,04
4-5	2%	49,69	103,51	53,83	390,86
5-6	3%	74,53	103,51	28,98	419,84
6-7	5%	124,21	103,51	-20,70	399,14
7-8	6,40%	158,99	103,51	-55,48	343,66
8-9	4,50%	111,79	103,51	-8,28	335,38
9-10	5,50%	136,64	103,51	-33,12	302,26
10-11	5,50%	136,64	103,51	-33,12	269,13
11-12	5,50%	136,64	103,51	-33,12	236,01
12-13	5%	124,21	103,51	-20,70	215,31
13-14	5%	124,21	103,51	-20,70	194,60
14-15	4%	99,37	103,51	4,14	198,74
15-16	5%	124,21	103,51	-20,70	178,04
16-17	5%	124,21	103,51	-20,70	157,34
17-18	6%	149,06	103,51	-45,55	111,79
18-19	6,50%	161,48	103,51	-57,97	53,83
19-20	7,50%	186,32	103,51	-82,81	-28,98
20-21	5%	124,21	103,51	-20,70	-49,69
21-22	5%	124,21	103,51	-20,70	-70,39
22-23	4%	99,37	103,51	4,14	-66,25
23-24	1,50%	37,26	103,51	66,25	0,00
celkem	100%	2484,29	2484,29	0,00	

$V_{\text{prov}} = \text{MAX}(\text{bilance odběrů}) - \text{MIN}(\text{bilance odběrů}) = 419,84 - (-70,39) = 490,23 \text{ m}^3$

**Požární objem ( $V_{\text{pož}}$ )** se určí na základě Rovnice 2, přičemž se požaduje, aby zdroj požární vody zabezpečil předepsaný průtok po dobu minimálně 30 minut. Požární potřeba vody je dána dle ČSN 73 0873 *Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou* podle druhů budov a ploch jejich požárních úseků pro doporučenou rychlost proudění 0,8 m/s v rozmezí 4-25 l/s a pro odběr s požárním čerpadlem (rychlost 1,5 m/s) v rozmezí 7,5-40 l/s [34] [26].

$$V_{\text{pož}} = 3,6 * q_p * n * t \text{ [m}^3\text{]}, \quad (\text{Rovnice 2})$$

kde:  $q_p$  požární potřeba vody [l/s],  
 $n$  počet odběrných míst [-],  
 $t$  doba trvání požáru [h] [34].

**Poruchový objem ( $V_{\text{por}}$ )** slouží pro zajištění dodávek vody do spotřebiště po dobu odstraňování poruchy na přívodních řadech do vodojemu. Zpravidla se určuje jako zbývající objem do doporučené hodnoty využitelného objemu vodojemu [2] [31].

### 1.1.6.3 Typy vodojemů

Základní dělení vodojemů je na zemní a věžové. Dále se dělí podle půdorysu na kruhové, pravoúhlé, mnohoúhlé a podle počtu nádrží na jednokomorové, dvoukomorové a vícekomorové. Přičemž všechny typy jsou tvořeny akumulacním prostorem, vstupním prostorem a manipulační komorou. Akumulační prostor je vybaven přívodním, odběrným, výpustným, přelivným a odtokovým potrubím [31] [33].

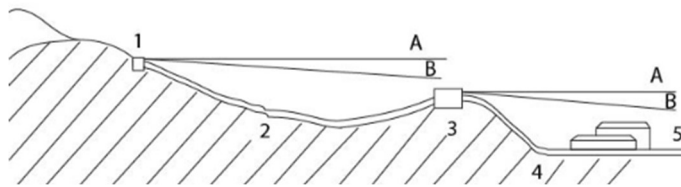
**Zemní vodojemy** mohou být situovány nad terénem, pod terénem nebo částečně zapuštěné do terénu. Přednostně se navrhují vodojemy se zemním obsypem, kde se využívá tepelně-izolační schopnosti zeminy. Nejčastěji jsou zemní vodojemy z monolitického nebo montovaného železobetonu. Celkový objem je dán provozním ( $V_{\text{prov}}$ ), požárním ( $V_{\text{pož}}$ ) a poruchovým objemem ( $V_{\text{por}}$ ).

**Věžové vodojemy** se vzhledem ke své ekonomické, architektonické a konstrukční náročnosti navrhují pouze v odůvodněných případech, nejčastěji jako zásobní jednokomorové, pouze na provozní objem ( $V_{\text{prov}}$ ). Konstrukce je tvořena základovou deskou, středním nosným dříkem se schodištěm a potrubím, na kterém je umístěna nádrž pro akumulaci vody. Nádrž je nutné doplnit tepelnou izolací pro ochranu jakosti vody. Nejčastěji se navrhují ocelové, monolitické nebo montované železobetonové vodojemy. Výhodné je spojení se zemním vodojemem pro obsluhu 2 tlakových pásem z jednoho místa [6] [31] [33].

## 1.2 Typy distribučních systémů

### 1.2.1 Podle výškového umístění zdroje vody a vodojemu

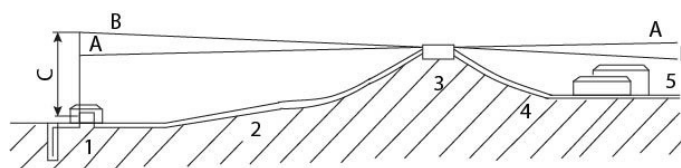
**Gravitační vodovod** (viz Obr. 4) má zdroj vody s dostatečným převýšením nad vodojemem, aby zajistil ve spotřebišti minimální hydrodynamický přetlak bez čerpání. Voda je do vodojemu zpravidla přiváděna nepřetržitě. Výhodou jsou nízké provozní a investiční náklady [2].



*A – čára hydrostatického tlaku,  
B – čára hydrodynamického tlaku,  
1 – zdroj vody, 2 – příváděcí řad,  
3 – vodojem, 4 – zásobovací řad,  
5 - spotřebiště*

*Obr. 4: Gravitační vodovod [35]*

**Výtlačné vodovody** (viz Obr. 5) se navrhují v místech, kde není dostatečné převýšení zdroje vody nad vodojemem a je nutné vodu ze zdroje do vodojemu čerpat, spotřebiště je následně zásobováno gravitačně [2].



*A – čára hydrostatického tlaku,  
B – čára hydrodynamického tlaku,  
C – výtlačná výška čerpadla  
1 – zdroj vody, 2 – příváděcí řad,  
3 – vodojem, 4 – zásobovací řad,  
5 - spotřebiště*

*Obr. 5: Výtlačný vodovod [35]*

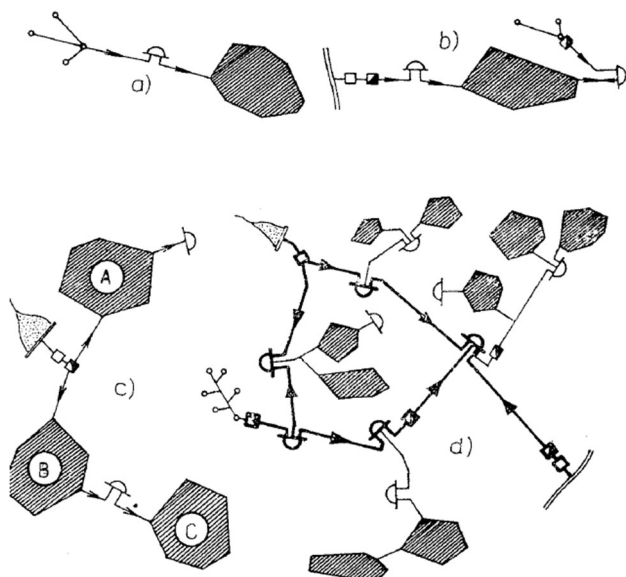
V případě rozsáhlejších distribučních systémů s více zdroji a vodojemy mohou vznikat **kombinované vodovody** spojením výtlačných a gravitačních distribučních systémů [2].

## 1.2.2 Podle rozsahu zásobování

**Místní vodovody** jsou vývojově nejstarší a slouží pro zásobování jednoho spotřebiště z jednoho (viz Obr. 6 a)) nebo více zdrojů (viz Obr. 6 b)) pokud možno gravitačně. Výhodou je technická a provozní jednoduchost [2].

Postupné zvyšování potřeby vody a rozvoje spotřebišť vedlo ke vzniku **skupinových vodovodů** (viz Obr. 6 c)), které zásobují větší počet obcí z jednoho nebo více povrchových a podzemních zdrojů, často v kombinaci gravitačního a výtlačného vodovodu. V případě malé vzdálenosti spotřebišť a rovinnatého území je výhodnější využít pouze jeden společný vodojem, čímž dojde k úspoře investičních nákladů na akumulaci a jednoduchosti provozu. Nevýhodou jsou naopak vyšší investiční náklady na zásobní řady větších dimenzí a značná rozkolísanost tlaků. Druhou variantou je vybudování místních vodojemů umístěných v blízkosti těžišť jednotlivých spotřebišť, čímž dojde k úspoře

nákladů na přívodní řady a k rovnoměrnému rozdělení vody, ale vzrostou náklady na akumulaci [2] [25].

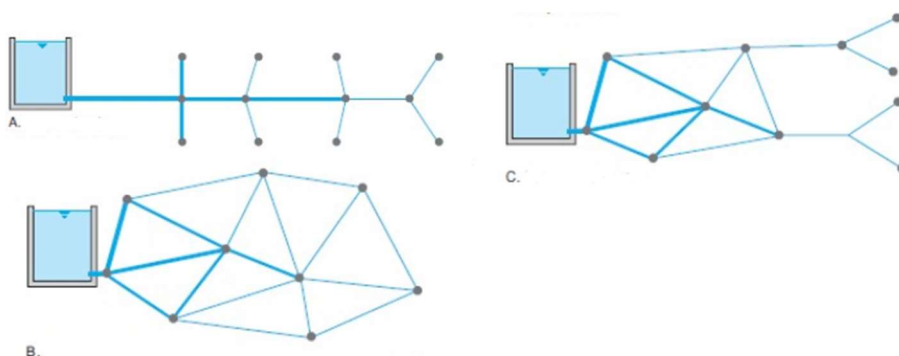


Obr. 6: Typy distribučních soustav podle rozsahu zásobování [2]

**Oblastní vodovod** (viz Obr. 6 d)) je skupinový vodovod, který zásobuje rozsáhlou oblast s velkým počtem vzdálenějších spotřebišť, která často nemají vlastní vhodný zdroj pitné vody. Tvoří je nadřazená soustava, která zajišťuje dopravu vody ze zdrojů do hlavních vodojemů a místní soustavy, které distribuují vodu z hlavních vodojemů ke spotřebitelům. Výhodou je především optimalizace, spolupráce vodních zdrojů a z toho plynoucí vyšší zabezpečení dodávek vody. Nevýhodou jsou vysoké investiční náklady, vyšší ztráty vody na dlouhých řadech a náročná a dlouhodobá realizace [6] [25].

### 1.2.3 Podle plošného uspořádání rozvodné sítě

**Větvná síť** (viz Obr. 7 A.) je nejjednodušším typem sítě, tvoří ji hlavní větve s jednotlivými odbočkami ke spotřebitelům, přičemž voda proudí pouze ve směru ke konci sítě. Využívá se především u malých spotřebišť s liniíovou zástavbou, kde není možné zokruhování sítě. Výhodou jsou nízké náklady na výstavbu a jednoduchý provoz. Nevýhody jsou nízká spolehlivost, stagnace vody a usazování sedimentů v koncových řadech, vliv nerovnoměrnosti odběrů na rozkolísanost tlaků [15] [25].



Obr. 7: Plošné uspořádání rozvodných sítí [15]

**Okružová síť** (viz Obr. 7 B.) má vodovodní řady pospojované do okruhu (může vzniknout z větvenné sítě spojením jejích konců), aby je všechny bylo možné zásobovat ze dvou stran, čímž dochází k cirkulaci vody v systému a jsou eliminovány nedostatky větvenné sítě. Naopak oproti větvenné síti je náročnější na výpočet a nákladnější na výstavbu i provoz [15] [25].

**Kombinovaná síť** (viz Obr. 7 C.) je nejčastějším typem sítě ve větších spotřebištích, kde je centrální okružová síť doplněna větvennými sítěmi na okrajích spotřebiště [15].

## 1.3 Potřeba vody

Potřeba vody je návrhová předpokládaná hodnota požadovaného množství vody za jednotku času, která se určuje pomocí výpočtu zejména pro navrhování nových a rozšíření stávajících vodovodů.

Množství vody skutečně odebrané za časové období se označuje jako spotřeba vody.

Specifická potřeba vody je potřeba vody přepočítaná na jednoho obyvatele [25] [36].

### 1.3.1 Druhy potřeby vody

Celková potřeba vody vyrobené k realizaci je součtem jednotlivých odběrů:

**Voda pro obytné pásmo** je součtem vody pro bytový fond (splachování, mytí, praní, pití, napouštění bazénů apod.) a pro občanskou vybavenost, kterou představuje voda pro údržbu obce (kropení komunikací, zalévání apod.) a

zařízení obce (školství, kultura, zdravotnictví, kancelářské budovy, prodejny apod.).

**Voda pro zemědělství** zahrnuje vodu pro živočišnou a rostlinnou výrobu (např. voda pro hospodářská zvířata, závlahy, pracovníky).

**Voda pro průmysl** představuje vodu pro pracovníky a výrobní účely (např. voda na vlastní výrobu, chlazení, čištění).

**Voda pro požární účely** u vodovodů, které slouží zároveň jako odběrná místa pro hašení ve spotřebišti, potřeba je pouze nárazová.

**Ztráty vody** na síti vznikají v důsledku poruch potrubí a úniků způsobených netěsnostmi potrubí [2] [25].

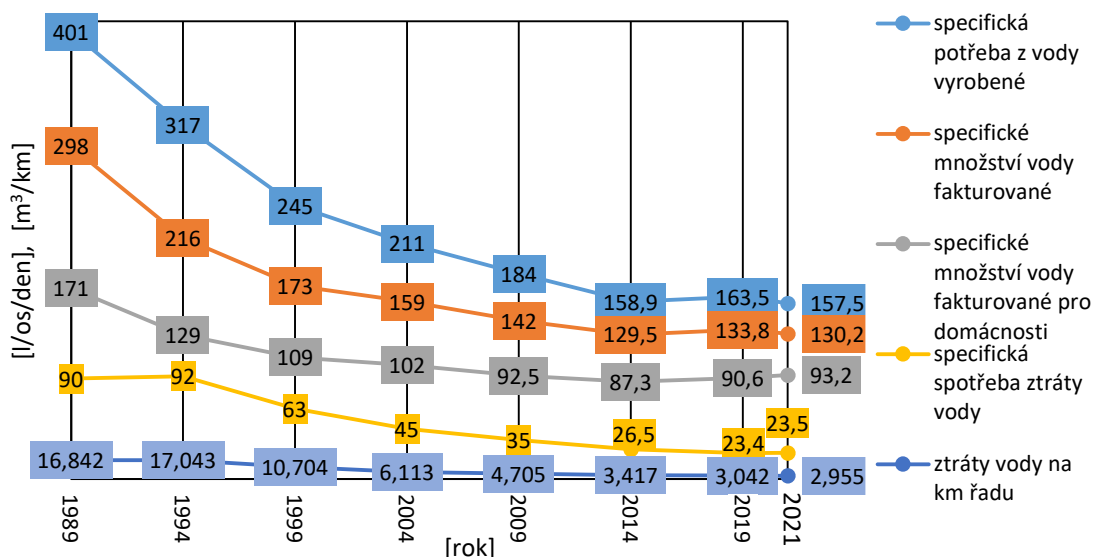
### 1.3.2 Vývoj potřeby vody

Na základě *Zákona č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*, v platném znění mají vlastníci vodovodů povinnost na své náklady každoročně předávat vybrané provozní (VÚPE) a majetkové (VÚME) údaje, jejichž obsah je stanoven *Vyhláškou č. 428/2001 Sb. v platném znění*. Z těchto údajů lze stanovit vývoj:

- vody vyrobené – voda fakturovaná + voda nefakturovaná,
- vody fakturované – voda fakturovaná obyvatelstvu + voda fakturovaná ostatním odběratelům (průmysl, zemědělství),
- vody nefakturované – ztráty vody + voda pro vlastní potřebu + voda pro hašení požárů (neboli voda vyrobená minus voda fakturovaná).

Dalším z údajů je počet obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů, z čehož lze stanovit specifické potřeby vody, jejichž vývoj je na Obr. 8 [10] [13].

Z vývoje je patrné, že od roku 1989 klesá množství vyrobené i spotřebované vody vlivem společensko-ekonomických změn, které se projevily například úpravou cen vodného kopírujících skutečné náklady (od roku 1991) a snížením ztrát vody investicemi do distribučních sítí [25].



Obr. 8: Vývoj specifické potřeby a ztrát vody<sup>1</sup> [4] [37] [38] [39]

### 1.3.3 Výpočet potřeby vody

Výpočet potřeby vody se provádí nejen pro současný, ale i pro budoucí stav odpovídající přibližně předpokládané situaci za 20-30 let s využitím rozvoje jednotlivých funkčních skupin spotřebiště v územním plánu. Budoucí stav je závislý především na vývoji počtu připojených obyvatel a budoucí specifické potřebě vody, které jsou ovlivňovány mnoha faktory jako jsou například cena vody, vybavenost domácností a možnosti recyklace vody. Množství faktorů komplikuje odhad změny potřeby vody, která je důležitá při navrhování nových sítí, vodojemů a zdrojů s úpravami vody. Při poddimenzování budoucího stavu budou nutné investice do dalšího rozvoje sítě. Naopak při předdimenzování bude docházet k provozním problémům způsobeným nízkými rychlostmi proudění a dlouhou dobou zdržení vody [6] [25].

Výpočet potřeby vody není v současnosti v České republice závazně stanoven, poslední komplexní metodikou je *Směrnice č. 9/1973 Ú. v.* Metoda výpočtu je formálně správná, ale pracuje s neaktuálními hodnotami, které byly určeny na základě tehdejšího měření. Například potřeba vody pro bytový fond pro nejvyšší

<sup>1</sup> Údaje ztrát vody jsou za rok 1989 pouze od hlavních provozovatelů

vybavenost bytů byla stanovena na 280 l/os/den a pro nejnižší vybavenost na 150 l/os/den, což neodpovídá aktuální potřebě vody (viz *specifické množství vody fakturované pro domácnosti* na Obr. 8) [25] [40] [41].

V současnosti se doporučuje vycházet z hodnot skutečné spotřeby vody v dané oblasti se zohledněním budoucího stavu. Pro výpočet lze využít směrných čísel roční potřeby vody uvedených ve *Vyhlášce č. 120/2011 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., v platném znění* určených primárně pro výpočet objemu odebrané vody v případech, kdy není osazen vodoměr. V této vyhlášce je snížena potřeba vody, která reflektuje současnou nižší spotřebu vody [25] [40].

Výpočet potřeby vody zahrnuje stanovení průměrné denní potřeby vody  $Q_p$ , maximální denní potřeby vody  $Q_{max,d}$  a maximální hodinové potřeby vody  $Q_{max,h}$ .

### 1.3.3.1 Průměrná denní potřeba vody

Průměrná denní potřeba vody se skládá z jednotlivých složek uvedených v kapitole 1.3.2.

Průměrnou denní potřebu vody pro **obytné pásmo, zemědělství a průmysl** je možné určit pomocí směrných čísel pro jednotlivé kategorie, obecně podle rovnice:

$$Q_x = PJ * q_x \text{ [l/den]}, \quad (\text{Rovnice 3})$$

kde:  $Q_x$  průměrná denní potřeba vody dané kategorie,  
 $PJ$  počet jednotek dané kategorie (obyvatelé, lůžka, žáci apod.),  
 $q_x$  specifická potřeba vody ze směrných čísel roční potřeby vody [l/os/den], [l/jednotka/den] [25].

Pro výpočet podle *Vyhlášky č. 120/2011 Sb. v platném znění* je potřeba vody uvedena pro jednotku v dané kategorii. Při výpočtu podle *Směrnice č. 9/1973 Ú. v.* je možné využít pro občanskou a technickou vybavenost i souhrnně vyjádřenou specifickou potřebu vody v závislosti na velikosti obce. Pro průmyslové a ostatní větší provozy je vhodné provádět výpočet na základě podkladů potřeb od těchto odběratelů [25] [41].



Potřeba vody pro **požární účely** je pouze nárazová a v celkové bilanci průměrné denní potřeby je zanedbatelná (lze ji zahrnout ke ztrátám vody), nicméně je třeba zajistit její zásobu (viz *Požární objem vodojemu* v kapitole 1.1.6.2) a zajistit předepsané podmínky pro odběrná zařízení (viz kapitola 1.1.4.4).

**Ztráty vody** ve výši 20 % jsou ve *Směrnici č. 9/1973 Ú. v.* zahrnuty ve specifických potřebách. V ostatních případech je nutné stanovit ztráty (vodu nefakturovanou) individuálně podle stáří sítě, materiálů, geologických podmínek apod. Ztráty vody lze vyjádřit procentuálně (poměr vody nefakturované a fakturované) nebo metodou jednotkových úniků (ztráta vody na km potrubí za čas). V České republice se poměr vody nefakturované a vyrobené od roku 1989 setrvale snižuje (viz Obr. 8), v roce 2021 poklesl celorepublikově na 14,9 % [6] [42].

### 1.3.3.2 Nerovnoměrnosti potřeby vody

Potřeba vody se mění v závislosti na čase (hodiny, dny, měsíce, roky) vlivem změn ročních období, hospodářských podmínek (změny intenzity výroby) a životním a pracovním režimem obyvatel během dne a týdne [25].

Hodnoty odběrů v jednotlivých letech jsou podkladem pro budoucí vývoj potřeby vody ve spotřebišti.

Rozdíly odběrů během dnů v týdnu a měsíců jsou určující k dimenzování vodních zdrojů, čerpacích stanic, úpraven vody, přívodních řadů a vodojemů. Pro účely navrhování těchto objektů lze stanovit **maximální denní potřebu vody**  $Q_{max,d}$  pomocí rovnice:

$$Q_{max,d} = Q_p * K_d \text{ [l/den]}, \quad (\text{Rovnice 4}),$$

kde:  $Q_p$  průměrná denní potřeba vody [l/den],

$K_d$  součinitel denní nerovnoměrnosti [-] [41].

Hodnota součinitele denní nerovnoměrnosti klesá s rostoucí velikostí spotřebišť, *Směrnice č. 9/1973 Ú. v.* udává koeficienty v rozmezí 1,5 – 1,25 (spotřebišť do 1000 obyvatel – spotřebišť do 100 000 obyvatel).

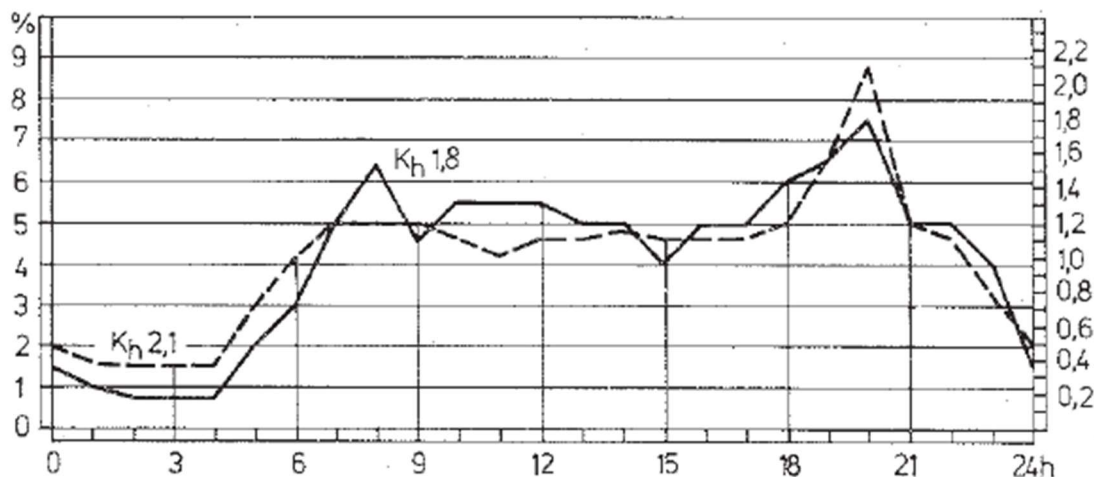
Rozdíly odběrů v jednotlivých hodinách během dne slouží k dimenzování vodojemů. V případě, kdy nejsou k dispozici podklady o průběhu hodinových potřeb, je možné využít procentuální rozdělení podle *Směrnice č. 9/1973 Ú. v.* (viz Obr. 9). Maximální hodinové odběry slouží k dimenzování zásobních a rozvodných řadů. **Maximální hodinová potřeba vody  $Q_{max,h}$**  se vypočítá podle rovnice:

$$Q_{max,h} = Q_{max,d} * K_h \text{ [l/h]}, \quad (\text{Rovnice 5}),$$

kde:  $Q_{max,d}$  maximální denní potřeba vody z *Rovnice 4* [l/h],

$K_h$  součinitel hodinové nerovnoměrnosti [-] [41].

Součinitel hodinové nerovnoměrnosti nabývá dle *Směrnice č. 9/1973 Ú. v.* hodnot 2,1 pro spotřebiště sídlištního charakteru a 1,8 u ostatních spotřebišť.



Obr. 9: Grafický průběh hodinové nerovnoměrnosti potřeby vody dle *Směrnice č. 9/1973 Ú. v.* [25]

Hodinové potřeby vody a maximální denní potřeby vody pro průmyslové a ostatní větší provozy se doporučuje stanovit individuálně na základě podkladů od daných odběratelů [25] [41].

### 1.3.4 Cena vody

Na základě *Zákona č. 274/2001 Sb. v platném znění* má vlastník vodovodu právo na vodné (úplata za dodávku vody), které má jednosložkovou nebo případně dvousložkovou formu. Jednosložková forma má pouze pohyblivou složku, která je dána objemem odebrané vody a cenou za m<sup>3</sup> vody. Množství odebrané vody

se měří vodoměrem osazeným na vodovodní přípojce (viz kapitola 1.1.4.5), pokud není osazen vodoměr, je možné vycházet ze směrných čísel roční potřeby vody (viz kapitola 1.3.3). Dvousložková forma má nejen pohyblivou složku, ale i pevnou složku, která závisí na velikosti vodoměru nebo ročního množství odebrané vody [13].

Tab. 4: Průměrné ceny vodného v Kč/m<sup>3</sup> včetně DPH za rok 2021 a sociálně únosné ceny (SÚC) včetně DPH za roky 2021 a 2023 [4] [43]

Kraj	Průměrná cena pro vodné 2021	SÚC 2021	SÚC 2023
	Kč/m <sup>3</sup> včetně DPH		
Hlavní město Praha	54,9	95,3	108,1
Jihočeský kraj	44,6	72,0	76,7
Jihomoravský kraj	45,8	74,4	81,0
Karlovarský kraj	48,0	73,6	79,3
Kraj Vysočina	46,0	68,8	78,6
Královéhradecký kraj	42,9	71,7	77,6
Liberecký kraj	52,9	71,2	77,4
Moravskoslezský kraj	43,9	68,5	75,0
Olomoucký kraj	40,8	71,0	73,4
Pardubický kraj	43,3	68,1	76,6
Plzeňský kraj	50,7	72,6	77,0
Středočeský kraj	51,8	74,8	81,3
Ústecký kraj	53,7	67,8	85,2
Zlínský kraj	44,1	66,7	70,8

Z důvodu monopolního postavení provozovatelů vodovodů je cena vodného regulována Ministerstvem financí na základě *Zákona č. 526/1990 Sb. o cenách, v platném znění* vydáváním výměru pro každý rok. Cenová regulace má formu věcného usměrňování cen, které zohledňuje rozdílné nákladovosti provozovatelů. Výpočet pevné a pohyblivé složky vodného udává *Vyhláška č. 428/2001 Sb. v platném znění*, přičemž podle rozhodnutí Ministerstva financí o regulaci cen nesmí podíl pevné složky překročit 15 % celkové ceny. Do ceny mohou být zahrnuty pouze ekonomicky oprávněné náklady (obnova vodovodů, mzdy, energie apod.), přiměřený zisk a daň (v současnosti ve výši 10 %).

Přiměřený zisk má omezený meziroční nárůst na 1 m<sup>3</sup> vody a jeho maximální hodnota je dána procentuální hodnotou z vlastněného a provozovaného infrastrukturního majetku [44].

V Tab. 4 jsou porovnány průměrné ceny vodného pro jednotlivé kraje se sociálně únosnými cenami pro vodné (cena platná u vodohospodářských projektů spolufinancovaných z Operačního programu Životního prostředí). Sociálně únosná cena za vodné je každoročně stanovena poměrem úplných vlastních nákladů za pitnou (vodné) a odpaní vody (stočné), přičemž sociálně únosná cena za vodné a stočné je uvažována ve výši 2 % z průměrných čistých ročních příjmů domácnosti dle jednotlivých krajů a průměrná denní potřeba vody na obyvatele je uvažována 88,7 l/os/den [43].

## **1.4 Hydraulika a hydrotechnické výpočty vodovodních sítí**

### **1.4.1 Hydraulika potrubí**

Ve vodovodní síti je tlakové turbulentní pomalu proměnné neustálené proudění, kde průtok závisí na velikosti odběrů. Pro zjednodušení výpočtu se uvažuje ustálené proudění zpravidla pro nejnepříznivější stav a dále se předpokládá:

- nestlačitelnost vody,
- tlakové proudění,
- dokonale tuhé potrubí,
- jednorozměrné proudění.

Pro hydraulický návrh tlakového proudění se aplikují rovnice kontinuity a Bernoulliho [15] [45].

#### **1.4.1.1 Rovnice kontinuity**

Průtok  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] průřezem potrubí o ploše  $S$  [m<sup>2</sup>] se střední profilovou rychlostí  $v$  [m/s] se určí podle rovnice:

$$Q = S * v \text{ [m}^3\text{/s]} \text{ [15].} \quad (\text{Rovnice 6})$$

Pokud je střední profilová rychlost v čase konstantní, jedná se o ustálené proudění. Proudění je rovnoměrné, pokud je střední profilová rychlost v jednom

okamžiku stejná ve 2 po sobě jdoucích profilech potrubí. Pro ustálené rovnoměrné proudění v potrubí o stejném poloměru tedy platí:

$$v_1(t_1) = v_2(t_1) = v_1(t_2) = v_2(t_2) \quad [15]. \quad (\text{Rovnice 7})$$

Rovnice kontinuity vychází ze zákona zachování hmotnosti. Za předpokladu nestlačitelnosti vody (konstantní objemová hmotnost) je rovnice kontinuity mezi 2 profily:

$$S_1 * v_1 = S_2 * v_2, \quad (\text{Rovnice 8})$$

kde:  $S_i$  plocha průtočného průřezu potrubí [ $m^2$ ],  
 $v_i$  střední průřezová rychlost [ $m/s$ ] [25].

### 1.4.1.2 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice vychází ze zákona zachování mechanické energie a vyjadřuje, že součet potenciální, tlakové a kinetické energie je pro ustálené proudění nevazké nestlačitelné tekutiny v každém průřezu potrubí konstantní:

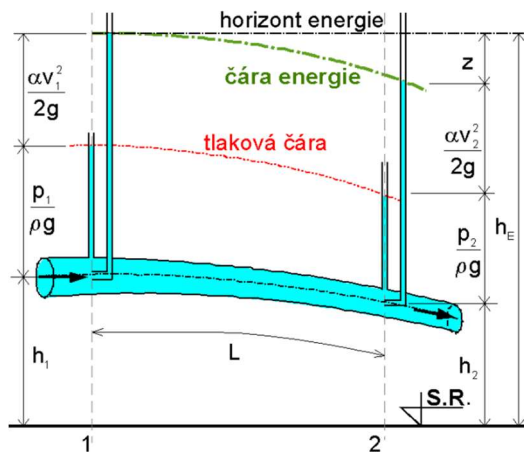
$$H = h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = konst. \quad (\text{Rovnice 9})$$

V případě proudění skutečné kapaliny (vody) dochází k přeměně mechanické energie na jinou formu vlivem její nenulové vazkosti. Ztrátu mechanické energie je nutné ve výpočtu zohlednit, pro proudění mezi profily 1 a 2 (viz Obr. 10) platí:

$$H_1 = H_2 + Z = konst.,$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + Z = konst., \quad (\text{Rovnice 10})$$

kde:  $h_i$  výška příčného profilu nad srovnávací rovinou [ $m$ ],  
 $\rho$  hustota kapaliny [ $kg/m^3$ ],  
 $p_i$  tlak tekutiny v potrubí [ $Pa$ ],  
 $\alpha$  Coriolisovo číslo (zpravidla při výpočtu proudění v potrubí s hodnotou 1) [-],  
 $Z$  ztrátová výška zohledňující úbytek mechanické energie v úseku délky  $L$  [ $m$  v. sl.] [45].



Obr. 10: Bernoulliho rovnice pro ustálené proudění skutečné kapaliny [45]

Rozdíl úrovní energetických výšek je označován jako čára energie, její sklon je dán velikostí ztrát mezi 2 profily. Tlaková čára je spojnice součtu polohové a tlakové výšky v každém profilu. Vzhledem k nízké rychlosti proudění v rozvodných sítích lze rychlostní výšku zanedbat, potom bude čára energie rovna tlakové čáře [22] [25] [45] [46].

### 1.4.1.3 Tlakové ztráty

Ztráta mechanické energie z Rovnice 10 je rovna součtu ztrát třením ( $Z_t$ ) a ztrát místních ( $Z_m$ ).

**Ztráty místní** jsou dány místním zvýšením turbulence při proudění armaturou (např. uzávěry, odbočky, zúžení), která způsobuje přeměnu mechanické energie na teplo. U hydraulicky dlouhých potrubí (poměr délky a průměru  $L/D > 1000$ ) jsou ztráty místní v poměru ke ztrátám třením minimální a zanedbávají se nebo se zohlední vynásobením ztrát třením koeficientem o hodnotě v rozmezí 1,05-1,1 podle množství a typu armatur. U hydraulicky krátkých potrubí ( $L/D < 1000$ ) nejsou místní ztráty zanedbatelné (např. shybky, sací potrubí čerpadel) a zavádějí se součinem součinitele místní ztráty  $\xi$  a rychlostní výšky (s rostoucí kinetickou energií ztráty rostou):

$$Z_m = \xi * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Rovnice 11})$$

Hodnota součinitele místní ztráty se stanovuje empiricky a je obvykle uváděna výrobcem dané armatury nebo je možné místní ztrátu určit pomocí tabulek pro daný typ armatury [25] [45].

**Ztráty třením** jsou způsobeny přeměnou mechanické energie na teplo vlivem tření mezi jednotlivými vrstvami kapaliny a třením o stěnu potrubí. Ke ztrátám třením dochází na rozdíl od místních ztrát po celé délce potrubí a jsou jí úměrné. Velikost ztrát závisí na střední průřezové rychlosti  $v$ , vnitřním průměru potrubí  $D$ , délce potrubí  $L$ , drsnosti povrchu potrubí a charakteristice proudící kapaliny vyjádřené pomocí viskozity  $\nu$ . Pro výpočet ztrát třením se v současnosti nejčastěji využívá Darcy-Weisbachova rovnice (*Rovnice 12*), jejíž výhodou je aplikovatelnost na všechny režimy proudění i různé kapaliny. Mezi další používané rovnice patří například empirické Hazen-Williamsova, jejíž použití je omezeno pouze pro vodu v přechodné oblasti turbulentního proudění a Chezy-Manningova, která se používá zejména pro otevřená koryta nebo případně pro potrubí s velkou drsností v kvadratické oblasti ztrát.

$$Z_t = \frac{\lambda * L}{D} * \frac{v^2}{2g}, \quad (\text{Rovnice 12})$$

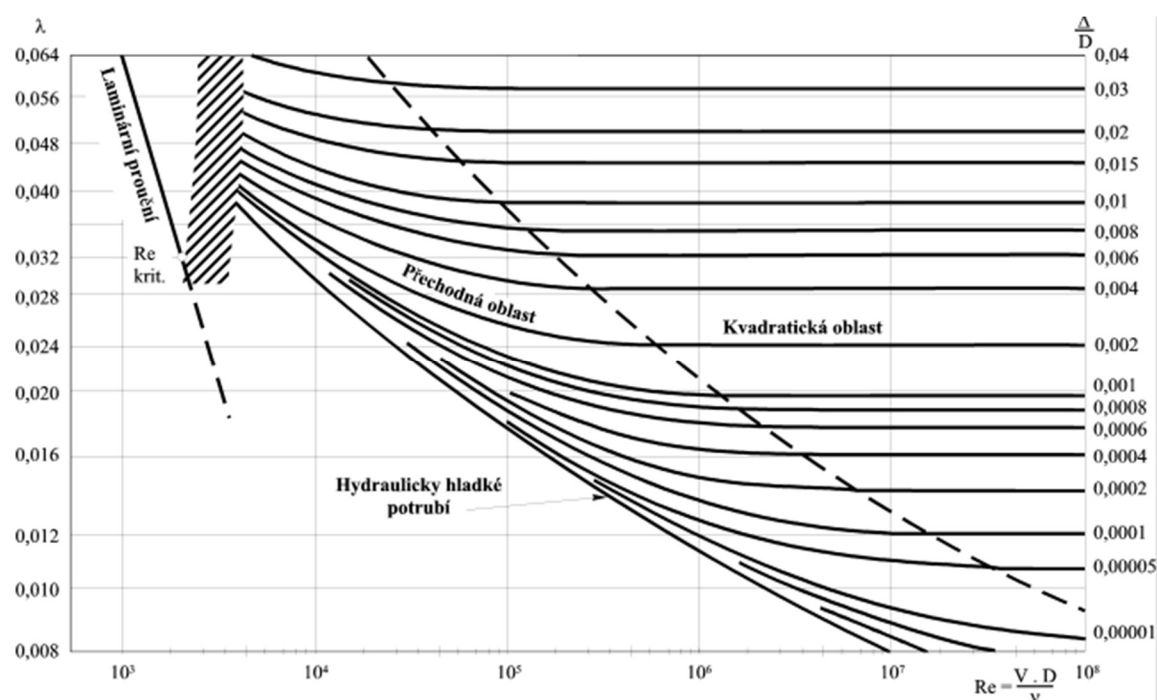
kde:  $\lambda$  součinitel ztrát třením [-],  
 $L$  délka úseku potrubí [m],  
 $D$  vnitřní průměr potrubí [m],  
 $v$  střední průřezová rychlost [m/s] [22] [46] [47].

Součinitele ztrát třením je možné určit podle různých vzorců pro dané režimy proudění nebo odečtením z Moodyho diagramu (viz Obr. 11). Jeho hodnota je závislá podle režimu proudění na relativní drsnosti ( $\frac{\Delta}{D}$ ) nebo Reynoldsově číslu nebo na obou. Reynoldsovo číslo (viz *Rovnice 14*) charakterizuje míru turbulence proudící tekutiny, jednotlivé oblasti jsou znázorněny na Obr. 11. Vzhledem k režimu proudění v rozvodných sítích, které zahrnuje celý rozsah turbulentního proudění se k určení hodnoty ztrátového součinitele používá především poloempirická rovnice Colebrook-White s platností pro  $Re > 4000$ , která je ve své podstatě matematickým vyjádřením Moodyho diagramu:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log\left(\frac{\Delta}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right), \quad (\text{Rovnice 13})$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}, \quad (\text{Rovnice 14})$$

- kde:  $\Delta$  absolutní drsnost potrubí [m],  
 Re Reynoldsovo číslo [-],  
 D vnitřní průměr potrubí [m],  
 v střední průřezová rychlost [m/s],  
 $\nu$  kinematická viskozita [m<sup>2</sup>/s] (v tabulkách v závislosti na teplotě vody) [2] [22] [45].



Obr. 11: Moodyho diagram [45]

Absolutní drsnost potrubí vyjadřuje výšku výstupků na vnitřní stěně potrubí. Vzhledem k nerovnoměrnosti rozložení a různé výšce výstupků u technicky vyráběných potrubí se absolutní drsnost určuje porovnáním ztrát s prouděním v potrubí s homogenní umělou drsností se známou výškou výstupků. Takto odvozená absolutní drsnost se u technicky vyráběných potrubí nazývá hydraulickou drsností. Pro výpočty jsou k dispozici doporučené tabulkové hodnoty hydraulické drsnosti (viz Tab. 5) pro různé materiály potrubí podle jejich stavu, protože s dobou provozu potrubí dochází ke zvyšování drsnosti



vlivem sedimentace, inkrustace a rozrušování povrchu unášenými částicemi [45].

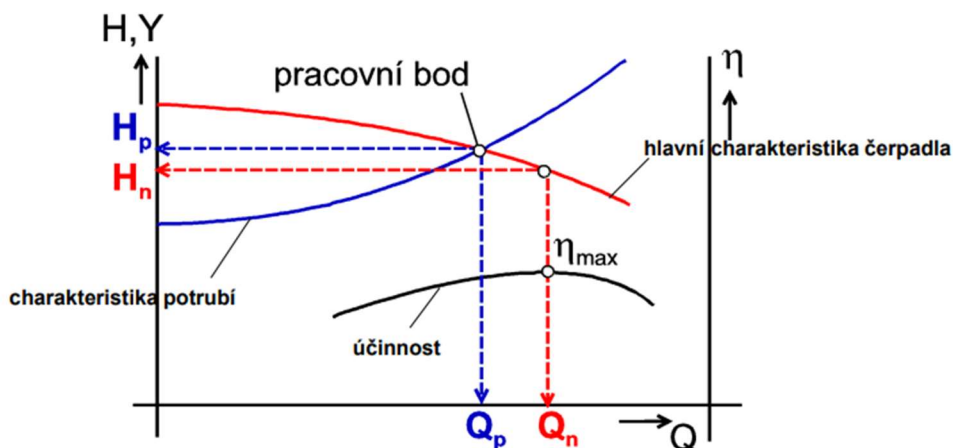
Obecně z uvedených rovnic vyplývá, že k růstu ztráty třením u vodovodních sítí bude docházet při zvýšených odběrech, stárnutím potrubí a rozšiřováním sítí (zvýšení odběrů a rychlostí) [15].

*Tab. 5: Tabulka doporučených hodnot hydraulické drsnosti  $\Delta$  pro vybraná technicky vyráběná potrubí [45]*

Druh potrubí	Stav potrubí	$\Delta$ [mm]
Azbestocementové	Nové	0,5
	Po použití	1
Ocelové svařované	Nové	0,03-0,1
	Po použití	0,3-0,7
	Silně zrezivělé	2-4
Litinové	Nové	0,01-0,16
	Po použití	0,5-1,5
	Silně zrezivělé	2-3
Plastové (PVC, PE)	Nové	0,001-0,003
	Po delším provozu	0,01-0,015
Betonové	Nové	0,15-0,5
	Po delším provozu	1-3

## 1.4.2 Hydraulika soustavy potrubí a čerpadla

Při návrhu čerpadla je nutné stanovit charakteristiku potrubí (viz Obr. 12), která vyjadřuje závislost průtoku  $Q$  na dopravní výšce  $H$ . Dopravní výška je součtem geodetické výšky, rozdílu tlaku na vstupu do čerpadla a požadovaného tlaku na výstupu, ztrát na sacím a výtlačném potrubí. Průběh charakteristiky potrubí začíná při nulovém průtoku na hodnotě geodetické výšky a postupně se zvyšuje s průtokem vlivem narůstajících ztrát [45].



Obr. 12: Charakteristika hydraulické soustavy potrubí a čerpadla [45]

Pro kombinaci průtoku a dopravní výšky je možné určit potřebný výkon čerpadla, který je dán podílem mechanické energie dodávané kapalině a času. Dodávaná energie (příkon čerpadla  $P$  viz Rovnice 15) musí být vyšší z důvodu ztrát mechanické energie vlivem zvýšených turbulencí v čerpadle a celkovou účinností elektromotoru.

$$P = \frac{H \cdot Q \cdot \rho \cdot g}{\eta}, \quad (\text{Rovnice 15})$$

kde:  $P$      příkon [W],  
 $H$      dopravní výška [m],  
 $Q$      průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  
 $\rho$      hustota kapaliny [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  
 $\eta$      účinnost [-] [45].

Pro výběr vhodného čerpadla je nutné znát charakteristiku čerpadla a jeho účinnost (viz Obr. 12), které poskytuje ke každému čerpadlu výrobce. Průběh charakteristiky čerpadla na rozdíl od charakteristiky potrubí s rostoucím průtokem klesá. Účinnost nejprve s průtokem roste, od  $\eta_{\text{max}}$  klesá. Pro výběr čerpadla je rozhodující pracovní bod (průsečík charakteristik potrubí a čerpadla), který by se měl pro optimalizaci provozních nákladů nacházet v blízkosti maximální účinnosti. Při návrhu soustavy s více čerpadly zapojenými paralelně se sčítají u charakteristiky čerpadla jednotlivé pořadnice průtoku, při sériovém zapojení se sčítají pořadnice dopravní výšky [15] [45].

## 1.5 Matematické modelování distribučních systémů pitné vody

Matematické modelování vodovodů je obor rozvíjející se přibližně od poloviny 20. století společně s výpočetní technikou, který umožňuje simulovat a následně analyzovat, optimalizovat a navrhovat distribuční sítě pomocí modelovacích softwarů (použití podrobněji v kapitole 1.5.6). Výpočetní programy jsou založeny na řešení nelineárních numerických rovnic a liší se většinou matematickým vyjádřením objektů, metodou řešení rovnic, formátem vstupních dat, uživatelským prostředím a formátem výstupů [15] [22] [48].

### 1.5.1 Typy simulace

Podle požadovaného cíle modelu je možné použít simulaci statickou nebo kvazi-dynamickou.

**Statická simulace** počítá stav systému pro daný časový okamžik (ustálené proudění). Používá se pro analýzu nejnepríznivějších provozních podmínek na síti (minimální a maximální tlaky), například simulace maximálních denních a hodinových odběrů nebo požárního odběru v kombinaci s různými stavy (hladiny ve vodojemech, vypnutá čerpadla apod.). Předpokladem je, že pokud vyhoví systém v nejnepríznivějších podmínkách, bude vyhovovat i v běžných provozních podmínkách [48].

**Kvazi-dynamická simulace** umožňuje simulovat distribuční systém po delší časové období na základě série statických simulací s voleným časovým krokem, při kterých se uplatní pravidla řízení a časové diagramy vyjadřující kolísání vstupních parametrů. Výstupem každé dílčí statické simulace je nový stav odběrů, hladin ve vodojemech a pravidel řízení, které se stávají vstupem pro výpočet statické simulace v následujícím časovém kroku. Kvazi-dynamickou simulací je možné modelovat kvalitu vody a získat přesnější informace o chování sítě v čase (kolísání tlaků, hladin ve vodojemech apod.) v souvislosti s proměnlivostí odběrů a vlivem operačních pravidel [22] [47] [48].

## 1.5.2 Výpočet

### 1.5.2.1 Princip výpočtu

Principem výpočtu je iterační řešení při současné platnosti hydraulických rovnic popisujících proudění vody v potrubní síti založené na platnosti uzlové, okružové a hydraulické podmínky a případně i podmínky zdrojové cesty.

**Uzlová podmínka** (Rovnice 16), která vychází ze zákona zachování hmotnosti: suma všech přítoků, odtoků a odběrů se musí v každém uzlu rovnat nule.

$$\sum Q_i = 0, \quad (\text{Rovnice 16})$$

kde:  $Q_i$     přítoky, odtoky a odběry z uzlu [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] [49].

**Okružová podmínka** (Rovnice 17), která vychází ze zákona zachování hybnosti: v každém uzavřeném okruhu je suma hydraulických ztrát rovna nule (ve zvoleném směru musí znaménka ztrátových výšek odpovídat směru proudění).

$$\sum h_i = 0, \quad (\text{Rovnice 17})$$

kde:  $h_i$     hydraulická ztráta v úseku [m v. sl.] [49].

**Hydraulická podmínka** vyjadřuje vztah mezi ztrátovou výškou a průtokem v úseku:

$$h_i = k_i * Q_i^n, \quad (\text{Rovnice 18})$$

$$k_i = \frac{8}{g * \pi^2} * \lambda_i * \frac{l_i}{d_i^5}, \quad (\text{Rovnice 19})$$

kde:  $h_i$     hydraulická ztráta v úseku [m v. sl.],  
 $Q_i$     průtok v úseku [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  
 $k_i$     odporový součinitel daného úseku,  
 $n$     exponent v rozmezí 1,75 – 2,  
 $\lambda_i$     součinitel tření v úseku,  
 $l_i$     délka potrubí v úseku [m],  
 $d_i$     vnitřní průměr potrubí v úseku [m] [49].

V případě existence čerpadla v úseku je nutné vyjádřit vztah mezi ztrátovou výškou a průtokem pomocí jiných rovnic.

**Podmínka zdrojové cesty** (*Rovnice 20*) se uplatní, pokud je v modelované síti více vodojemů a vyjadřuje, že velikost tlakových ztrát ve zdrojové cestě (libovolná cesta mezi 2 vodojemy) se rovná rozdílu tlakových výšek v těchto vodojemech.

$$\sum h_i = H_P - H_K, \quad (\text{Rovnice 20})$$

kde:  $H_P$  tlaková výška v počátečním vodojemu [m],

$H_K$  tlaková výška v koncovém vodojemu [m] [49].

Cílem výpočtu je nalezení neznámých hodnot průtoků a tlakových ztrát v jednotlivých úsecích sítě v zadané toleranci pomocí postupné aproximace [22] [49].

### 1.5.2.2 Výpočetní iterační metody

Výpočetní iterační metody jsou numerickým řešením soustavy nelineárních rovnic vytvořených na základě vztahů uvedených v kapitole 1.5.2.1. Metody lze dělit podle veličiny, která je dopočítávána.

**Metody vyrovnání ztrátových výšek** jsou založeny na odhadnutí průtoků a jejich směrů a dopočítávání ztrátových výšek. Průtoky jsou postupně zpřesňovány pomocí opravných průtoků vypočítaných ze ztrátových výšek pomocí jedné z metod:

- Newtonovy metody,
- Lobačev – Crossovy metody,
- Dubin – Crossovy metody,
- Todiniho globálního gradientního algoritmu (využíván softwarem Epanet).

U **metod vyrovnání průtoků** se odhadují ztrátové výšky a směry průtoků a následně se dopočítávají průtoky. Ztrátové výšky jsou postupně zpřesňovány pomocí opravných ztrátových výšek s využitím jedné z metod:

- Newtonovy metody II,

- Hardy – Crossovy metody.

**Metody vyrovnání odporových součinitelů** jsou založeny na odhadu průtoků i ztrátových výšek, které jsou zpřesňovány na základě opravných průtoků a opravných ztrátových výšek. Mezi tyto metody patří například Mc Ilroyova metoda [47] [49].

### 1.5.3 Potřebná data

Kvalita vstupních dat pro výpočetní model je klíčovým prvkem při tvorbě modelu, na kterých závisí přesnost výstupů. Volba a míra detailnosti dat závisí na typu řešeného problému a na požadovaných výstupech.

Základní data:

- topografie – údaje o nadmořské výšce v dané oblasti (digitální model terénu), výšce budov,
- schéma sítě – trasy řadů, objekty na síti,
- systém zásobování – typ distribučního systému, tlaková pásma,
- odběratelé – rozložení, předpokládané změny.

Údaje o spotřebě a potřebě vody:

- typy odběratelů – bytový fond, průmysl, zemědělství,
- údaje o spotřebě vody – průměrná denní spotřeba, nerovnoměrnosti potřeby vody, ztráty vody,
- předpokládaná potřeba vody – územní plány, vývoj počtu obyvatel.

Údaje o prvcích sítě:

- potrubí – délka, průměr, materiál, stáří a stav,
- vodojemy – typ, kapacita, provozní hladiny, tvar, operační pravidla,
- čerpací stanice – počet a typ čerpadel, charakteristiky čerpadel, účinnost, operační pravidla,
- zdroje vody – vydatnost, využití, jakost,
- ostatní armatury ovlivňující hydrauliku sítě – popis, operační pravidla, stáří,
- předpokládaný rozvoj sítě.

Měřené údaje o provozu sítě pro potřeby kalibrace (nutné kontinuální měření po určitou dobu):

- tlaky ve vybraných bodech,
- kolísání hladin ve vodojemech,
- tlaky a průtoky v čerpacích stanicích,
- průtoky na hlavních řadech,
- měření odběrů a vtoků,
- manipulace s armaturami [15] [50].

### **1.5.4 Tvorba modelu**

Tvorba modelu představuje převedení vstupních dat reálné sítě do požadovaného formátu výpočetního programu.

#### **1.5.4.1 Schematizace**

Schematizace sítě spočívá ve zjednodušení reálné sítě pomocí nahrazení řadů s malými průměry a méně významných větvových řadů bodovými odběry v místě odbočení, sdružením paralelních potrubí apod. Dříve se schematizace využívala z důvodu zkrácení výpočetní doby a zmenšení objemu dat, v dnešní době je její využití pro zkrácení doby tvorby modelu, lepší pochopení fungování a větší přehlednost modelu, které mohou vést k eliminaci chyb při jeho vytváření. Přičemž by měla schematizace vždy probíhat s ohledem na cíle modelu, velikost modelované distribuční sítě a významnosti potrubí, aby provedená zjednodušení neměla příliš velký vliv na odchylku výsledků od měřených hodnot na reálné síti [15] [51].

#### **1.5.4.2 Prvky distribučního systému**

Prvky distribučního systému jsou ve fiktivním modelu definovány pomocí uzlů (rezervoáry, vodojemy, obyčejné uzly, odběrné uzly) a úseků (potrubí, čerpací stanice, ventily). Požadovaná vstupní data pro prvky se u jednotlivých softwarů mohou lišit, vždy by ale měly být všechny označeny unikátním identifikátorem. Požadovaná vstupní data pro software Epanet jsou uvedena níže [15] [22].

**Rezervoár** představuje nekonečný zdroj vody a je okrajovou podmínkou, proto není ovlivněn změnami během simulace na síti a nejsou pro něho žádné výstupy.

Požadované vstupy jsou:

- tlaková výška hladiny (možnost nastavení časové závislosti),
- počáteční kvalita vody (v případě kvalitativní analýzy).

U **vodojemu** jsou požadované parametry:

- tvar (závislost hloubky a objemu),
- nadmořská výška dna,
- počáteční, minimální a maximální hladina,
- počáteční kvalita vody (v případě kvalitativní analýzy).

**Obyčejné uzly** jsou v místech, kde dochází k napojení nebo změnám potrubí (drsnost, průměr). Měly by být také v nejnižších a nejvyšších místech sítě a v bodech hydrantových testů pro účely kalibrace. Požadované základní vstupy jsou:

- nadmořská výška,
- počáteční kvalita vody (v případě kvalitativní analýzy).
- přiřazené odběry vody u **odběrných uzlů** (možné přiřadit více druhů odběru k jednomu uzlu).

Dále je možné odběrným uzlům přiřadit časovou nebo tlakovou závislost odběrů a také mohou být zdrojem látek při kvalitativní analýze.

**Potrubí** rozvádějí vodu mezi uzly v síti, směr proudění je dán tlakovými výškami v jednotlivých uzlech. Požadované základní parametry jsou:

- délka, průměr, drsnostní součinitel,
- počáteční a koncový uzel.

Dále je možné potrubí přiřadit šoupě (otevřeno/zavřeno) nebo zpětnou klapku. Pro potřeby kvalitativní analýzy je možné přiřadit součinitele reakcí ve vodě a se stěnou potrubí. Výpočet tlakových ztrát třením je možné nastavit podle jedné z rovnic uvedených v kapitole 1.4.1.3 (rozdílné hodnoty součinitelů drsnosti), místní ztráty lze zavést pomocí součinitele místní ztráty (výpočet na základě *Rovnice 11*).



**Čerpací stanice** zvyšují vodě tlak a měly by mít přiřazené:

- počáteční a koncový uzel,
- charakteristiku čerpadla (viz kapitola 1.4.2).

Místo charakteristiky čerpadla je možné přiřadit konstantní množství energie dodávané čerpadlem bez ohledu na průtok a tlak.

Různé typy **ventilů** slouží k regulaci tlaku nebo průtoku na síti. Základní parametry jsou:

- počáteční a koncový uzel,
- průměr,
- nastavení,
- stav (otevřeno/zavřeno).

Software Epanet umožňuje přidat 6 různých typů ventilů:

- PRV – redukuje tlak na odtoku (redukční ventil),
- PSV – udržuje nastavený tlak na odtoku,
- PBV – snižuje tlak o nastavenou hodnotu,
- FCV – redukuje průtok na nastavenou hodnotu,
- TCV – simuluje škrcení průtoku nastavením koeficientu místní ztráty,
- GPV – obecný ventil simuluje ztrátu tlaku na základě přiřazené křivky závislosti průtoku a ztráty tlaku [47] [48].

Odběry, tlakové výšky hladin zdrojů, pracovní režimy čerpadel a zdroje látek mohou mít přiřazeny časové diagramy, které v nastavených časových krocích přenásobují základní hodnotu a simulují kolísání hodnot na reálné síti [47] [48].

Odběry se k uzlům zpravidla připojují pomocí přidělení velkoodběratelů do míst skutečných odběrů a rovnoměrného rozdělení odběrů obyvatelstva s přihlédnutím k délce úseků, charakteru zástavby a počtu zásobovaných obyvatel. Některé programy umožňují rozdělení odběrů k příslušným nejbližším uzlům, pokud jsou k dispozici data o umístění jednotlivých domovních přípojek [15] [25].

### 1.5.4.3 Pravidla řízení

Pravidla řízení umožňují měnit nastavení čerpadel, ventilů a potrubí v závislosti na čase, dosažených tlacích v uzlech, průtocích v potrubí nebo hladin ve vodojemech během simulace podle operačních pravidel objektů (provedou akci u jednoho nebo více prvků, pokud nastane předem definovaná podmínka nebo více podmínek současně). Pravidla řízení se dělí na jednoduchá a komplexní.

Jednoduchá pravidla jsou vytvořena pro jeden prvek na základě jednoho pravidla (např. vypnutí čerpadla X, pokud bude dosažena hladina Z ve vodojemu Y).

Komplexní pravidla se uplatní:

- pro jeden prvek řízený více pravidly,
- pro více prvků řízených jedním pravidlem,
- pro kombinaci předchozích možností (např. spuštění čerpadel  $X_1$  a  $X_2$ , pokud klesne u vodojemu  $Y_1$  hladina na úroveň  $Z_1$  a zároveň je hladina ve vodojemu  $Y_2$  minimálně na úrovni  $Z_2$ ).

Výpočetní programy mají odlišné způsoby zadávání a fungování pravidel řízení, které je nutné znát pro zajištění správné funkce modelu. Například software Epanet vyhodnocuje a implementuje jednoduchá pravidla před začátkem každé iterace. Naopak komplexní pravidla vyhodnocuje na konci iterace a implementuje je až po uplynutí nastaveného časového kroku pravidla [47] [48].

### 1.5.5 Kalibrace a verifikace

Kalibrace je proces, při kterém se upravují vstupní parametry modelu, aby došlo k požadované míře shody mezi měřenými hodnotami na síti a výstupními daty modelu. Požadovaná přesnost modelu závisí zejména na jeho plánovaném použití a kvalitě měřených a vstupních dat. Kalibrace se zpravidla provádí pro hodnoty tlaků, průtoků a průběhů hladin ve vodojemech, v případě kvalitativní analýzy i pro parametry kvality vody. Zdrojem kalibračních dat jsou měřené tlaky a průtoky na síti, data o provozu čerpacích stanic a vodojemů, odběry a přítoky do sítě. Data mohou být získána na základě záznamů ze SCADA systémů nebo jiných monitorovacích zařízení. V distribučních systémech

s nedostatečným množstvím měřených dat nebo pro účely analýzy konkrétní oblasti distribuční sítě je možné provést hydrantové zkoušky. Nejčastěji se během kalibrace upravují:

- křivky čerpadel,
- nastavení a pozice ventilů,
- pravidla řízení,
- chybná propojení systému,
- drsnosti a průměry potrubí,
- rozložení odběrů a jejich nerovnoměrnosti.

Některé komerční softwary umožňují automatickou kalibraci založenou na úpravě drsností potrubí, ale ta by se měla používat pouze pro dokalibrování, kde je nepřesnost modelu způsobena odlišnými drsnostmi, jinak by mohlo dojít k vnesení dalších chyb do modelu. Přesnost kalibrace lze vyhodnotit různými statistickými metodami, které vyjadřují odchylky od měřených hodnot. Výsledky kalibrace jsou zpravidla doloženy grafy s hodnotami vypočítanými modelem a naměřenými hodnotami v závislosti na čase pro jednotlivá místa měření [48].

Verifikace je proces, který ověřuje, zda je model správně nakalibrován na rozdílném souboru měřených hodnot (jiné časové období) při odlišných vstupních a počátečních podmínkách. Pokud vykazují hodnoty vypočítané modelem akceptovatelnou odchylku od měřených hodnot, je model dokončený a připravený pro další použití [48] [50].

### **1.5.6 Použití modelu**

Zkalibrovaný a zverifikovaný model je možné využít při procesech plánování, projektování a provozování distribučních sítí a k určování kvality vody.

Při plánování investičních záměrů lze využít matematické modely distribučních sítí pro:

- předběžné návrhy umístění a dimenze plánovaných objektů,
- sestavení plánu obnovy vodovodů,
- analýzu účinků opatření ke snížení ztrát vody,
- vyhledání možných nekapacitních potrubí na síti,

- analýzu vlivu změny budoucích odběrů.

Při projektování rozšíření stávajících nebo výstavby nových distribučních sítí lze využít modelované hodnoty průtoků a tlaků při různých zátěžových stavech pro:

- dimenzování ventilů, čerpacích stanic, potrubí,
- dimenzování vodojemů na základě modelovaných přítoků a odtoků,
- účely požární analýzy,
- navrhování tlakových pásem.

Během provozování sítě lze modely využít k:

- vytvoření pokynů pro krizové řízení sítě,
- vyhodnocení tlaků a průtoků na síti během různých stavů,
- školení obsluhy (lze modelovat odezvu sítě na provedené operace),
- řešení provozních problémů (nízké tlaky, problémy s cirkulací vody apod.),
- určení ztrát vody při poruchách sítě,
- optimalizaci míchání vody z různých zdrojů odlišné kvality,
- plánování proplachování potrubí,
- plánování uzavření úseků sítě při opravách potrubí a vyhodnocení jejich vlivu na síť,
- optimalizaci čerpání pro úsporu nákladů.

Pomocí matematických modelů je možné sledovat a případně vylepšit kvalitu vody na základě získaných dat o:

- šíření kontaminantů (lze získat data o zasažených odběratelích),
- míchání vody z různých zdrojů v síti,
- stáří vody v síti,
- úbytku chloru a změn koncentrací sledovaných látek.

Dále může model sloužit pro výběr vhodných míst pro odběr vzorků, které slouží pro sledování kvality vody [48].

### **1.5.6.1 Řízení v reálném čase**

S rozvojem výpočetní techniky a monitorovacích systémů se v současnosti rozšiřují modely distribuční sítě v reálném čase, které upravují vstupní data zkalibrovaného modelu v nastavených časových intervalech na základě informací ze SCADA systémů a jiných monitorovacích zařízení o okrajových podmínkách a operačních stavech objektů. Provozovatelé získávají informace o tlacích, průtocích a kvalitě vody ve všech bodech sítě v reálném čase, které provozovatelé nejčastěji používají pro:

- průběžné řízení spotřeby energie,
- optimalizaci řízení čerpacích stanic a vodojemů,
- sledování možných poruch na síti,
- řešení krizových situací při poruchách na síti nebo při problémech s kvalitou vody [48].

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 Výchozí podklady

Podklady pro tvorbu modelu mně byly poskytnuty firmou D-plus projektová a inženýrská, a. s. se souhlasem provozovatele vodovodní sítě společnosti Slavos Slaný, s.r.o., jedná se o:

- Souhrn vstupních podkladů pro potřeby studie proveditelnosti zajištění zásobování pitnou vodou města Slaný – zpráva o podkladech,
- měřená data SCADA pro roky 2017-2019,
- schéma vodovodní sítě ve formátu shapefile,
- upravený matematický model sítě,
- Sestavení matematického hydraulického modelu vodovodu Slánské oblasti.

Od provozovatele vodovodní sítě společnosti Slavos Slaný, s. r. o. jsem získal informace o plánovaných rozvojových plochách a podklady o navržených řadech pro ty rozvojové plochy, u kterých již byly zpracovány.

Dále jsem využil:

- mapové podklady,
- digitální model reliéfu 5G,
- Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Středočeského kraje,
- Územní plán Slaný,
- územní studie pro jednotlivé rozvojové plochy.

### 2.2 Charakteristika zájmové oblasti

Zájmová oblast, která se nachází severozápadně od Prahy v okrese Kladno, zahrnuje město Slaný a okolní obce (Beřovice, Dřínov, Hobšovice, Jarpice, Jedomělce, Jemníky, Královice, Knovíz, Libovice, Líský, Páleč, Podlešín, Pozdeň, Přelíc, Řisuty, Studeněves, Šlapanice, Tuřany, Zlonice, Zvoleněves, Želenice, Žižice). Nadmořská výška se v zájmové oblasti pohybuje v rozmezí 200–353 m n. m. Mimo město Slaný jsou ve všech obcích nízkopodlažní budovy, zejména rodinné domy. Ve městě Slaný jsou vícepodlažní budovy v centru (2-3 podlaží) a v sídlištních zástavbách jižně od centra, na východním a západním

okraji města (6-8 podlaží). V jihovýchodní a severní části města jsou podle územního plánu výrobní objekty a sklady s maximální výškou 12 m [52].

## **2.3 Popis distribučního systému pitné vody**

Distribuční systém Slánské oblasti zajišťuje zásobování vodou města Slaného a napojených okolních obcí pitnou vodou. Celkem zásobuje přibližně 25 tisíc obyvatel ze 6000 odběrných míst. Za rok 2019 byla celková spotřeba vody 1 231 584 m<sup>3</sup>. Od začátku roku 2020 provozuje celou soustavu společnost Slavos Slaný, s.r.o. (mimo městys Zlonice, který si vodovod provozuje sám) [53] [54].

Slánský vodovod tvoří 186,5 km vodovodních rozváděcích řadů, 54 km přiváděcích řadů, 7 vodojemů, 4 akumulční nádrže, 12 čerpacích a automatických tlakových stanic a 24 redukčních ventilů. Dimenze řadů je v rozmezí DN 50–500 (viz Příloha č. 2), materiály řadů jsou znázorněny v Příloze č. 1. Celá oblast je rozdělena do 36 tlakových pásem, která jsou zásobována kombinovaně [55].

### **2.3.1 Vodní zdroje a úprava vody**

Distribuční systém Slánské oblasti v současnosti využívá 3 vlastní podzemní zdroje vody. Jejich vydatnost je ale nedostatečná, a navíc musí být surová voda nákladně upravována z důvodu vysokého obsahu síranů. Z toho důvodu přibližně 60 % celkové spotřeby vody tvoří voda převzatá ze skupinového vodovodu KSKM (Kladno – Slaný – Kralupy nad Vltavou – Mělník) [53].

Zdroje vody pro **úpravnu vody Studeněves** jsou:

- Krkavčí vrt (kapacita 17 l/s),
- vrt ST-1 v areálu úpravní vody (kapacita 2 l/s),
- propojovací řad z vodovodu KSKM (průměrný odběr 5 l/s), který slouží pro ředění jímané vody s vysokým obsahem síranů.

Technologie používané v úpravě vody jsou sedimentace, filtrace na pískových filtrech, chemická a biologická filtrace, dezinfekce, odželezňování a odmanganování [54] [56].

**Vodní zdroj Kvíček** tvoří 2 vrty a 2 studny, ale z důvodu kvality vody je využívána pouze kopaná Nová studna S-4 s kapacitou 2 l/s. Surová voda je dezinfikována bez dalších technologií pro úpravu vody [54].

Předávacím místem pro vodu převzatou z **vodovodu KSKM** je odbočka v armaturní šachtě zemního vodojemu Theodor, část vody se předává zpět v armaturní šachtě Dolín. Průměrný odběr činí 27 l/s. Hlavním zdrojem převzaté vody je podzemní voda z Mělnické Vrutice. Voda je dezinfikována na čerpací stanici před nátokem do vodojemu Theodor [54].

Další místa hygienického zabezpečení jsou zemní vodojem Zlonice a akumulční nádrž Háje nový [55].

### **2.3.2 Oblasti zásobování**

Celé zásobované území lze rozdělit na 3 oblasti podle převažujícího zdroje vody.

#### **Oblast zásobování 1 – voda z ÚV Studeněves (obce na západ od Slaného)**

Z ÚV Studeněves je voda čerpána přes akumulční nádrž Studeněves, kde dochází k ředění s vodou z KSKM, do věžového vodojemu Tuřany. Odtud je voda gravitačně vedena do:

- akumulční nádrže Háje nový,
- obcí Studeněves, Řisuty, Tuřany a Byseň,
- přiváděcího řadu k zemnímu vodojemu Jedomělice, z přiváděcího řadu jsou zásobovány obec Libovice a pomocí ATS místní část Trumplac.

Do zemního vodojemu Jedomělice je voda dočerpávána pomocí ATS, vodojem gravitačně zásobuje:

- obce Jedomělice, Pozdeň, Hřešice a pomocí ATS obec Líský.

#### **Oblast 2 – voda z vodovodu KSKM (východní část města Slaný, obce východně a jižně od města Slaný)**

Vodojem Theodor gravitačně zásobuje:

- obce Jemníky, Knovíz, Podlešín, Zvoleněves a Želenice pomocí ATS,
- akumulční nádrž Háje nový,
- akumulční nádrž Studeněves,
- zemní vodojem Okrouhlík.



Před vodojemem Okrouhlík jsou z příváděcího řadu vedeny východní a západní větve okružního řadu kolem města Slaného. Západní větev dodává vodu městským částem Kvíc a Kvíček a obci Přelíc pomocí ATS. Východní větev zásobuje obce Dolín, Želevčice, Beřovice a přivádí vodu zpět do vodovodu KSKM v předávacím místě v akumulární šachtě Dolín.

Vodojem Okrouhlík gravitačně zásobuje:

- východní část a historické centrum města,
- obce Blahotice, Vítov, Žižice, Osluchov, Luníkov, Hobšovice, Skůry, Křovice a pomocí ATS obec Drnov.

### **Oblast 3 – směs vod z ÚV Studeněves, KSKM a vodního zdroje Kvíček (severní a západní část města Slaný a obce severně od města Slaný)**

Z vodního zdroje Kvíček je voda čerpána přes akumulární nádrž Všeňlušická do akumulární nádrže Háje nový, kde dochází ke smíchání s vodou z ostatních zdrojů. Z této akumulární nádrže jsou plněny gravitačně zemní vodojem Háje a čerpáním věžový vodojem Háje.

Zemní vodojem Háje zásobuje centrum města a jižní část města Slaného.

Věžový vodojem Háje gravitačně zásobuje:

- obce Trpoměchy, Otruby, Královice, Dřínov, Bakov,
- západní část města Slaného,
- zemní vodojem Zlonice.

Zemní vodojem Zlonice zásobuje:

- obce Zlonice, Lisovice, Výšínek, Jarpice, Budenice, Šlapanice,
- pomocí ATS obec Páleč [54] [55].

## **2.4 Spotřeba vody**

Spotřeba vody pro jednotlivé obce nebo skupiny obcí Slánské oblasti dle VÚPE 2019 je uvedena v Tab. 6. Specifické množství vody fakturované pro domácnosti je v porovnání s celorepublikovým průměrem za rok 2019 (viz kapitola 1.3.2) vyšší pouze v obcích Tuřany, Byseň, Libovice, Zlonice, Vyšínek a Lisovice. U ostatních obcí je specifické množství vody fakturované pro domácnosti nižší, u některých obcí dosahuje velmi nízkých hodnot.

Tab. 6: *Specifická potřeba a ztráty vody (seřazeno sestupně dle ztrát vody na km řadu) [54]*

Obec	Specifická spotřeba z vody vyrobené [l/os/den]	Specifické množství vody fakturované [l/os/den]	Specifické množství vody fakturované pro domácnosti [l/os/den]	Specifické množství vody nefakturované [l/os/den]	Ztráty vody na km řadu [m <sup>3</sup> /km/den]
Studeněves, Řisuty	165,5	93,9	78,3	71,6	5,60
Hobšovice, Drnov a Vítov, Luníkov, Osluchov, Žižice	129,7	81,2	65	48,5	3,56
Jemníky	76,6	62,5	59,2	14,1	3,18
Slaný, Blahotice, Přelíc	177,5	153,3	85,8	24,2	3,15
Zvoleněves, Knovíz, Podlešín, Želenice	86,6	65,8	55,5	20,8	2,44
Zlonice, Lisovice, Výšínek	112,1	101,9	94,2	10,2	1,47
Tuřany, Byseň, Libovice	128,5	118,3	98,9	10,2	1,41
Otruby, Bakov, Dřínov, Královice, Trpoměchy	82,8	67,6	47,2	15,2	0,96
Dolín, Beřovice, Želečovice	96	89,5	59,6	6,5	0,87
Jedomělice	54,7	46,4	41,2	8,3	0,34
Šlapanice	106,5	100	75,8	6,5	0,32
Pozdeň, Líský	31,1	29,9	20,9	1,2	0,05
Jarpice	70,5	70,5	70,5	0	0,00
Páleč	46	45,4	45,4	0,6	0,00
<b>Průměr (mimo Jarpice a Páleč)</b>					1,95

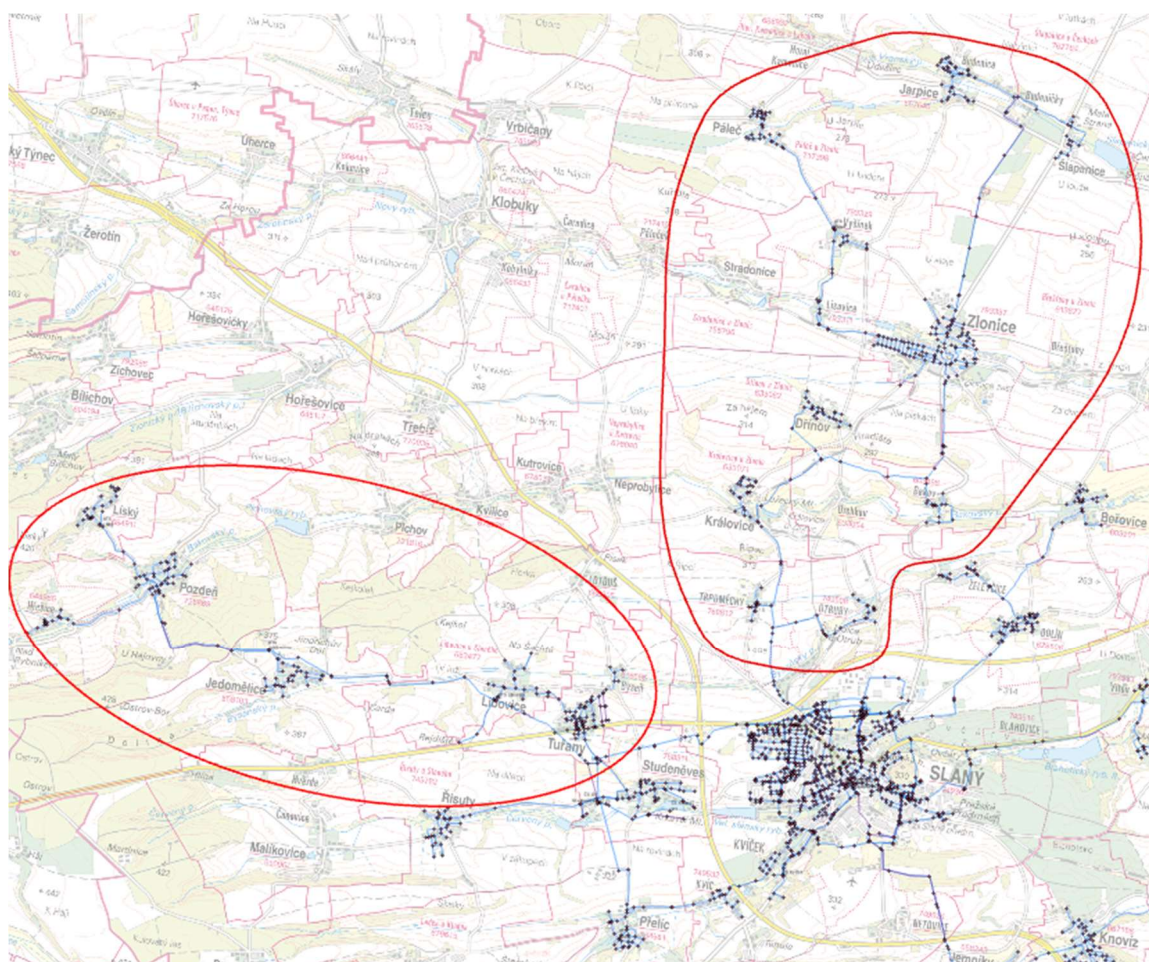
Ztráty vody na km řadu jsou v porovnání s celorepublikovým průměrem za rok 2019 (viz kapitola 1.3.2) vyšší ve všech obcích, kde tvoří poměrně velkou část potrubí z litiny (viz Příloha č. 1). U ostatních obcí nelze určit přímou souvislost s použitým materiálem, vyšší ztráty mají obce s polyvinylchloridovým potrubím, ale jiné obce s vysokým zastoupením stejného materiálu potrubí mají naopak nízké ztráty vody. U těchto obcí bude záležet především na stáří řadů a kvalitě provádění.

Cena vodného pro rok 2023 činí 84,6 Kč/m<sup>3</sup> včetně DPH, což převyšuje sociálně únosnou cenu stanovenou pro Středočeský kraj pro rok 2023 o 3,3 Kč/m<sup>3</sup>. Pro porovnání s průměrnými cenami za vodné v roce 2021 (viz kapitola 1.3.4) činilo v tomto roce vodné 65,31 Kč/m<sup>3</sup> (o 26 % vyšší než průměrná cena pro Středočeský kraj). Vyšší ceny vodného jsou dány především nutností odběru velkého množství převzaté vody ze skupinového vodovodu KSKM [53].

## **2.5 Dopracování matematického modelu**

Pro seznámení se s funkcí distribučního systému a s procesem matematického modelování jsem dostal upravený matematický model Slánské oblasti pro účely jeho dopracování. Upravené části modelu se týkaly především oblastí 1 a 3 mimo město Slaný a okolí úpravní vody Studeněves (oblasti jsou vyznačeny na Obr. 13). V modelu chyběly 3 vodojemy, 1 akumulční nádrž, 2 automatické tlakové stanice, 4 ventily a hodinová nerovnoměrnost pro 1 tlakové pásmo. Dále jsem musel doplnit potrubí, uzly a pravidla řízení pro doplňované objekty. Pro všechny doplňované prvky sítě jsem pro umístění využil souřadnice z GIS.

V převzatém modelu již byla vytvořena síť uzlů, potrubí a objektů (mimo odstraněných pro účely dopracování) importem z GIS databáze provozovatele sítě. Potrubím byla přiřazena hydraulická drsnost na základě stáří a materiálu. Odběry byly přiřazeny geokódováním k nejbližšímu uzlu. Velikost odběrů pro bytové pásmo byla rozdělena rovnoměrně podle průměrných odběrů zásobního pásma za rok 2019, u velkoodběratelů byla zadána konkrétní hodnota [55].



Obr. 13: Upravené oblasti v modelu

## 2.5.1 Nastavení modelu

Matematický model jsem dopracovával v softwaru Epanet verze 2.2. Pro výpočet jsem v souladu s upraveným modelem použil kvazi-dynamickou simulaci o délce 7 dní v časovém kroku 5 minut. Pro časový diagram nerovnoměrnosti odběrů a pro následnou kalibraci byl vybrán týden 16. -22. 9. 2019, ve kterém nebyly zaznamenány výchytky v odběrech a odběry ještě nebyly ovlivněny pandemií COVID-19.

Pro výpočet ztrát třením jsem nastavil Darcy-Weisbachovu rovnici (Rovnice 12). Souřadný systém jsem dodržel shodně s importem dat: S-JTSK / Krovak East North.

## 2.5.2 Vodojemy a akumulční nádrže

Do modelu jsem doplnil věžový vodojem Tuřany, zemní vodojem Jedomělice, zemní vodojem Zlonice a akumulční nádrž Páleč (viz Tab. 7).

Tab. 7: Doplněné vodojemy a akumulční nádrže

Název	Kóta dna [m n. m.]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Využitelný objem [m <sup>3</sup> ]	Max. hladina [m]	Min. hladina [m]	Průměr [m]
VV Tuřany	349,2	200	160	5,5	0,5	6,383
ZV Jedomělice	373,2	250	200	3,5	1,7	11,894
ZV Zlonice	273,9	500	400	4,5	0,5	11,284
AN Páleč	252,79	20	16	2,7	0,5	3,043

Průměr vodojemu jsem dopočítal z reálně využitelné kapacity vodojemu pomocí vzorce pro objem válce (viz *Rovnice 21*) odečtením objemu stálého nadržení (rozdíl dna a minimální hladiny) od objemu v rozmezí dna a maximální hladiny.

$$V = \frac{1}{4} * \pi * d^2 * v, \quad (\text{Rovnice 21})$$

kde: V objem válce [m<sup>3</sup>],

d průměr válce [m],

v výška válce [m].

## 2.5.3 Regulační ventily

Do modelu jsem přidal redukční ventily (viz Tab. 8) pro maximální tlak, jejichž nastavení vychází z údajů od provozovatele.

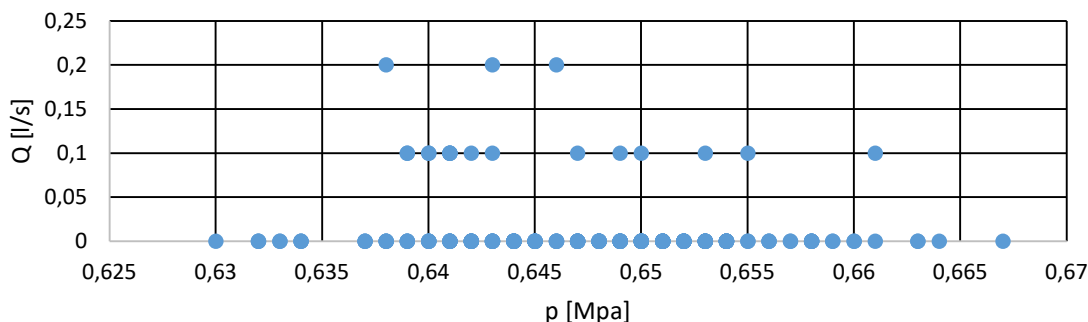
Tab. 8: Doplněné ventily

Název	DN	Výstupní tlak	typ
Královice	110	50	PRV
Dřínov	50	40	PRV
Bakov	25	24	PRV
Libovice	80	30	PRV

Další ventily (pro maximální tlak a maximální průtok) jsem přidal z důvodu správné funkce modelu při kalibraci, stejným způsobem byly řešeny určité části v dodaném modelu.

## 2.5.4 Automatické tlakové stanice

Do modelu jsem doplnil 2 automatické tlakové stanice pro obec Páleč a část obce Libovice.



Obr. 14: Graf závislosti průtoku a tlaku u ATS Libovice

U ATS Libovice jsou hodnoty měřených průtoků (SCADA) velmi nízké a nemají závislost na tlaku (viz Obr. 14). Do modelu jsem proto nastavil čerpadlo s konstantním výkonem v kombinaci s regulačním ventilem. Regulaci tlaku jsem nastavil na průměrnou měřenou hodnotu tlaku na výtlaku 64,6 m v. sl.

U ATS Páleč jsem křivku čerpadla nastavoval v rámci kalibrace (podrobněji v kapitole 2.5.8), protože jsem měl k dispozici pouze měřené hodnoty průtoků (viz Obr. 19).

## 2.5.5 Potrubí a uzly

Do modelu jsem doplnil potrubí a uzly, které chyběly zejména v okolí doplňovaných objektů.

Délky potrubí jsem získal automaticky ze souřadnic pomocí funkce auto-length v Epanetu, případně jsem je upravil dle podkladů v GIS. Průměry potrubí jsem doplnil podle dat z GIS, případně podle okolních úseků. Drsnosti jsem doplnil podle okolních úseků potrubí. Údaje o nadmořské výšce uzlů jsem čerpal z GIS, žádný z doplňovaných uzlů neměl přiřazený odběr.

## 2.5.6 Pravidla řízení

Pravidla řízení jsem pro přidávané objekty nastavil na základě popisu funkce vodojemů a akumulačních nádrží a informací od provozovatele o rozsahu hladin při běžném provozu.

Voda z VV Tuřany gravitačně odtéká do AN Slaný Háje a do ATS Jedomělice (čerpání do ZV Jedomělice) při dosažení hladiny přepadu 2,95 m, minimální hladina při běžném provozu je 2 m a maximální hladina je 5 m:

- LINK 11\_VV\_Turany OPEN IF NODE VV\_Turany ABOVE 2.95
- LINK 11\_VV\_Turany CLOSED IF NODE VV\_Turany BELOW 2.95
- LINK 9\_VV\_Turany CLOSED IF NODE VV\_Turany ABOVE 5.0
- LINK 9\_VV\_Turany OPEN IF NODE VV\_Turany BELOW 2.0.

Minimální hladina u ZV Zlonice je při běžném provozu 3 m, maximální hladina je 3,4 m:

- LINK WLINK\_1502 OPEN IF NODE ZV\_Zlonice BELOW 3.0
- LINK WLINK\_1502 CLOSED IF NODE ZV\_Zlonice ABOVE 3.4.

Minimální a maximální hladina u AN Pálec je 1,5 m a 2,2 m:

- LINK 1\_AN\_Palec CLOSED IF NODE AN\_Palec ABOVE 2.2
- LINK 1\_AN\_Palec OPEN IF NODE AN\_Palec BELOW 1.5.

Pro ZV Jedomělice je minimální hladina při běžném provozu 1,7 m a maximální hladina 3,5 m:

- LINK 4\_ZV\_Jedomelice OPEN IF NODE ZV\_Jedomelice BELOW 1.7
- LINK 4\_ZV\_Jedomelice CLOSED IF NODE ZV\_Jedomelice ABOVE 3.5.

## 2.5.7 Nerovnoměrnost odběrů

Každé tlakové pásmo má přiřazenou křivku hodinové nerovnoměrnosti odběrů v časovém kroku 5 minut, která byla dopočítána z měřených nátoků do jednotlivých pásem nebo úseků distribuční sítě (SCADA měření).

Soubor s měřenými hodnotami měl různé časy odečtů s různými intervaly mezi nimi (v rádech vteřin až po jednu hodinu) a proto jsem je pro potřeby vytvoření křivky nerovnoměrnosti upravil do intervalů po 5 minutách.

Úpravy jsem provedl v softwaru Microsoft Excel, kam jsem vložil měřené hodnoty v časovém rozmezí 16. 9. 2019 0:00 až 22. 9. 2019 24:00. Níže je popsán proces tvorby křivky hodinové nerovnoměrnosti v časovém kroku 5 minut z měřených dat SCADA.

Tab. 9: Ukázka úpravy dat pro nerovnoměrnost odběrů

Čas odečtu	Průtok [l/s]	Min.	Přísl. [min]	Hod.	Načítání intervalů [min]	Počet stejných intervalů	Součet průtoků v intervalu [l/s]	Průměr průtoků pro interval [l/s]
16.09.2019 0:00	0,2	0	5		5	1	0,2	0,2
16.09.2019 0:22	0,1	22	25	0	25	1	0,1	0,1
16.09.2019 0:26	0,3	26	30	0	30	1	0,3	0,3
16.09.2019 0:30	0,1	30	35	0	35	1	0,1	0,1
16.09.2019 1:00	0,1	0	5	0	65	1	0,1	Odstranit
16.09.2019 1:03	0,1	3	5	0	65	2	0,2	0,1
16.09.2019 1:07	0	7	10	0	70	1	0	0

Sloupec „Min.“ vypisuje z dodaného času minutu.

Sloupec „Přísl.“ přiřazuje příslušnost minutám do jednotlivých intervalů po pěti minutách v rámci hodiny pomocí vzorce:

=KDYŽ(C<sub>i</sub><5;5;KDYŽ(C<sub>i</sub><10;10;KDYŽ(C<sub>i</sub><15;15;KDYŽ(C<sub>i</sub><20;20;KDYŽ(C<sub>i</sub><25;25;KDYŽ(C<sub>i</sub><30;30;KDYŽ(C<sub>i</sub><35;35;KDYŽ(C<sub>i</sub><40;40;KDYŽ(C<sub>i</sub><45;45;KDYŽ(C<sub>i</sub><50;50;KDYŽ(C<sub>i</sub><55;55;60))))))))))

Sloupec „Hod.“ slouží pro kontrolu, zda mezi intervaly měření nebyla dosažena hodina (vypíše 1 pokud je interval větší nebo roven 1 hodině) pomocí vzorce:

=KDYŽ(A<sub>i</sub>-A<sub>i-1</sub>>0,0417;1;0)

Sloupec „Načítání intervalů“ přiřazuje hodnoty průtoků do intervalů po 5 minutách, které se postupně načítají pro celý rozsah 7 dnů, tedy 2016 intervalů (5-10080). Pomocí vzorce muselo být zajištěno, aby:

- při přesazení měřeného intervalu jedné hodiny byla připočtena k příslušnému rozdílu minut jedna hodina,
- při po sobě jdoucích stejných příslušných minutách byl zachován stejný interval,
- byl správně načten rozdíl mezi posledním a následujícím prvním intervalem v příslušné hodině.



Toho jsem dosáhl pomocí vzorce:

$$=KDYŽ(E_i=0;KDYŽ(D_i=D_{i-1};F_{i-1};KDYŽ(D_i<D_{i-1};F_{i-1}+60-D_{i-1}+D_i;F_{i-1}+(D_i-D_{i-1})));60+KDYŽ(D_i=D_{i-1};F_{i-1};KDYŽ(D_i<D_{i-1};F_{i-1}+60-D_{i-1}+D_i;F_{i-1}+(D_i-D_{i-1}))))$$

Sloupec „*Počet stejných intervalů*“ určuje počet stejných po sobě jdoucích měření, které spadají do stejného intervalu pro možnost následujícího průměrování:

$$=KDYŽ(F_i=F_{i-1};G_{i-1}+1;1)$$

Sloupec „*Součet průtoků v intervalu*“ načítá hodnoty průtoků ve stejných intervalech:

$$=KDYŽ(G_i>G_{i-1};H_{i-1}+B_i;B_i)$$

Sloupec „*Průměr průtoků pro interval*“ průměruje hodnoty průtoků v intervalech s více měřeními hodnotami a zároveň připravuje řádky se stejnými hodnotami intervalů na odstranění:

$$=KDYŽ(G_i>=G_{i+1};H_i/G_i;"odstranit")$$

Následně jsem vyfiltroval a odstranil řádky označené jako „odstranit“, aby každému intervalu, ve kterém bylo zaznamenáno měření, náležela pouze jedna hodnota průtoků.

V nové tabulce (viz Tab. 10) jsem vytvořil soubor 2016 intervalů po 5 minutách (sloupec „*Intervaly*“), ke kterému byly přiřazeny ve sloupci „*Příslušný průtok*“ zprůměrované hodnoty průtoků v daných intervalech pomocí funkce „*VYHLEDAT*“.

Ve sloupci „*Průtok v intervalu*“ byly přiřazeny hodnoty průtoků i intervalům, pro které žádná měřená hodnota neexistovala zachováním průtoků z předešlého intervalu:

$$=KDYŽ(JE.ČÍSLO(E2);E2;F1)$$

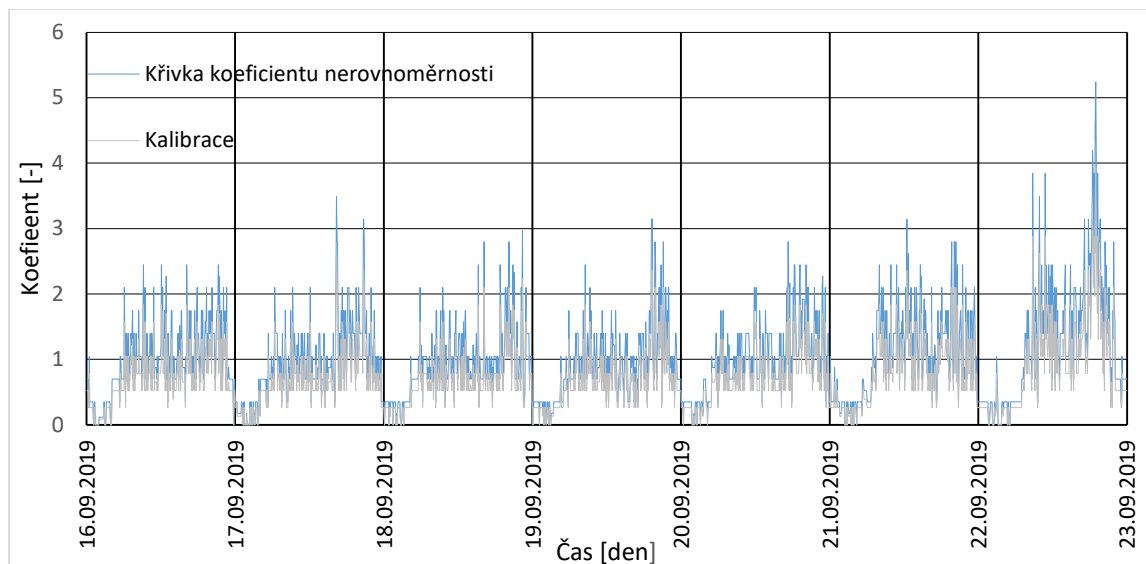
Ve sloupci „*Koeficient nerovnoměrnosti*“ byl získán výsledný koeficient hodinové nerovnoměrnosti v časovém kroku 5 minut vydělením jednotlivých hodnot průtoků jejich celkovou průměrnou hodnotou.

Tab. 10: Ukázka výpočtu koeficientů hodinové nerovnoměrnosti v časovém kroku 5 minut

Načítání intervalů [min]	Průměr průtoku pro interval [l/s]	Intervaly [min]	Příslušný průtok [l/s]	Průtok v intervalu [l/s]	Koeficient nerovnoměrnosti
5	0,20	5	0,2	0,20	0,69886
25	0,10	10	-	0,20	0,69886
30	0,30	15	-	0,20	0,69886
35	0,10	20	-	0,20	0,69886
65	0,10	25	0,1	0,10	0,34943
70	0,00	30	0,3	0,30	1,04830
75	0,00	35	0,1	0,10	0,34943

### 2.5.7.1 Nerovnoměrnost odběrů pro pásmo Jedomělice

Společnou křivku nerovnoměrnosti odběrů jsem doplnil pomocí postupu v kapitole 2.5.7 pro pásmo Jedomělice (obce Jedomělice, Pozdeň, Líský a Hřešice), které je zásobované z vodojemu Jedomělice a pro které je k dispozici měření na odtoku z vodojemu. Vytvořenou křivku nerovnoměrnosti (Obr. 15) jsem dále kalibroval podle měřených dat.



Obr. 15: Křivka hodinové nerovnoměrnosti pro pásmo Jedomělice

### 2.5.8 Kalibrace

Pro účely kalibrace jsem využil měřené tlaky a průtoky (SCADA) za období 16.-22. 9. 2019 ve vybraných místech sítě (celkem 11 časových řad).

Místa pro kalibraci průtoku v upravených oblastech jsou:

- odtok z VV Tuřany na Tuřany (Obr. 16),
- odtok z VV Tuřany na Studeněves (Obr. 17),
- průtok před obcí Zlonice na odtoku ze ZV Zlonice (Obr. 18),
- průtok za ATS Páleč (Obr. 19),
- odtok ze ZV Jedomělice na Jedomělice (Obr. 20),
- průtok před obcí Libovice (Obr. 21).

V upravených oblastech jsem použil jedno místo pro kalibraci tlaku na sání u ATS Libovice (místa s měřeným tlakem na výtlaku za ATS nelze pro kalibraci využít). Odchylka od měřených dat zde dosáhla 4,6 %.

Pro kontrolu, zda úpravy při kalibraci na upravené části modelu nemají vliv na neupravenou část modelu, jsem použil místa měření:

- průtoku ve vodoměrné šachtě Jemníky směrem na obce Knovíz, Podlešín, Zvoleněves a Želenice (Obr. 22),
- odtoku z VV Háje do tlakového pásma Slaný město (Obr. 23),
- odtoku z VV Háje do tlakového pásma Slaný ráj (Obr. 24),
- odtoku ze ZV Okrouhlík směrem do města (Obr. 25).

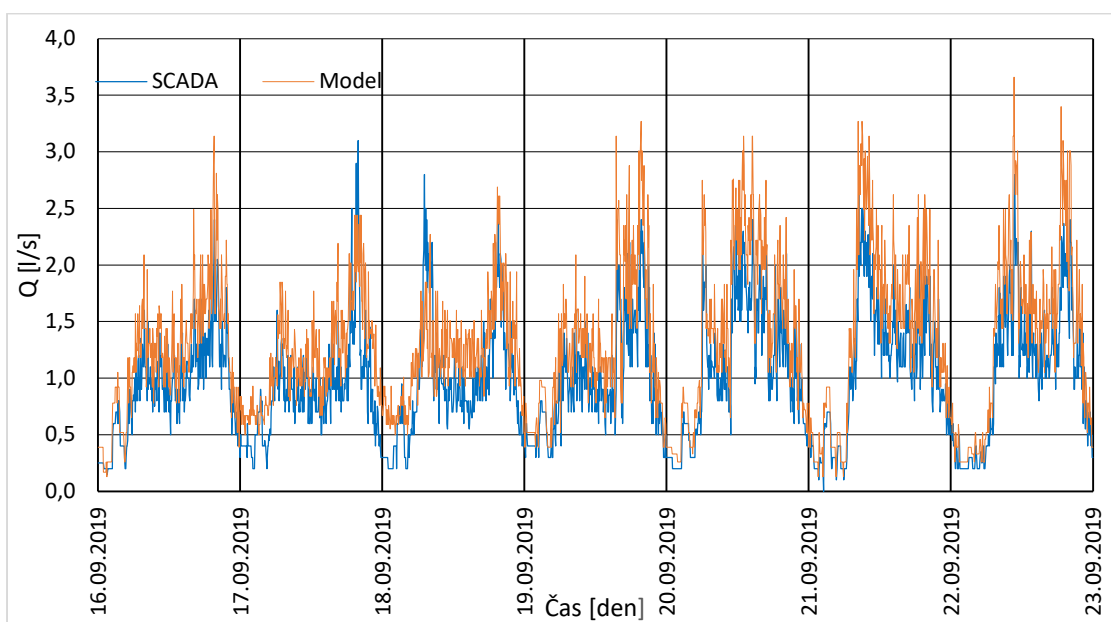
Měřená data jsem musel u každého místa měření převést na časový krok 5 minut způsobem popsaným v kapitole 2.5.7. Porovnání kalibrovaných výsledků modelu s naměřenými hodnotami je níže na Obr. 16 - Obr. 25.

V rámci kalibrace jsem v upravených oblastech měnil chybná propojení přidaných objektů, křivky čerpadel a nerovnoměrnosti odběrů. Dále jsem doplnil zpětné klapky u nátoků do objektů. Hodnoty součinitelů drsnosti u potrubí nebyly předmětem kalibrace, protože z původního nakalibrovaného modelu nebyly změněny v rámci úpravy.

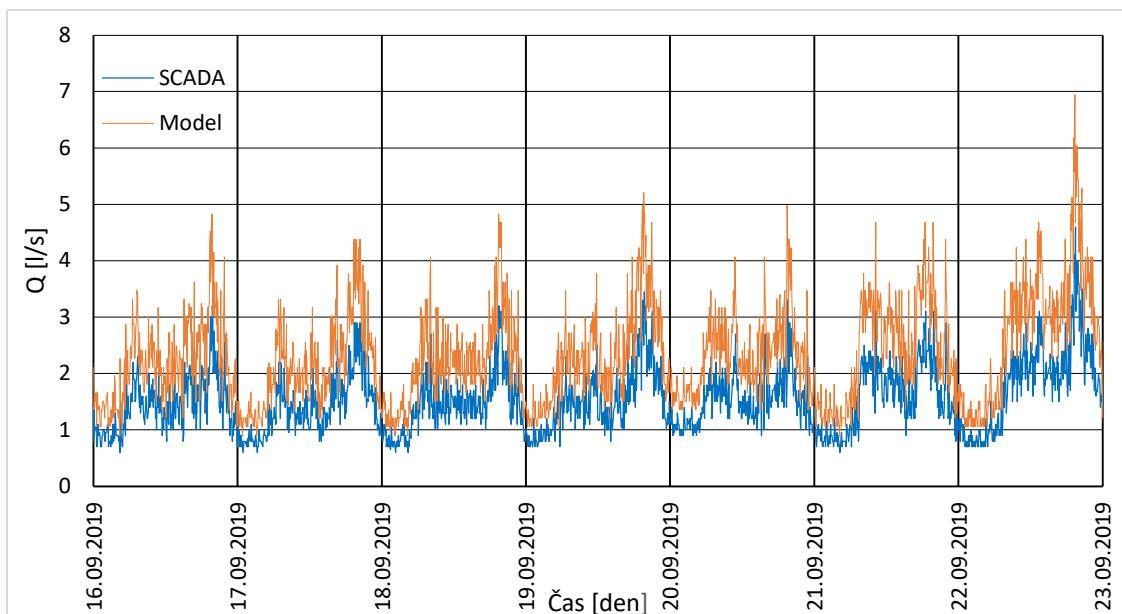
U ATS Páleč jsem měl k dispozici pouze data průtoků za rok 2021 (tlaky nebyly měřeny). Křivku čerpadla u ATS Páleč jsem vzhledem k chybějícím datům nakalibroval na hodnoty tlaků ve spotřebišti v rozmezí 15–60 m v. sl. (podle *Vyhlášky č. 428/2001 Sb. v platném znění*).

Pro obec Jedomělice jsem snížil celkové odběry úpravou koeficientu nerovnoměrnosti pro dané pásmo (viz Obr. 15), což vedlo k vyšší shodě s měřenými hodnotami.

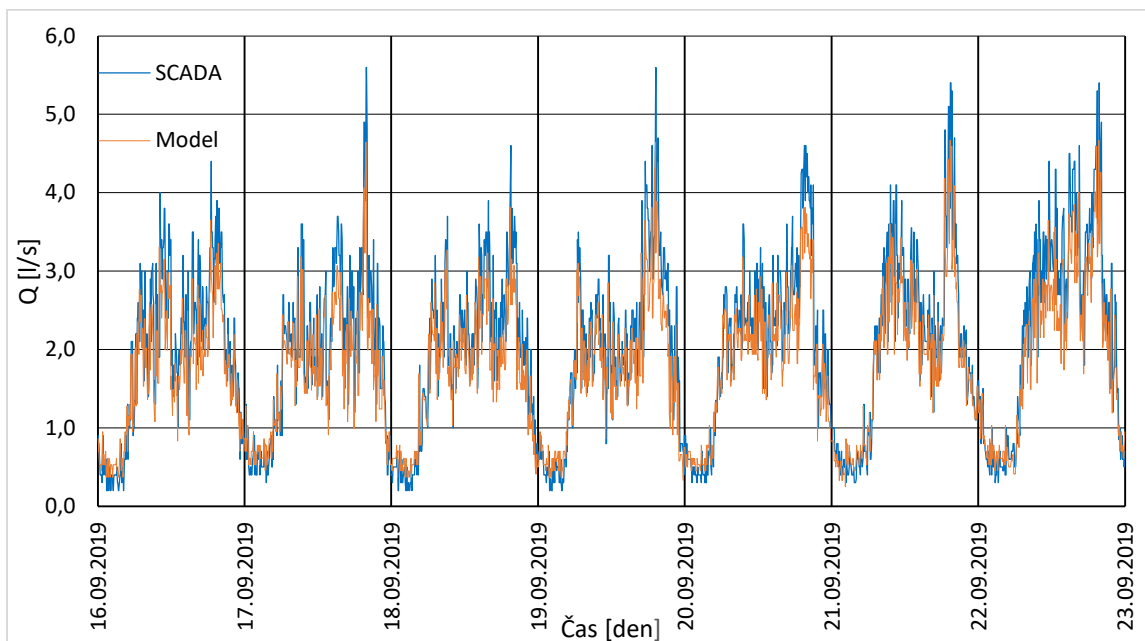
Pro snížení maximálních průtoků u odtoku ze zemního vodojemu Zlonice jsem zařadil u nátoků do akumulární nádrže Páleč ventil FCV k redukci průtoku. Tím došlo k rovnoměrnějšímu plnění a snížení maximálních průtoků, které se přiblížily měřeným hodnotám SCADA.



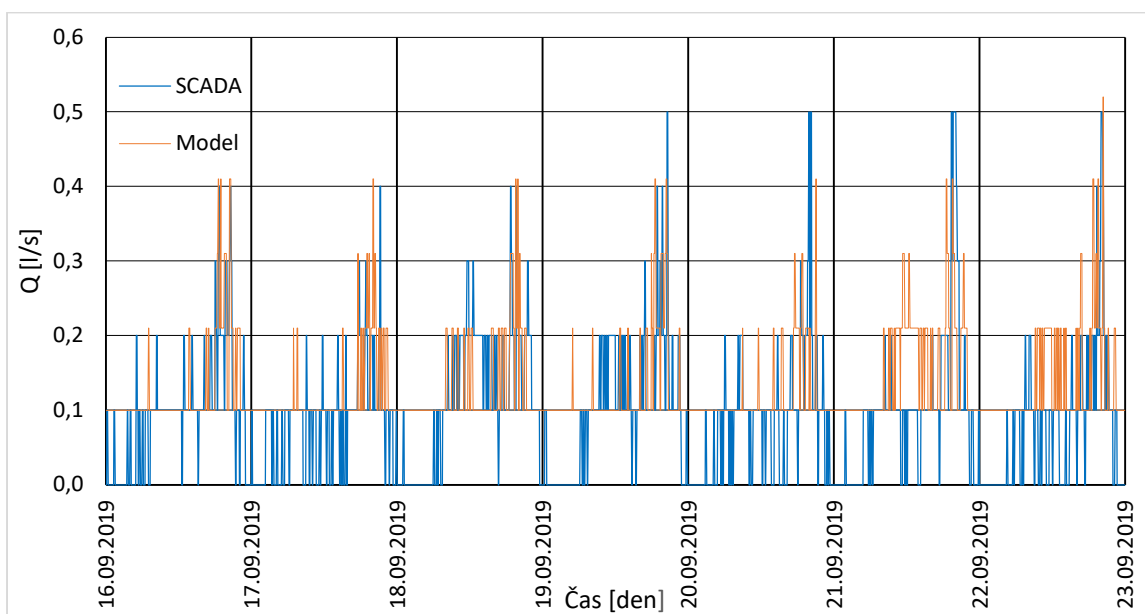
Obr. 16: Odtok z VV Tuřany na Tuřany



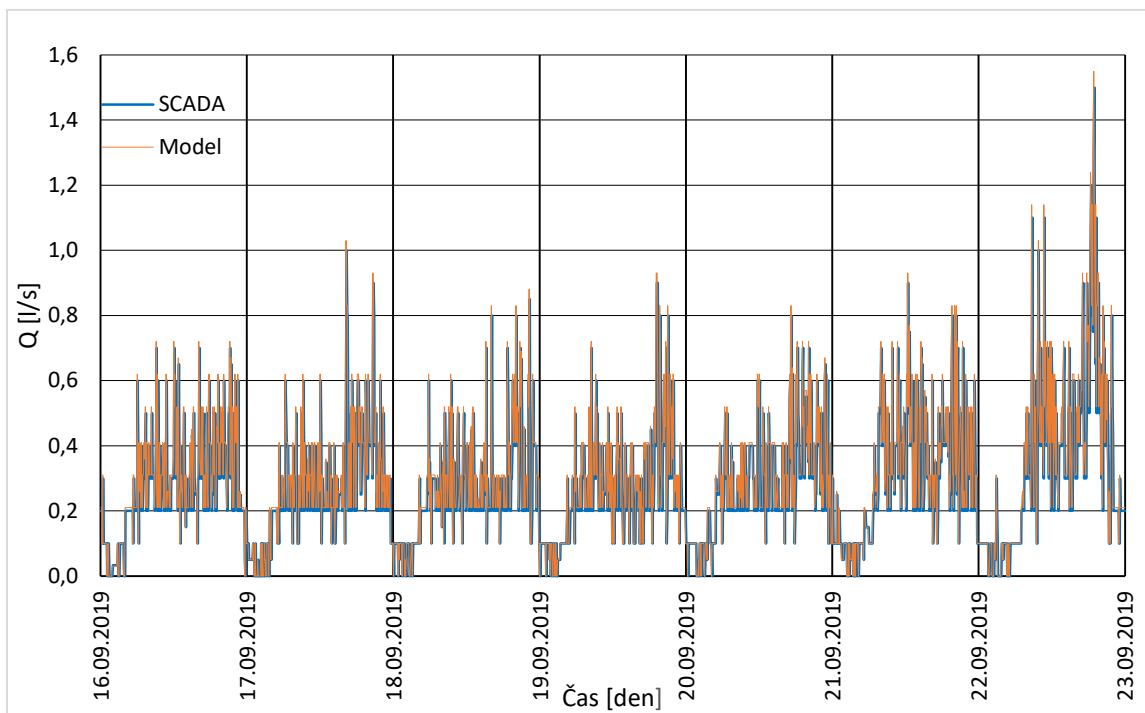
Obr. 17: Odtok z VV Tuřany na Studeněves



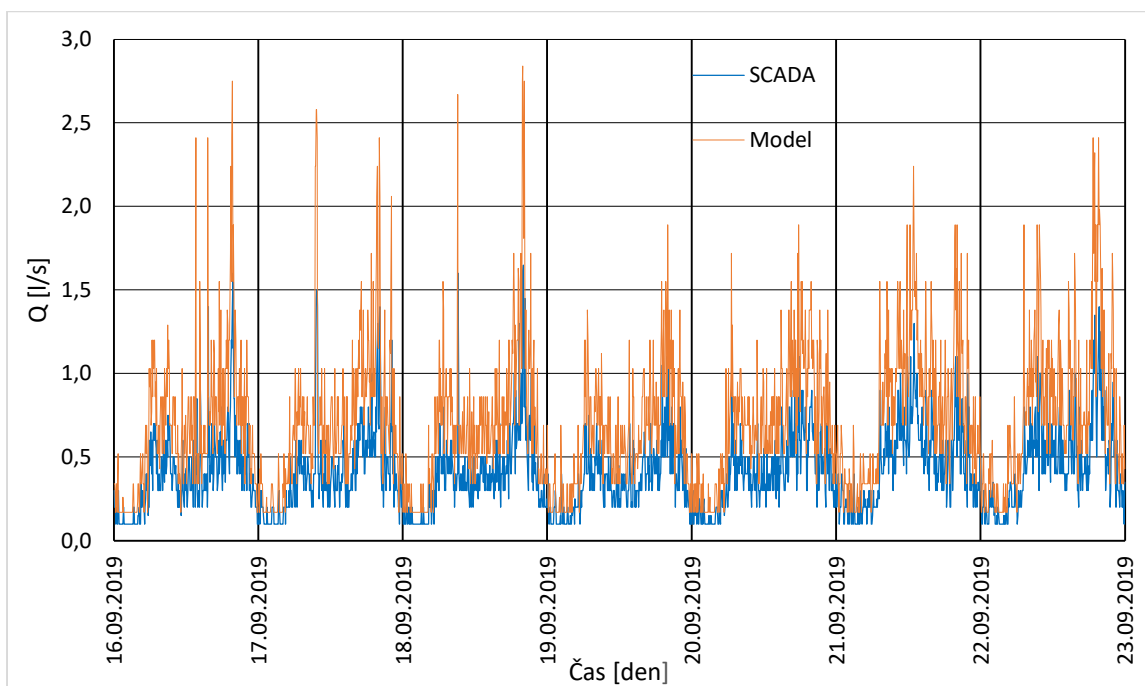
Obr. 18: Průtok před obcí Zlonice na odtoku ze ZV Zlonice



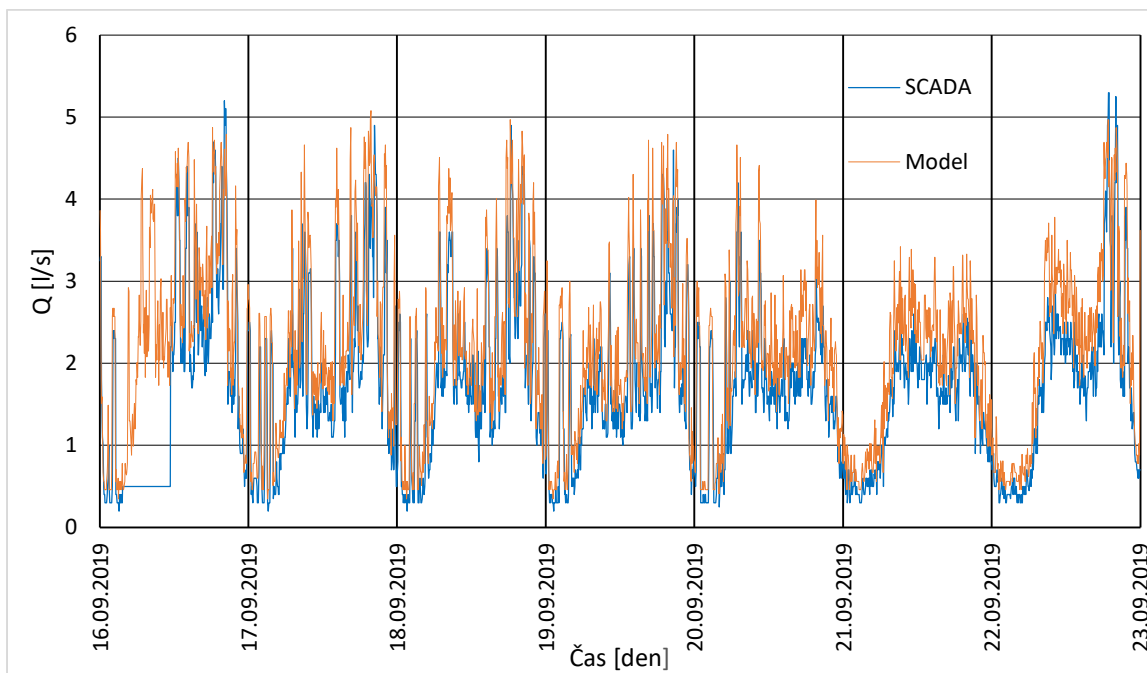
Obr. 19: Průtok za ATS Páleč



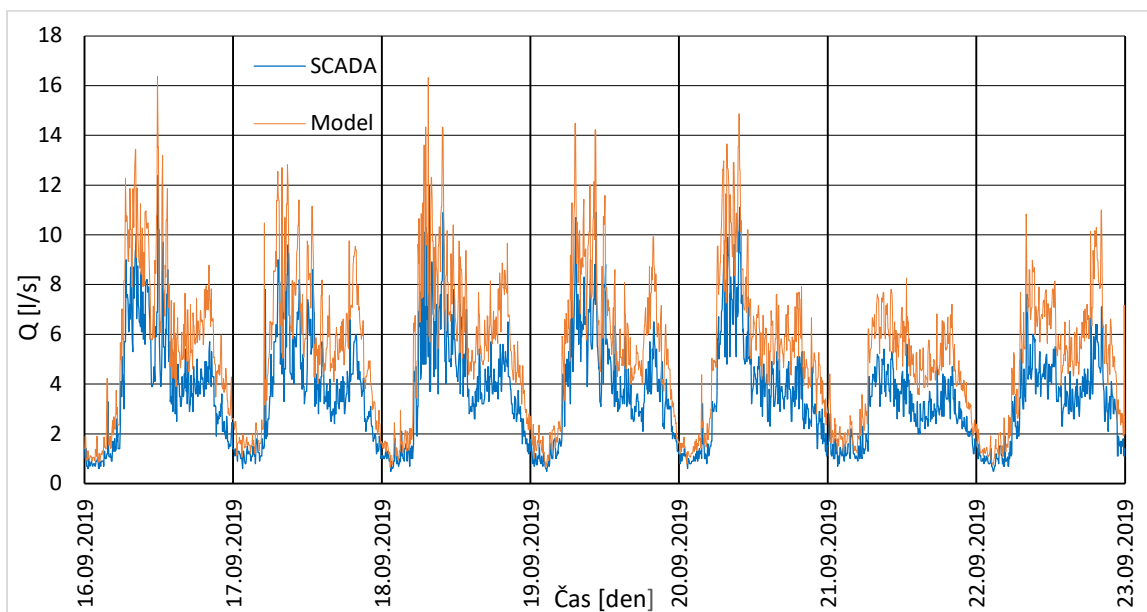
Obr. 20: Odtok ze ZV Jedomělice na Jedomělice



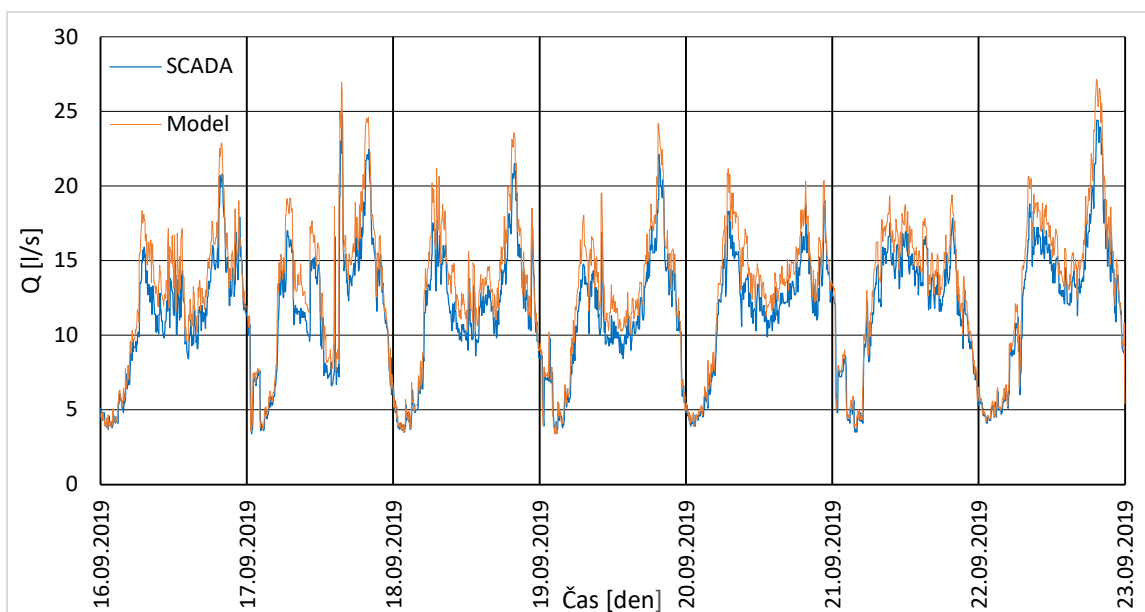
Obr. 21: Průtok před obcí Libovice



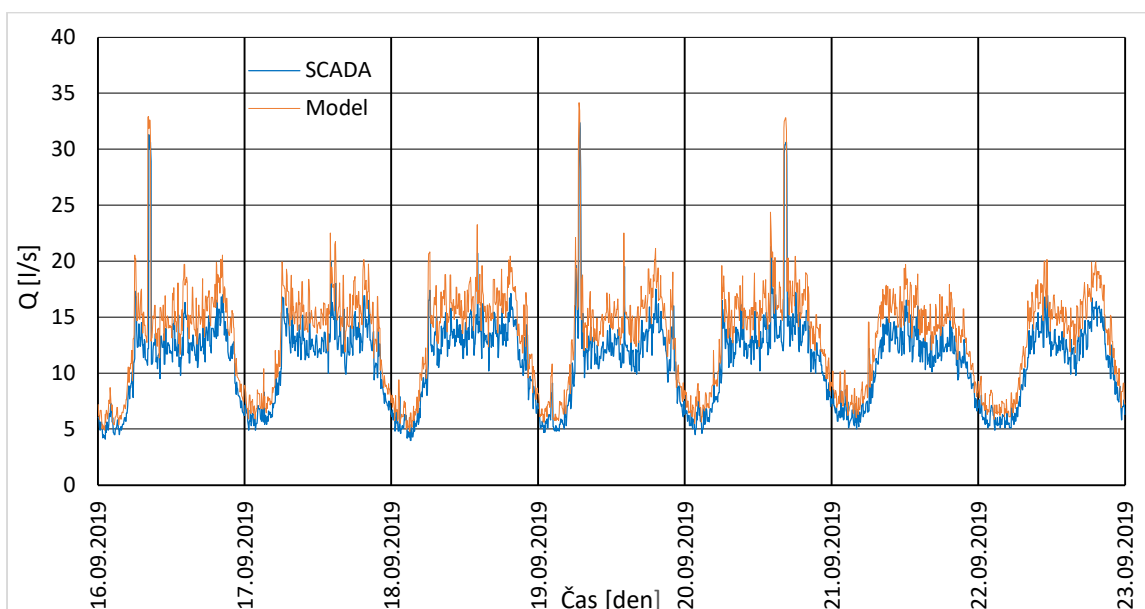
Obr. 22: Průtok ve vodoměrné šachtě Jemníky směrem na obce Knovíz, Podlešín, Zvoleněves a Želenice



Obr. 23: Odtok z VV Háje do tlakového pásma Slaný město



Obr. 24: Odtok z VV Háje do tlakového pásma Slaný háj



Obr. 25: Odtok ze ZV Okrouhlík směrem do města

## 2.5.9 Výsledky simulace

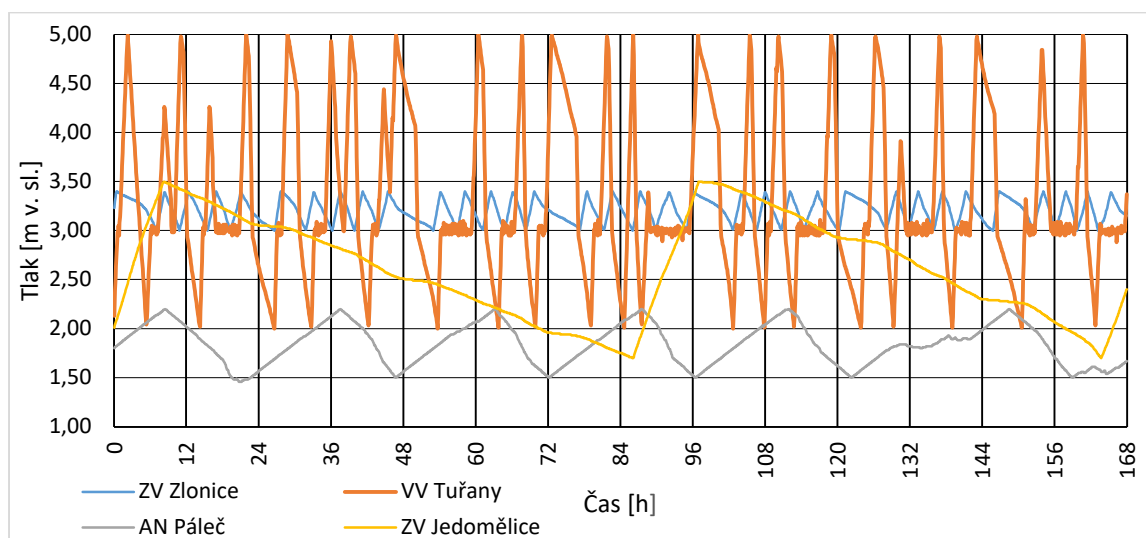
Výsledkem kalibrace je fungující model pro stávající stav. Po výpočtu model hlásí varovné zprávy, které se týkají všech FCV ventilů (na upravené části modelu jsem přidával pouze 1 FCV ventil v rámci kalibrace). Varovná zpráva se zobrazí pro každý čas simulace, kdy je průtok přes FCV ventil nižší než nastavená hodnota a nemá vliv na funkci modelu. FCV ventily byly do modelu přidány například pro účely zajištění nepřekročení maximálních odběrů ze



zdrojů vody podle jejich kapacity. Po kalibraci lze model považovat za dokončený pro možnost posouzení stávajícího stavu. Hotový model má 2875 uzlů, 3035 potrubí, 3 zdroje vody, 11 vodojemů a akumulčních nádrží, 12 čerpacích stanic a 33 ventilů.

### 2.5.9.1 Výsledky simulace doplněných objektů

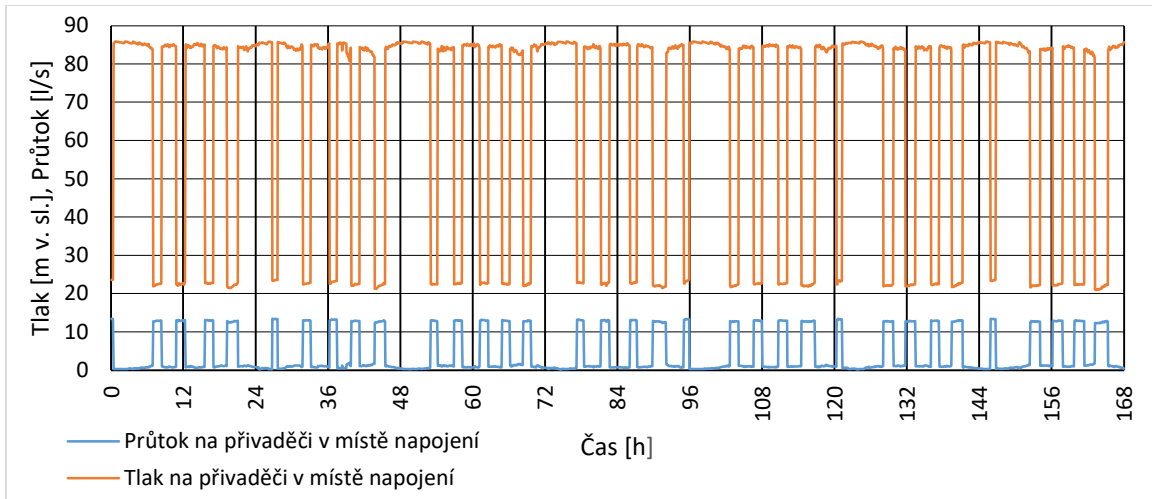
Správnou funkci doplněných objektů, pravidel řízení a nerovnoměrnosti odběru jsem ověřil v rámci kalibrace. Na Obr. 26 jsou průběhy hladin v doplněných vodojemech a akumulční nádrži, ke kolísání hladin dochází v rámci nastavených pravidel řízení. U zemního vodojemu Jedomělice dochází k poměrně dlouhé době prázdnění, což je dáno velkým využitelným objemem vodojemu vzhledem k nízké spotřebě vody u zásobovaných spotřebišť.



Obr. 26: Výsledek simulace průběhu hladin u doplněných vodojemů a akumulční nádrže

Všechny doplněné redukční ventily (Královice, Dřínov, Bakov, Libovice) plní svoji funkci redukce tlaku pod hranici 60 m v. sl. (viz Obr. 28 a Obr. 29 severně od města Slaného). Za redukčním ventilem v obci Dřínov dochází k poklesu tlaků pod 15 m v. sl. (viz Obr. 28), což není dáno funkcí redukčního ventilu, ale poklesem tlaků na přivaděči k zemnímu vodojemu Zlonice při jeho plnění pod hodnoty nastavení ventilu, kdy tlaky klesají v místě napojení na přivaděč až ke 23 m v. sl. (viz Obr. 27). Z důvodu převýšení odběrných uzlů až o 15 m zde tlaky klesají až pod 8 m v. sl. Doplněné redukční ventily Královice a Bakov jsou

napojeny na stejný přivaděč, ale v místech napojení jsou nejnižší tlaky na přivaděči vyšší a nedochází k poklesu tlaků ve spotřebištích. V místě napojení obce Královice na přivaděči jsou minimální hodnoty tlaků okolo 40 m v. sl. a nastavení redukčního ventilu je na 40 m v. sl. V místě napojení obce Bakov klesají tlaky na přivaděči ke 26 m v. sl. a nastavení redukčního ventilu je na 24 m v. sl., vzhledem k nižší nadmořské výšce odběrných uzlů ve spotřebišti nedochází k problémům s nízkými tlaky.



Obr. 27: Tlakové a průtokové poměry na přivaděči v místě napojení řadu k obci Dřínov

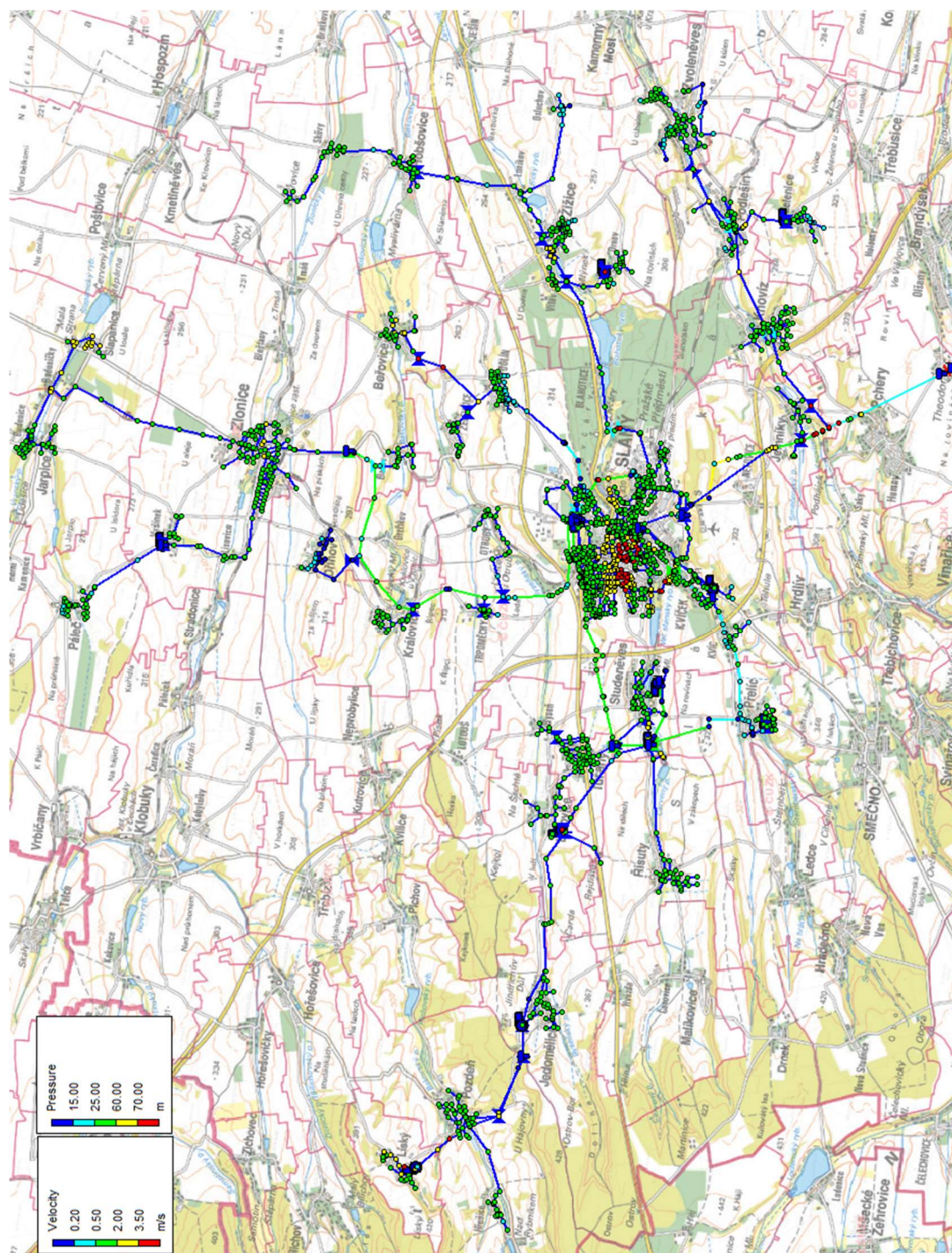
Doplněné automatické tlakové stanice Páleč (pro obec Páleč) a Libovice (pro odběrné uzly jižně od obce) zajišťují dostatečné tlaky ve spotřebištích po celou dobu simulace (viz Obr. 28 a Obr. 29). Porovnání měřených a modelovaných hodnot průtoků za ATS Páleč je na Obr. 19.

Výsledky doplněné nerovnoměrnosti odběrů pro pásmo Jedomělce charakterizují křivky měřených hodnot průtoků a výsledných simulovaných hodnot průtoků z modelu na odtoku ze zemního vodojemu Jedomělce na Obr. 20.

### 2.5.9.2 Výsledky simulace stávajícího stavu

Na Obr. 28 jsou výsledky tlaků a rychlostí proudění v čase nízkých odběrů (2. den simulace ve 3:30), kdy lze očekávat maximální hodnoty tlaků. Hodnoty tlaků vyšší než 70 m v. sl. jsou u odběrných míst ve městě Slaný od centra

směrem na východ, v severní části obce Dolín a před redukčním ventilem před obcí Studeněves.

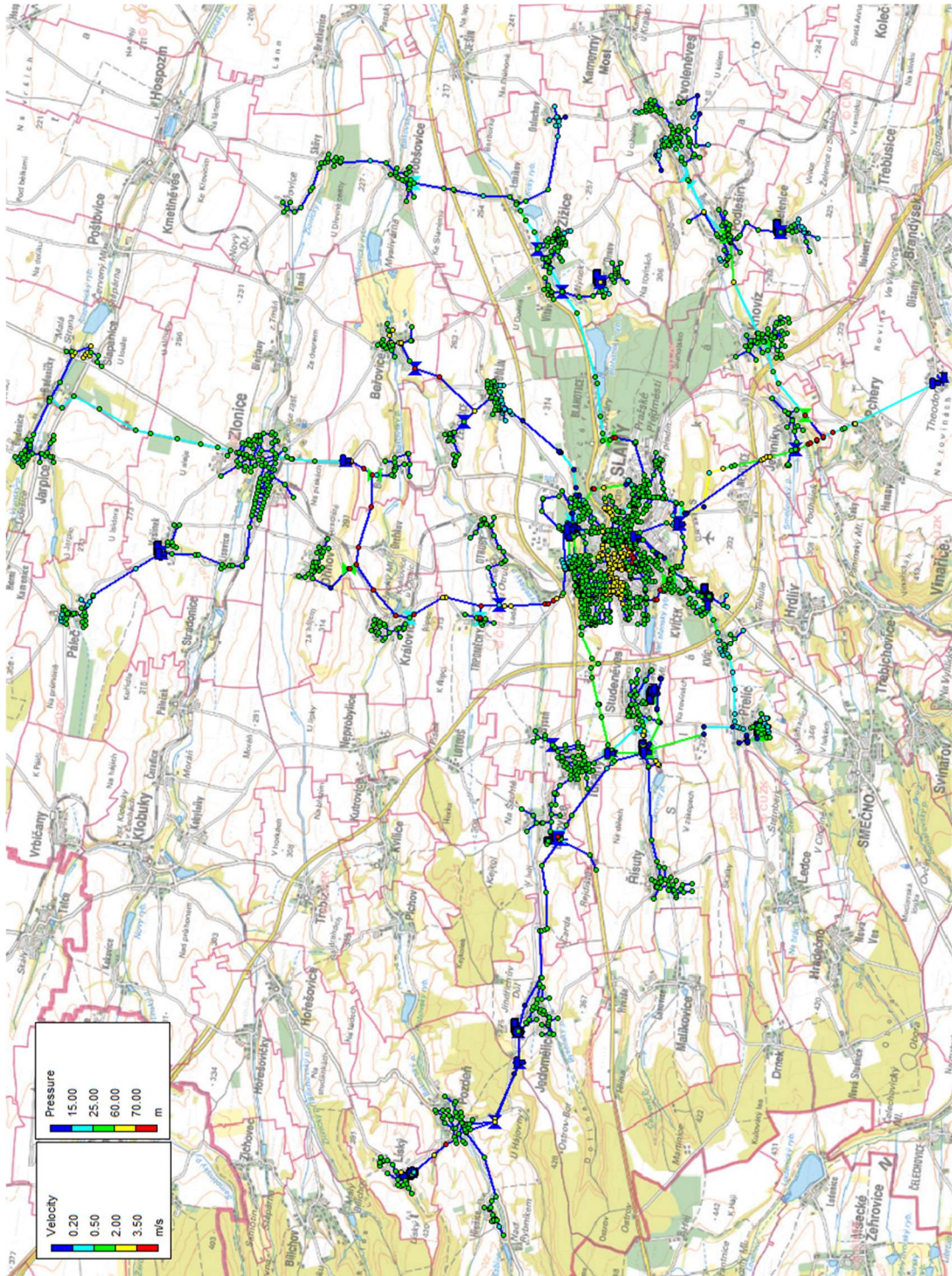


Obr. 28: Stav tlaků a rychlostí proudění na distribuční síti při nízkých odběrech

Na Obr. 29 jsou výsledky tlaků a rychlostí proudění v čase vysokých odběrů (2. den simulace v 19:30), kdy lze očekávat nejnižší hodnoty tlaků. Hodnoty nižší než 15 m v. sl. se vyskytují v obci Dřínov (podrobněji v kapitole 2.5.9.1),



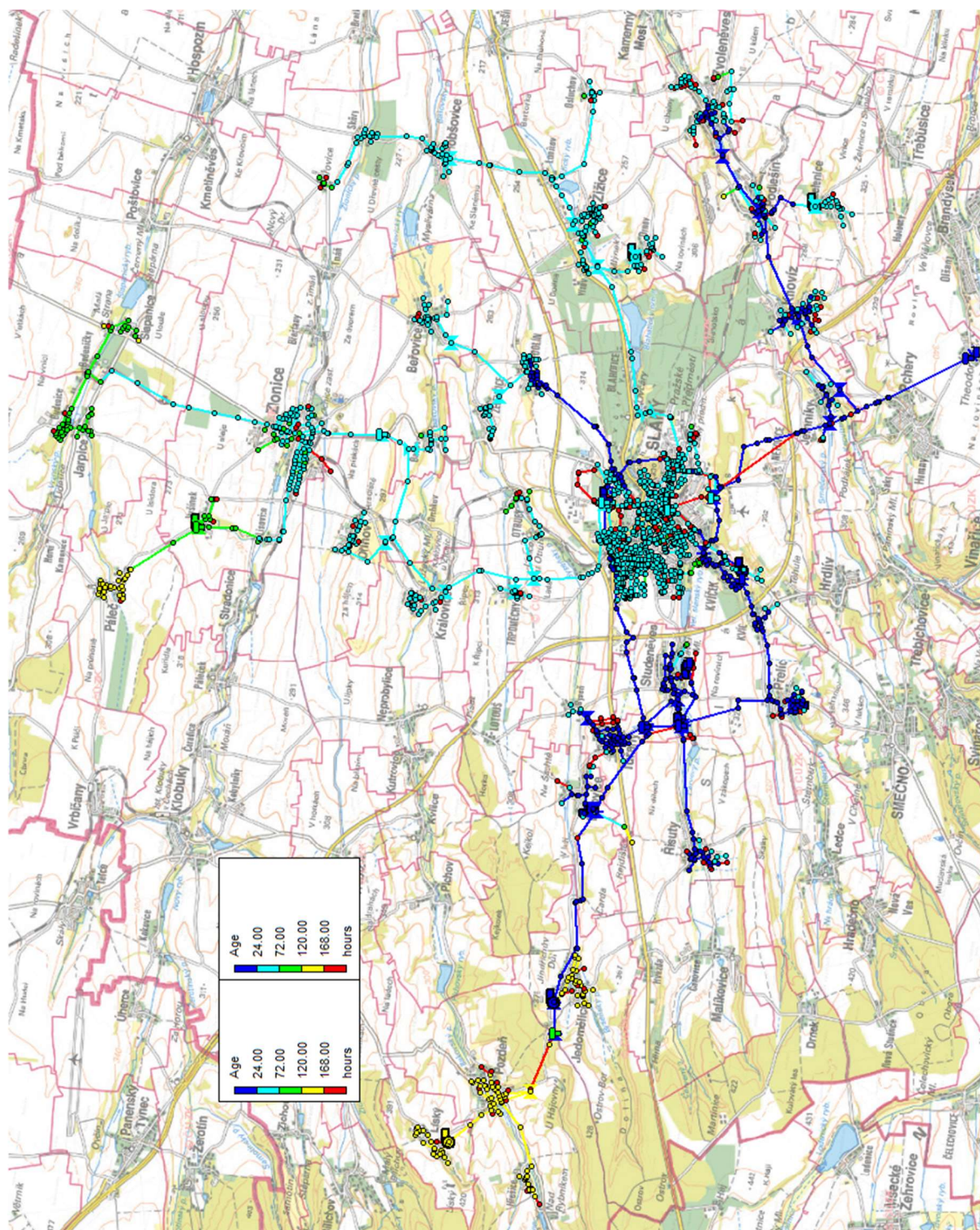
v okrajových částech obce Zvoleněves, v části obce Přelíc před ATS, v části obce Osluchov a v malé oblasti v severovýchodní části města Slaného.



Obr. 29: Stav tlaků a rychlostí proudění na distribuční síti při vysokých odběrech  
 Na Obr. 30 jsou výsledky doby zdržení vody na konci času simulace (168 hodin).  
 Vyšších dob zdržení nad 5 dnů dosahuje voda především v okrajových částech



distribuční síť. V obcích Pozdeň, Líský, Hřešice a Jedomělice je dáno vysoké stáří vody dlouhou dobou zdržení vody v zemním vodojemu Jedomělice v kombinaci se vzdáleností spotřebišť od zdrojů vody. Doba zdržení nad 5 dní je dosažena také v obci Páleč, kde je stáří vody dáno vzdáleností spotřebišť a zdržením vody v akumulární nádrži Páleč.



Obr. 30: Doba zdržení vody v distribuční síti

## **2.6 Rozvojové plochy**

Do zkalibrovaného modelu jsem po konzultaci s provozovatelem vodovodu přidal 4 rozvojové plochy (podrobněji v kapitole 2.6.1 a v Příloze č. 3), které se nacházejí v katastrálním území Slaného a Kvíce. Účelem bylo posouzení výhledového stavu a případně návrh opatření pro zajištění požadovaných tlakových a průtokových poměrů.

### **2.6.1 Modelování připojovaných rozvojových ploch**

Vedení současné sítě jsem z GIS exportoval do softwaru Autocad, kde jsem doplnil vedení vodovodů dle podkladů o rozvojových plochách. Následně jsem doplněnou síť exportoval pomocí softwaru Epcad do Epanetu. Informace o plánovaných počtech odběratelů jsem získal od provozovatele sítě nebo z technických zpráv k záměrům na rozvojových plochách. Nadmořské výšky uzlů jsem doplnil na základě podélných profilů navržených řadů nebo na základě údajů digitálního modelu terénu 5G, od kterých jsem odečetl hloubku uložení potrubí 1,6 m.

Průměrný odběr pro jednoho obyvatele u rozvojových ploch jsem určil jako součet specifické spotřeby vody fakturované domácnostem za rok 2019 navýšené o množství vody nefakturované. Pro Slaný vychází takto určená specifická potřeba 110,08 l/os/den.

U rozvojových ploch, kde nebyly specifikovány materiály a dimenze řadů, jsem se řídil *Technickým standardem vodohospodářských staveb v působnosti vlastníka infrastruktury, společnosti Vodohospodářské sdružení obcí Slánské oblasti (VSOSO) a provozovatele, společnosti Slavos Slaný, s.r.o. (Slavos)*. U nových řadů je možné navrhovat potrubí pouze z tvárné litiny nebo vysokohustotního polyethylenu. Nejmenší možný profil vodovodního řadu je DN 80 [57].

#### **2.6.1.1 Lokalita Na Dolíkách**

Rozvojová plocha Na Dolíkách (viz SM1 na Obr. 31 a 1 v Příloze č. 3) o rozloze 11,27 ha se nachází v západní části města Slaného a je vymezena ze severu ulicemi Otakara Jaroše a Kybalova, z východu a jihu ulicemi Petra Hrubého a



Smetáčkova. Na základě informací od provozovatele by měl v lokalitě vzniknout odběr vody pro 2500 EO.

Podle územního plánu je hlavní využití území pro bytové domy s maximální výškou zástavby 4 nadzemní podlaží. V rámci územní studie jsou z hlediska výstavby navrženy plochy pro výstavbu bytových domů a plochy pro občanskou vybavenost [58].



Obr. 31: Výřez územního plánu s rozvojem plochou Na Dolíkách [52]

V územní studii řešené lokality jsou znázorněny možné body napojení lokality na stávající řad, dále je doporučena dimenze potrubí DN 150 mm s materiálem z tvárné litiny. Řady by měly být v rámci lokality zokruhované s vedením v přidruženém uličním prostoru mezi budovami a komunikací [58].

Na části území je navržena výstavba tří čtyřpodlažních bytových domů, jejichž umístění a návrh komunikací vychází z územní studie. Pro tuto část mám k dispozici dokumentaci pro společné povolení *Bytové domy – Královský vršek Slaný*, ze které jsem převzal místo napojení na stávající síť, trasy, dimenze a materiál navržených řadů (viz Obr. 32 červeně). Vodovodní řady jsou navrženy z polyethylenu 90 x 8,2 mm s místem napojení na stávající síť v ulici Petra Hrubého na litinové potrubí DN 80 mm. U navržených řadů se předpokládá jejich prodloužení s rozvojem lokality [59].



*Obr. 32: Doplnění vodovodních řadů a napojení na stávající vodovodní síť na podkladu urbanistické situace u rozvojové plochy Na Dolíkách (nové řady jsou světle modře, nové řady doplněné ze situace dokumentace pro společné povolení jsou červeně) [58]*

Vedení navržených vodovodních řadů jsem doplnil v softwaru Autocad podložením situace dokumentace pro společné povolení srovnané podle hranic parcel katastru nemovitostí, ke kterému jsem doplnil možné vedení nových řadů v lokalitě na základě podložení urbanistické studie. Následně jsem novou síť přidal ke stávajícímu modelu v Epanetu, celkem jsem přidal 1492 m nového potrubí. U všech potrubí jsem doplnil vnitřní průměr 73,6 mm a koeficient drsnosti pro plastová potrubí 0,005 (viz Tab. 5), pro sjednocení materiálu a dimenzí v celé lokalitě jsem se rozhodl vzhledem k předpokladu prodloužení navržených řadů v dokumentaci pro společné povolení. Údaje o odběrech v jednotlivých uzlech jsou v Tab. 11. Rozložení obyvatel v rozvojové ploše není prozatím známé (mimo navržené 3 bytové domy), proto jsem rozložil odběry rovnoměrně mezi nové uzly. Celkem při specifické potřebě vody 110,08 l/os/den činí průměrná denní potřeba pro tuto rozvojovou plochu 275 191 l/den (3,185 l/s). Výšky uzlů jsem doplnil na základě digitálního modelu terénu 5G. Křivku hodinové nerovnoměrnosti jsem ponechal shodnou s křivkou pro dané pásmo.



Tab. 11: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové lokality Na Dolíkách

Uzel	Počet EO [-]	Odběr [l/den]	Odběr [l/s]
doliky2	357,14	39 313	0,455
doliky3	357,14	39 313	0,455
doliky4	357,14	39 313	0,455
doliky5	357,14	39 313	0,455
doliky6	357,14	39 313	0,455
doliky7	357,14	39 313	0,455
doliky8	357,14	39 313	0,455
<b>Celkem</b>	<b>2 500,00</b>	<b>275 191</b>	<b>3,185</b>

### 2.6.1.2 Blahotice - Slánský mlýn

Rozvojová plocha Blahotice – Slánský mlýn se nachází ve východní části města Slaného jižně od ulice Lázeňská (viz Obr. 33 a 2 v Příloze č. 3). Z řešeného území tvoří 3,77 ha zastavitelné území (plochy SM6, SM7, SM8, SM9, SM10, SM11).

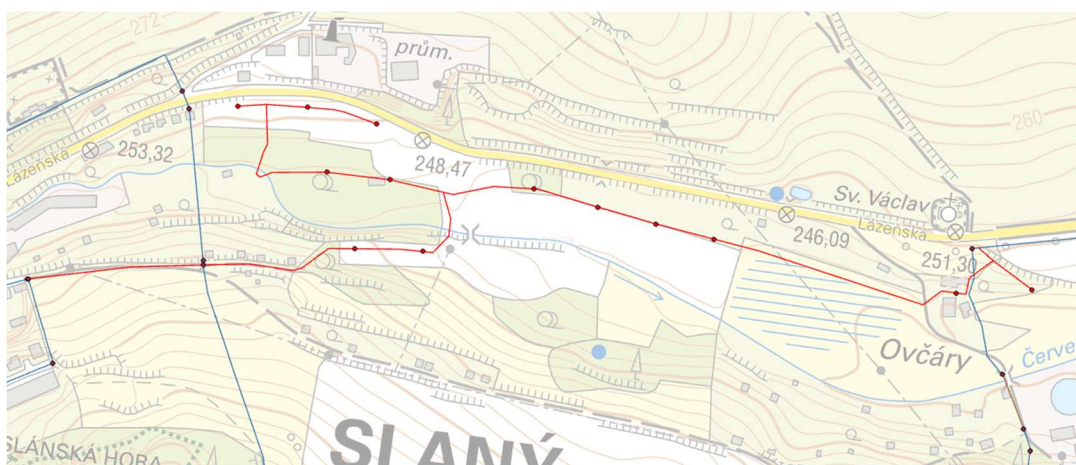


Obr. 33: Využití území rozvojové lokality Blahotice – Slánský mlýn dle územního plánu [60]

Trasy, dimenze, materiál a výškové vedení vodovodních řadů v lokalitě jsem převzal z dokumentace pro společné povolení *Bytový soubor Slaný – Slánský mlýn*, která je v souladu s územní studií rozvojové plochy. V lokalitě je navržena výstavba 12 čtyřpodlažních bytových domů a restaurace.

Lokalita bude zásobována ze zemního vodojemu Okrouhlík. Dle technické zprávy se počítá se zokruhováním navrženého řadu napojením na stávající řady na 2 místech: na západním okraji území na litinový vodovod DN 100 mm a na

východě území na řad z PVC DN 160 mm za redukčním ventilem. Vedení nového řadu a odběrné uzly v místě přípojek jsou na Obr. 34 červeně. Navržené potrubí je z polyethylenu 160 x 14,6 mm [61].



Obr. 34: Vedení nových vodovodních řadů v rozvojové ploše Blahotice – Slánský mlýn

Tab. 12: Výpočet potřeby vody pro restauraci na rozvojové ploše Blahotice – Slánský mlýn

Vybavení	Roční potřeba vody [m <sup>3</sup> /prac./směna], [m <sup>3</sup> /směna]	Pracovníků na směnu	Počet směn	Potřeba vody [m <sup>3</sup> /rok]	Potřeba vody [l/den]	Potřeba vody [l/s]
Výčep, podávání studených jídel a teplých jídel na pracovníka za směnu	80	8	2	1280	3507	0,041
Mytí skla za směnu	60		2	120	329	0,004
<b>Celkem</b>				<b>1400</b>	<b>3836</b>	<b>0,044</b>

Dle dokumentace pro společné povolení bude v bytových domech zásobováno celkem 1236 EO. Dispoziční uspořádání domů je stejné, proto pro každý bytový dům uvažují 103 EO (výpočet potřeby vody je v Tab. 13). Při specifické potřebě vody 110,08 l/os/den vychází průměrná potřeba vody pro bytové domy 136 059 l/den (1,58 l/s). Výpočet potřeby vody pro restauraci na základě směrných čísel roční potřeby vody uvedených ve Vyhlášce č. 120/2011 Sb., v platném znění je v Tab. 12, kde potřeba vody vychází 3 836 l/den (0,04 l/s). Celkem činí průměrná potřeba vody pro rozvojovou plochu 1,62 l/s, hodnota je o 0,21 l/s vyšší než z podkladů dokumentace pro společné povolení, kde je

výpočet potřeby vody pro bytové domy proveden podle *Vyhlášky č. 120/2011 Sb., v platném znění.*

*Tab. 13: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn*

Uzel	Odběrné objekty	Počet EO [-]	Odběr [l/den]	Odběr [l/s]
mlyn_2	BD	103	11338	0,131
mlyn_3	BD	103	11338	0,131
mlyn_4	-	-	-	-
mlyn_5	BD	103	11338	0,131
mlyn_6	BD	103	11338	0,131
mlyn_7	-	-	-	-
mlyn_8	BD	103	11338	0,131
mlyn_9	BD	103	11338	0,131
mlyn_10	BD	103	11338	0,131
mlyn_11	BD	103	11338	0,131
mlyn_12	BD	103	11338	0,131
mlyn_13	BD	103	11338	0,131
mlyn_14	BD	103	11338	0,131
mlyn_15	Restaurace	Restaurace	3836	0,044
mlyn_16	-	-	-	-
mlyn_17	-	-	-	-
mlyn_18	BD	103	11338	0,131
<b>Celkem</b>		<b>1236 + restaurace</b>	<b>139890</b>	<b>1,619</b>

Vedení nových vodovodních řadů jsem doplnil na základě podložení situace z dokumentace společného povolení, celková délka nového potrubí je 1583 m. V Epanetu jsem musel doplnit uzel na stávající síti v místě napojení na východní straně lokality. Dále jsem doplnil výšky uzlů podle podélného profilu, vnitřní průměr potrubí 130,8 mm, koeficienty drsnosti 0,005 dle Tab. 5. Odběry jsem rozložil do 12 uzlů v místě přípojek k bytovým domům, odběr restaurace jsem doplnil zvlášť v místě přípojky. Křivku hodinové nerovnoměrnosti jsem ponechal stejnou pro dané tlakové pásmo.

### 2.6.1.3 Karla Havlíčka Borovského

Rozvojová plocha Karla Havlíčka Borovského se nachází v jižní části města Slaného (v k. ú. Kvíc) podél ulice Karla Havlíčka Borovského severně od železniční trati. Z řešeného území jsou zastavitelné plochy BI19 o ploše 0,26 ha a SM5 o ploše 2,34 ha (viz Obr. 35 a 3 v Příloze č. 3).



Obr. 35: Výřez územního plánu s rozvojovou plochou Karla Havlíčka Borovského [52]

Pro možnost připojení výše uvedených ploch dojde k propojení vodovodního řadu z litiny DN 150 mm v ulici Karla Havlíčka Borovského, který je ukončen hydrantem severně od rozvojové plochy, s litinovým vodovodním řadem DN 200 mm situovaným jižně za železničním podjezdem. Propojení bude provedeno potrubím z tvárné litiny DN 150 mm, na severu prodloužením stávajícího řadu a na jihu vysazením odbočky poblíž stávající armaturní šachty. Z důvodu zamezení propojení dvou tlakových pásem bude nutné na jedné straně nový řad uzavřít, varianty budou prověřeny pomocí matematického modelu. Trasy, dimenze, materiál a výškové vedení tohoto vodovodního řadu jsem převzal z dokumentace pro stavební povolení *Vodovodní řad K. H. Borovského* [62].

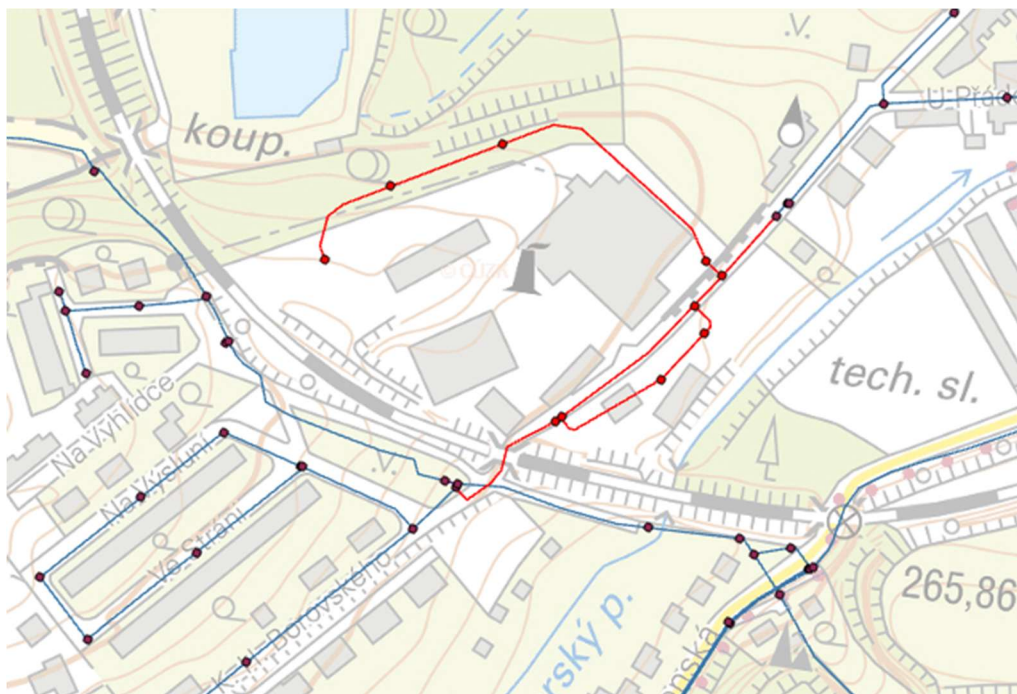
Na ploše BI19 je plánována v souladu s územním plánem výstavba 2 řadových dvoupodlažních rodinných domů s obytným podkrovím (celkem 8 rodinných domů o 24 bytových jednotkách). Trasy, dimenze, materiál a výškové vedení řadu na této ploše jsem převzal z dokumentace pro společné povolení *Riverside 2*. K napojení rodinných domů je navržen nový řad z polyethylenu 90 x 8,2 mm, který se napojí ve 2 místech na navržený řad z litiny DN 150 mm [63].

Na ploše SM5 je plánována výstavba pěti pětipodlažních bytových domů v jednotlivých etapách. Pro první etapu (bytový dům o 41 bytových jednotkách) mám k dispozici vedení přípojky. Pro ostatní etapy mám k dispozici pouze trasu vedení řadu v lokalitě ze situace širších vztahů z dokumentace pro stavební



povolení *Vodovodní řad K. H. Borovského*. Dimenze řadu bude předmětem návrhu v rámci matematického modelu [62].

Vedení nových řadů a odběrné uzly jsou na Obr. 36 červeně.



Obr. 36: Vedení nových vodovodních řadů v rozvojové ploše Karla Havlíčka Borovského

V rodinných domech na ploše BI19 je dle dokumentace pro společné povolení uvažováno se 3 EO na bytovou jednotku a rezervou 2 EO na rodinný dům (celkem 88 EO), výpočet je v Tab. 15. Při specifické spotřebě vody 110,08 l/os/den vychází průměrná celková potřeba vody pro rodinné domy 9 687 l/den (0,11 l/s). Hodnota je o 0,01 l/s vyšší než z podkladů dokumentace pro stavební povolení, kde je výpočet potřeby vody proveden podle *Vyhlášky č. 120/2011 Sb., v platném znění* [63].

Počty bytových jednotek a EO (dle přílohy dokumentace pro stavební povolení *Vodovodní řad K. H. Borovského*) v jednotlivých bytových domech na ploše SM5 jsou uvedeny v Tab. 15, celkem se jedná o 224 bytových jednotek se 764 EO. V jednom z bytových domů je navržena kavárna, podrobný výpočet potřeby vody na základě *Vyhlášky č. 120/2011 Sb., v platném znění* je v Tab. 14. Při specifické spotřebě vody 110,08 l/os/den vychází průměrná celková potřeba vody pro bytové domy 82 120 l/den (0,95 l/s). Pro plochu SM5 činí celkem

s potřebou vody pro kavárnu průměrná potřeba vody 1 l/s, hodnota je o 0,09 l/s vyšší než z přílohy dokumentace pro stavební povolení, kde byla uvažována hodnota 100 l/EO/den [62].

Celková potřeba vody pro celou rozvojovou plochu činí 1,11 l/s.

Tab. 14: Výpočet potřeby vody pro kavárnu na rozvojové ploše K. H. Borovského

Vybavení	Roční potřeba vody [m <sup>3</sup> /prac./směna], [m <sup>3</sup> /směna]	Pracovníků na směnu	Počet směn	Potřeba vody [m <sup>3</sup> /rok]	Potřeba vody [l/den]	Potřeba vody [l/s]
Výčep, podávání studených jídel na pracovníka za směnu	60	4	2	480	1315	0,015
Výčepní stoličky za směnu	450		2	900	2466	0,029
Mytí skla za směnu	60		2	120	329	0,004
<b>Celkem</b>				<b>1500</b>	<b>4110</b>	<b>0,048</b>

Vedení nových vodovodních řadů jsem doplnil podložením situací z výše zmíněných dokumentací. Délky doplněných potrubí jsou v ulici Karla Havlíčka Borovského 216,5 m, pro napojení plochy BI19 108 m, pro napojení plochy SM5 258 m. V Epanetu jsem doplnil výšky uzlů pro nové řady v ulici Karla Havlíčka Borovského a na ploše BI19 z dostupných podkladů. Na ploše SM5 jsem doplnil výšky uzlů na základě digitálního modelu terénu 5G. Dále jsem doplnil vnitřní průměry a koeficienty drsnosti potrubí dle Tab. 5:

- pro řad v ulici Karla Havlíčka Borovského 150 mm a 0,1 (tvárná litina),
- pro řad na ploše BI19 73,6 mm a 0,005 (polyethylen),
- řad na ploše SM5 navrhuji z polyethylenu (koef. drsnosti 0,005) o vnitřním průměru 90 mm.

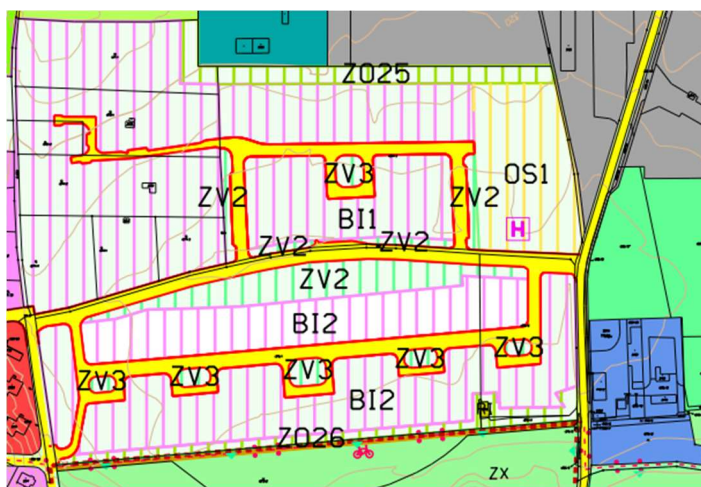
Odběry na ploše BI19 jsem rozdělil do 2 odběrných uzlů, vždy za celý řadový dům. Odběry na ploše SM5 jsem zadal pro každý bytový dům v místě přípojky (viz Tab. 15). Křivku hodinové nerovnoměrnosti jsem ponechal stejnou pro dané tlakové pásmo.

Tab. 15: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové plochy K. H. Borovského

Uzel	Odběrné objekty	Počet EO [-]	Odběr [l/den]	Odběr [l/s]
khb_1	-	0	0	0,00
khb_2	RD na BI19, 12 BJ	44	4843	0,06
khb_3	RD na BI19, 12 BJ	44	4843	0,06
khb_4	-	0	0	0,00
khb_6	-	0	0	0,00
khb_7	BD na SM5, 79 BJ	253+kavárna	31959	0,37
khb_8	BD na SM5, 28 BJ	90	9907	0,11
khb_9	BD na SM5, 28 BJ	97	10677	0,12
khb_10	BD na SM5, 48 BJ	163	17942	0,21
khb_11	BD na SM5, 41 BJ	143	15741	0,18
<b>Celkem</b>		<b>834 + kavárna</b>	<b>95913</b>	<b>1,11</b>

### 2.6.1.4 Na Hájích

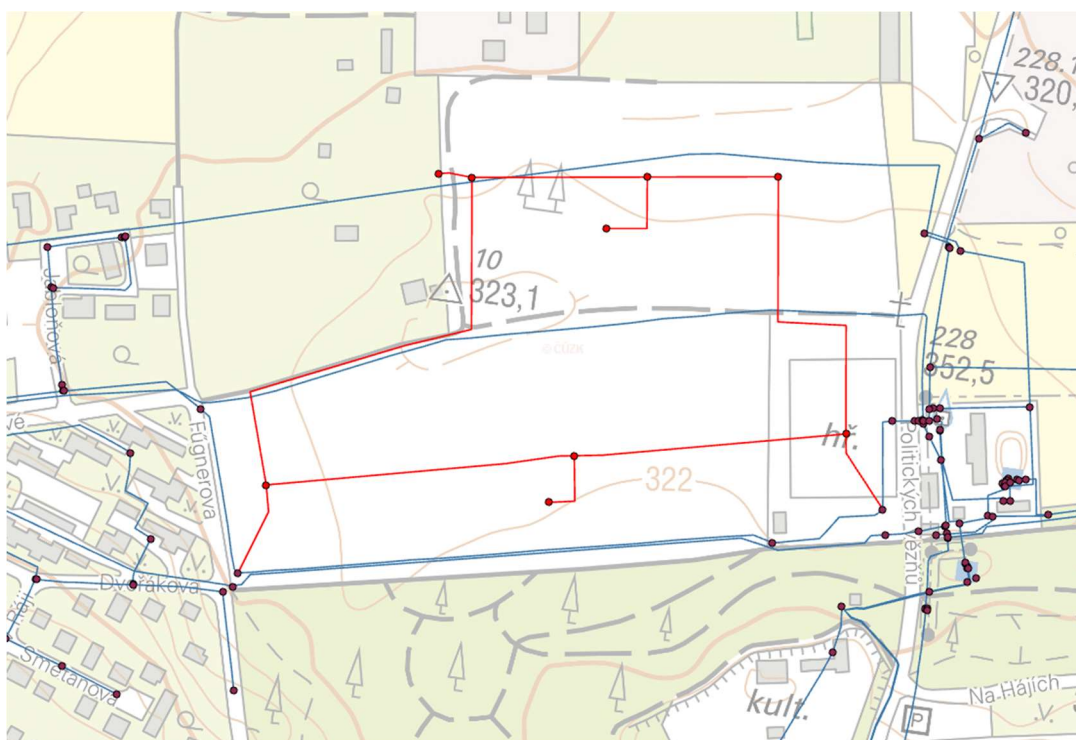
Rozvojová plocha Na Hájích o rozloze 10,8 ha se nachází v severní části města Slaného, je vymezena ze západu ulicí Politických vězňů, z východu ulicí Fügnerova a zahradní osadou, z jihu lesoparkem Háje a ze severu industriální zónou (viz Obr. 37 a 4 v Příloze č. 3).



Obr. 37: Výřez územního plánu s rozvojovou plochou Na Hájích [52]

V lokalitě je navrženo 67 stavebních parcel o celkové rozloze 5,77 ha (na plochách BI1 a BI2 viz Obr. 37). Trasy, dimenze a materiál vodovodních řadů jsem převzal z dokumentace pro stavební povolení ZTV Slaný – Sever vodohospodářská část. V souladu s územní studií bude na stavebních parcelách umožněna výstavba jednopodlažních rodinných domů s obytným podkrovím.

Lokalita bude zásobována z věžového vodojemu Háje. Navržený vodovodní řad bude zokruhován napojením na stávající litinový řad DN 400 mm na 2 místech: v ulici Politických vězňů a v ulici Fügnerova. Navržené potrubí je z polyethylenu 110 x 10 mm. V lokalitě je navrženo 67 přípojek, které jsem pro účely matematického modelu schematizoval do nejblíže uzlů. Vedení nových řadů a odběrné uzly jsou vyznačeny na Obr. 38 červeně [64].



Obr. 38: Vedení nových vodovodních řadů v rozvojové ploše Na Háji

V dokumentaci pro stavební povolení je uvažováno se 4 EO na rodinný dům, celkem bude zásobováno 268 EO, výpočet potřeby vody pro jednotlivé odběrné uzly je v Tab. 16. Celková průměrná potřeba vody pro celou lokalitu při uvažování specifické potřeby vody 110,08 l/os/den činí 29 500 l/den (0,34 l/s). Hodnota je o 0,03 l/s vyšší než z podkladů dokumentace pro stavební povolení, kde je výpočet potřeby vody proveden podle Vyhlášky č. 120/2011 Sb., v platném znění.

Vedení nových řadů jsem doplnil na základě podložení situace z dokumentace pro stavební povolení, celková délka potrubí je 1336 m. Výšky uzlů jsem doplnil na základě digitálního modelu terénu 5G, protože jsem neměl k dispozici podélné profily řadů. V Epanetu jsem doplnil vnitřní průměry potrubí 90 mm,



koeficienty drsnosti 0,005 dle Tab. 5. Odběry jsem přiřadil nejbližším uzlům (viz Tab. 16). Křivku hodinové nerovnoměrnosti jsem ponechal stejnou pro dané tlakové pásmo.

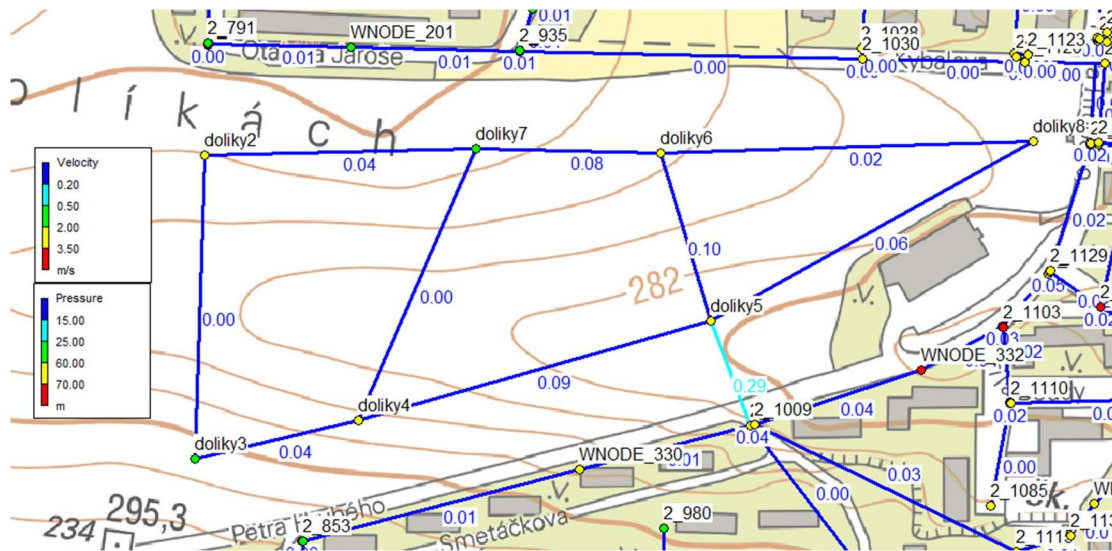
Tab. 16: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové plochy Na Hájích

Uzel	Odběrné objekty	Počet EO [-]	Odběr [l/den]	Odběr [l/s]
haje_2	12 RD	48	5284	0,061
haje_4	15 RD	60	6605	0,076
haje_5	11 RD	44	4843	0,056
haje_6	4 RD	16	1761	0,020
haje_7	11 RD	44	4843	0,056
haje_8	4 RD	16	1761	0,020
haje_9	10 RD	40	4403	0,051
haje_10	-	-	-	-
<b>Celkem</b>	<b>67 RD</b>	<b>268</b>	<b>29500</b>	<b>0,341</b>

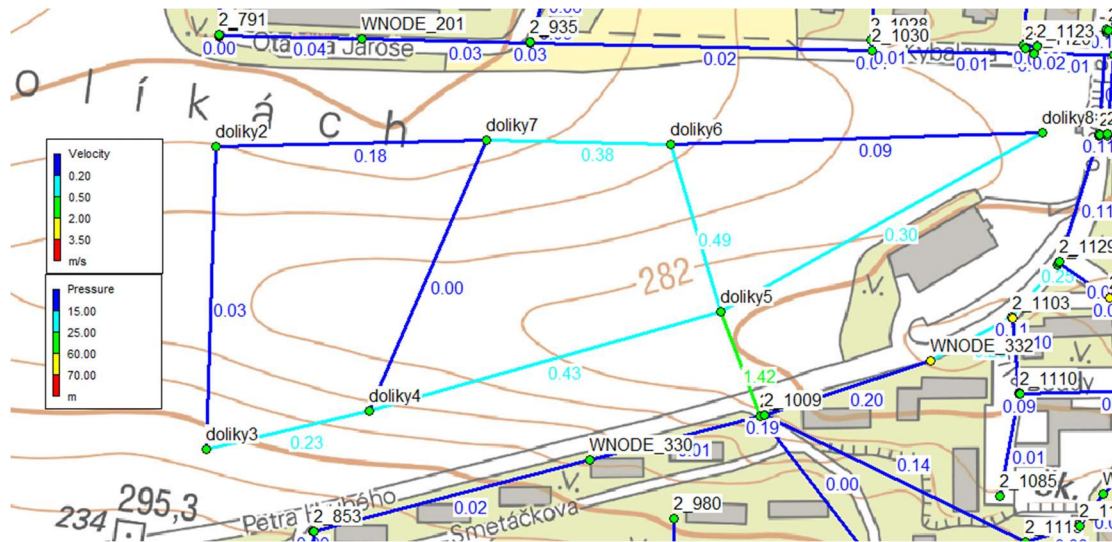
## 2.6.2 Výsledky simulace a návrh opatření

### 2.6.2.1 Lokalita Na Dolíkách

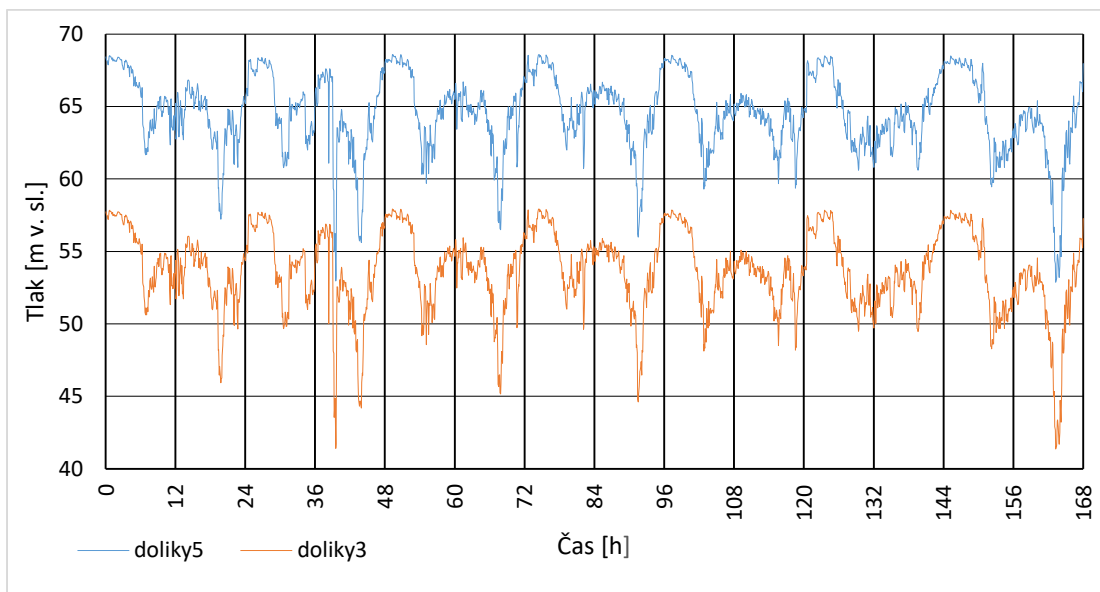
Na Obr. 39 jsou výsledné hodnoty tlaků a rychlostí proudění v čase nízkých odběrů a na Obr. 40 v čase vysokých odběrů. Nejvyšší hodnoty průběhu tlaků jsou u uzlu *doliky5*, nejnižší hodnoty jsou u uzlu *doliky3* (viz Obr. 41). Hodnoty tlaků jsou vysoké, ve všech uzlech mimo *doliky3* přesahují v čase nízkých odběrů 60 m v. sl. a bylo by vhodné navrhnout opatření pro snížení tlaků. Rychlosti proudění se liší v jednotlivých potrubích, na nátok do lokality je průměrná rychlost proudění po dobu simulace optimální 0,75 m/s. U všech potrubí od uzlu *doliky5* se rychlosti proudění pohybují okolo 0,3 m/s, poté rychlosti směrem k okrajovým uzlům klesají k hodnotám pod 0,1 m/s. Nejnižší rychlosti proudění jsou u potrubí *p\_doliky7* (spojující uzly *doliky4* a *doliky7*), kterým protéká téměř nulový průtok po celou dobu simulace. Situace se zde může změnit v případě realizace odběrů z daného potrubí, ale uspořádání bytových domů a odběrných míst nejsou prozatím známé. Je možné, že potrubí bude nahrazeno přípojkami k jednotlivým objektům. Vzhledem k minimálnímu vlivu na novou modelovanou síť ho pro účely návrhu opatření z modelu odstraňuji. Doba zdržení vody (viz Obr. 42) se u všech potrubí pohybuje okolo 30 hodin, výjimkou je potrubí *p\_doliky7*, kde vzhledem k velmi nízkým průtokům doba zdržení dosahuje téměř 6 dní.



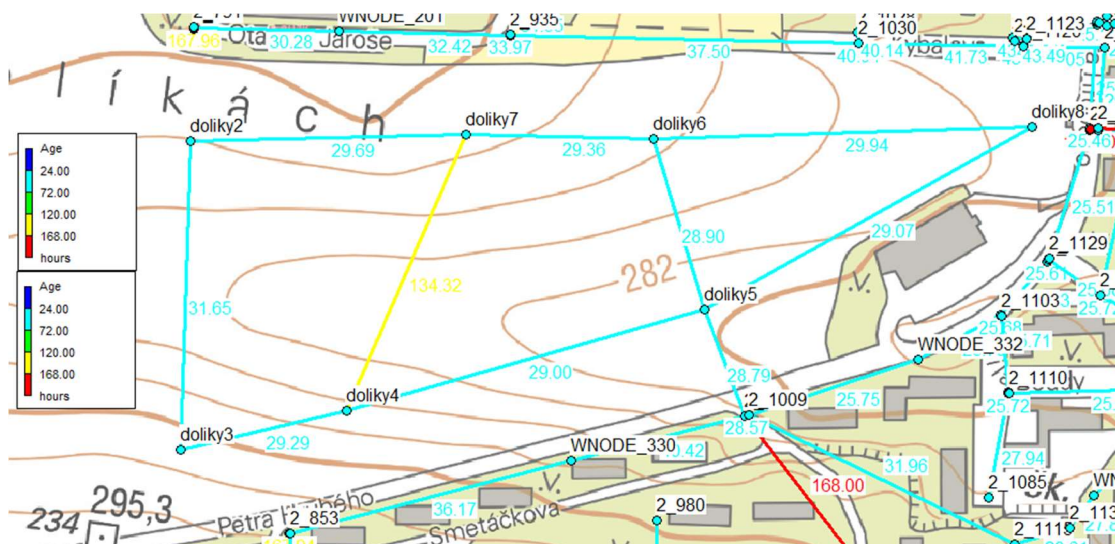
Obr. 39: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při nízkých odběrech



Obr. 40: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při vysokých odběrech



Obr. 41: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Na Dolíkách

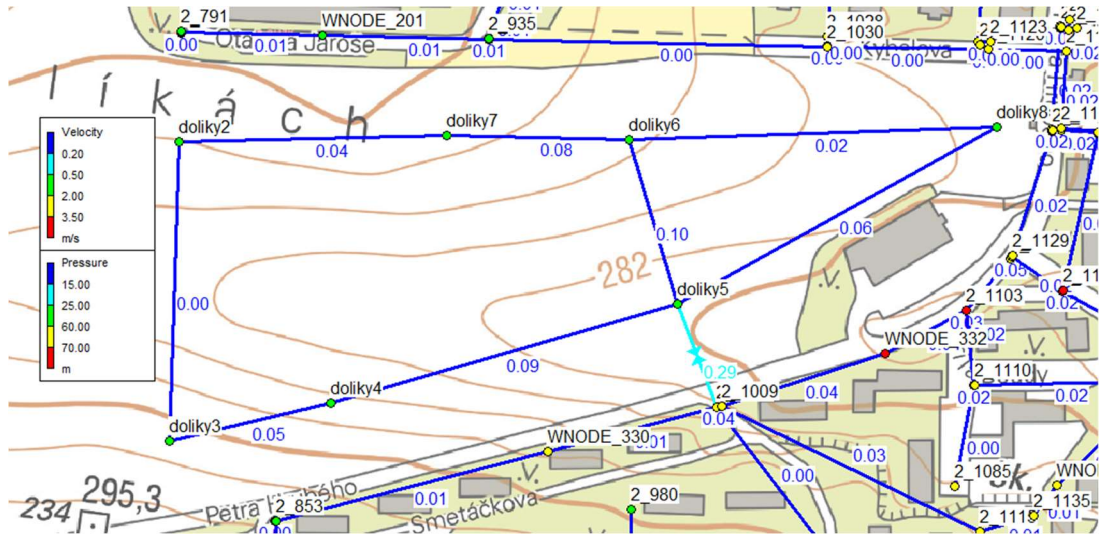


Obr. 42: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Na Dolíkách

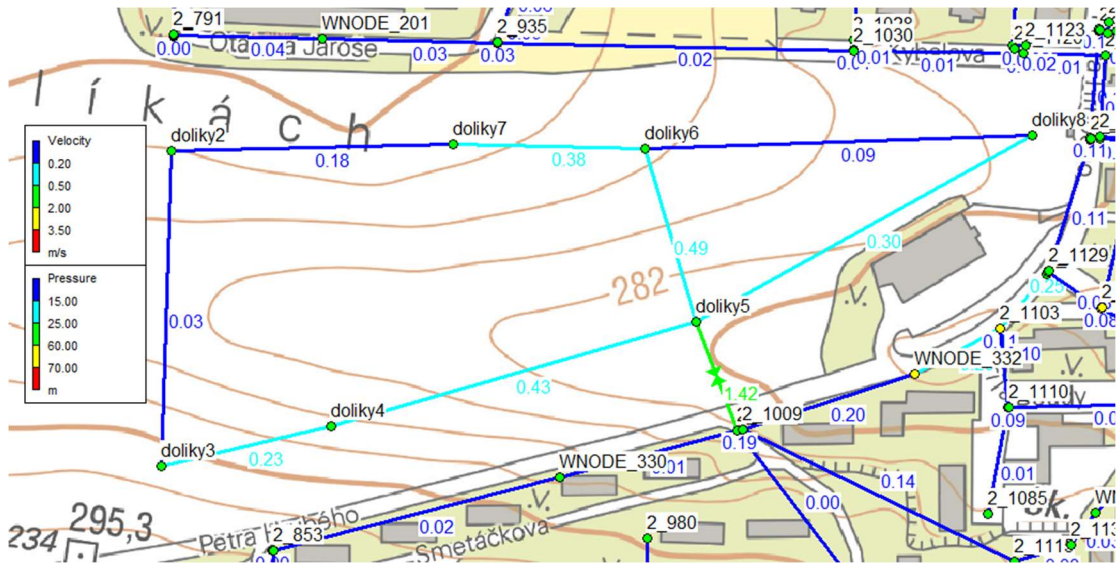
### Návrh opatření

V rámci opatření navrhuji pro snížení tlaků v lokalitě osazení redukčního ventilu na nátoku do lokality s redukcí na 55 m v. sl., dále odstraňuji navrhované potrubí  $p_{doliky7}$  (mezi uzly *doliky4* a *doliky7*) z důvodu minimálního přínosu pro novou síť. Výsledkem simulace s opatřeními jsou vyhovující tlaky ve všech nově přidaných uzlech (viz Obr. 43 a Obr. 44), dostatečný tlak bude zajištěn i v nejvyšších podlažích povolené zástavby. Kolísání tlaků je vlivem redukčního ventilu minimální, průběhy tlaků v uzlech s nejvyššími a nejnižšími tlaky jsou na

Obr. 45. Vliv navržených opatření nemá na rychlosti proudění (viz Obr. 43 a Obr. 44) a dobu zdržení vody (viz Obr. 46) téměř žádný vliv.

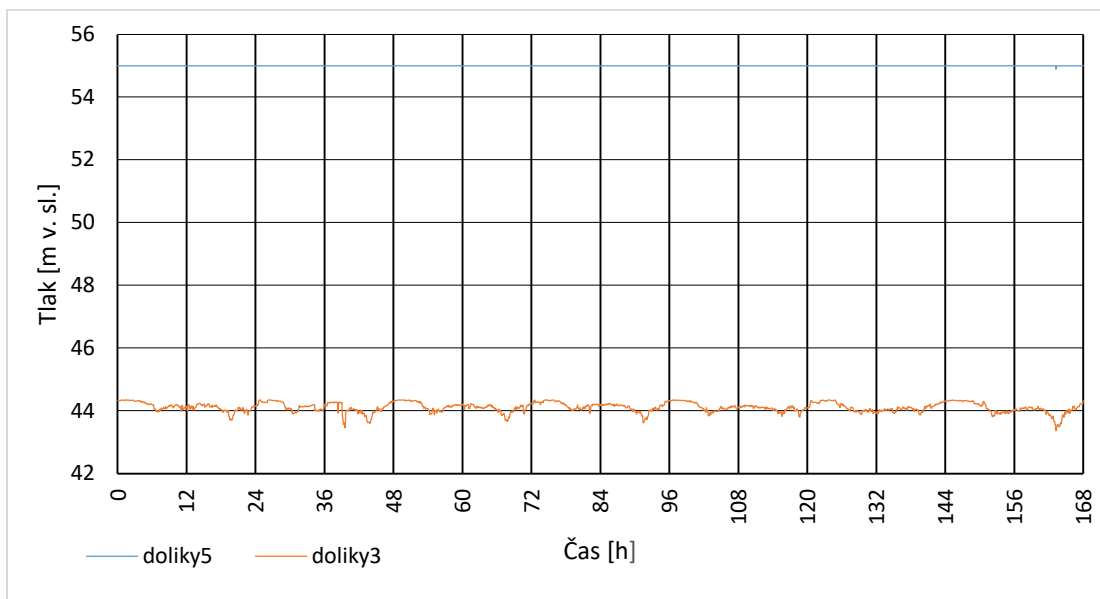


Obr. 43: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při nízkých odběrech po návrhu opatření

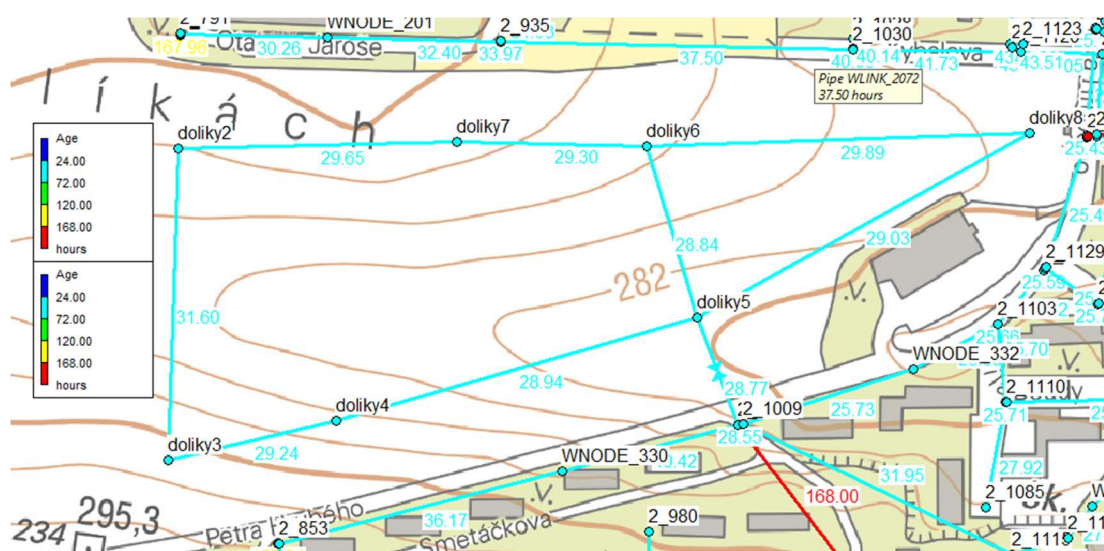


Obr. 44: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při vysokých odběrech po návrhu opatření





Obr. 45: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Na Dolíkách po návrhu opatření



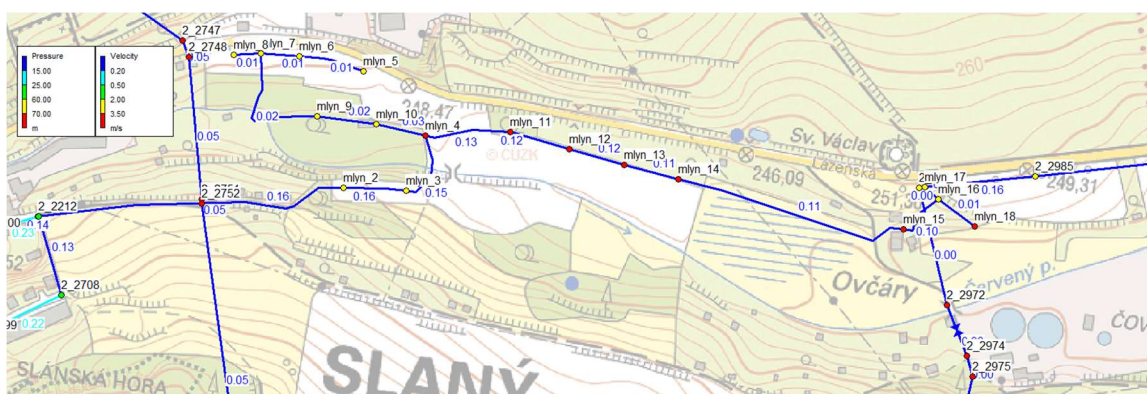
Obr. 46: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Na Dolíkách po návrhu opatření

### 2.6.2.2 Blahotice – Slánský mlýn

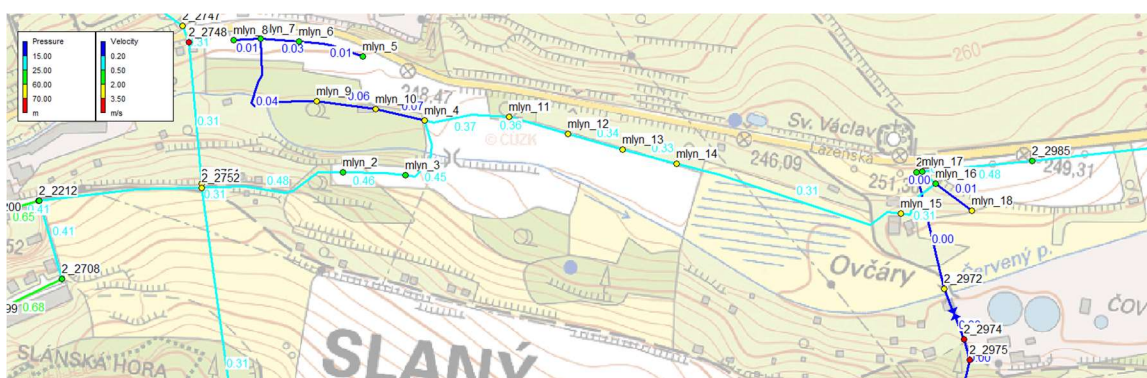
V lokalitě jsou výsledné tlaky velmi vysoké (viz Obr. 47 a Obr. 48), převyšují hodnoty 70 m v. sl. a bude nutné navrhnout opatření ke snížení tlaku pod hranici 60 m v. sl. Na Obr. 49 jsou průběhy tlaků u uzlů s nejvyššími (*mlyn\_15*) a nejnižšími (*mlyn\_8*) tlaky v lokalitě. Rychlosti proudění jsou nízké v koncových řadech, kde se pohybují pod 0,02 m/s. Zmenšení dimenze potrubí není dle poskytnutých podkladů (technická zpráva) možné, navržená dimenze je

z důvodu požadavku na funkci vodovodu pro požární účely. U zokruhovaných řad se rychlosti pohybují po většinu času simulace okolo 0,3 m/s. Maximální doba zdržení vody dosahuje 36 hodin v koncových řadech.

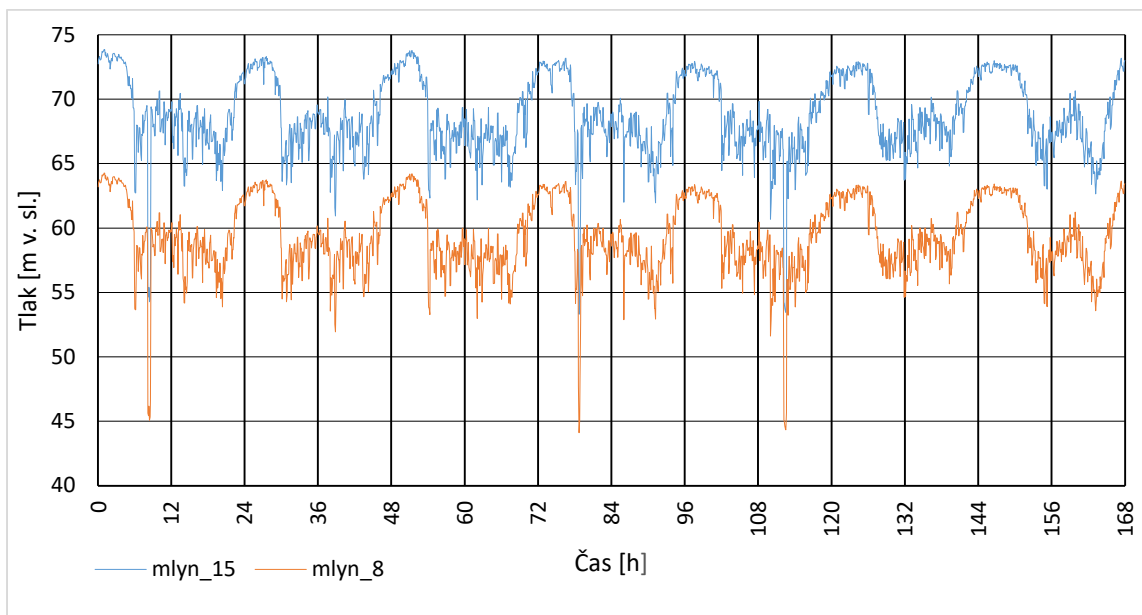
Z hlediska vlivu na okolní síť došlo zokruhováním k uzavření průtoku stávajícím redukčním ventilem u ČOV. Tento řad zásoboval obce Blahotice, Drnov, Vítov, Žižice, Luníkov, Osluchov, Hobšovice, Skůry a Křovice. Po uzavření ventilu nedochází k opětovnému otevření, protože tlak nepoklesne na požadovanou hodnotu za redukčním ventilem vlivem propojení sítě přes rozvojovou plochu a obce jsou zásobeny přes nově navržený řad. To vede i k velkému zdržení vody v tomto řadu nad 7 dní (viz Obr. 50) a bude nutné navrhnout opatření.



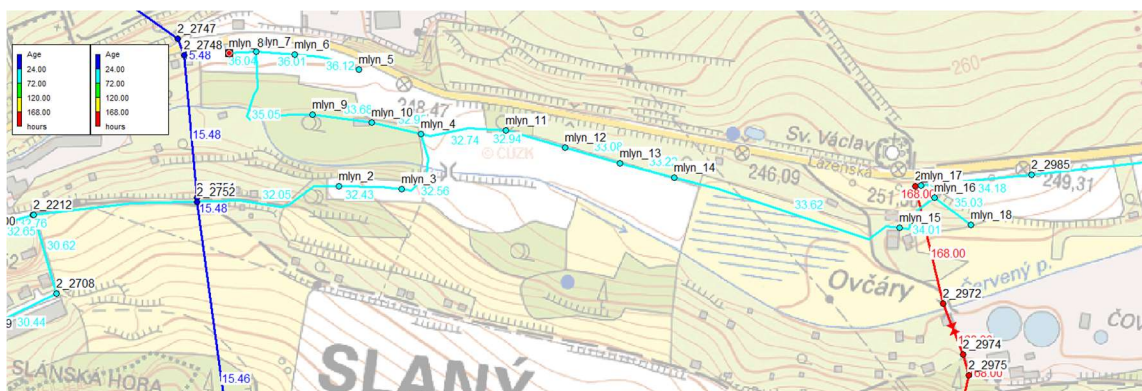
Obr. 47: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při nízkých odběrech



Obr. 48: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při vysokých odběrech



Obr. 49: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn



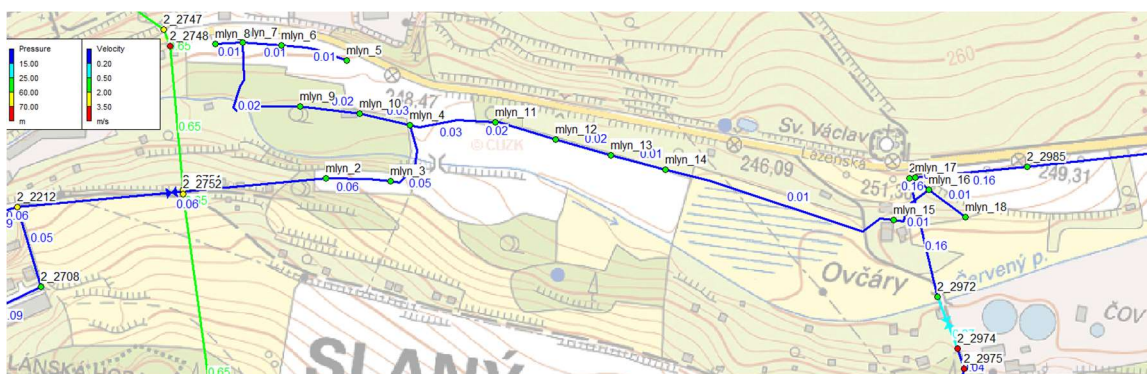
Obr. 50: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn

### První varianta opatření

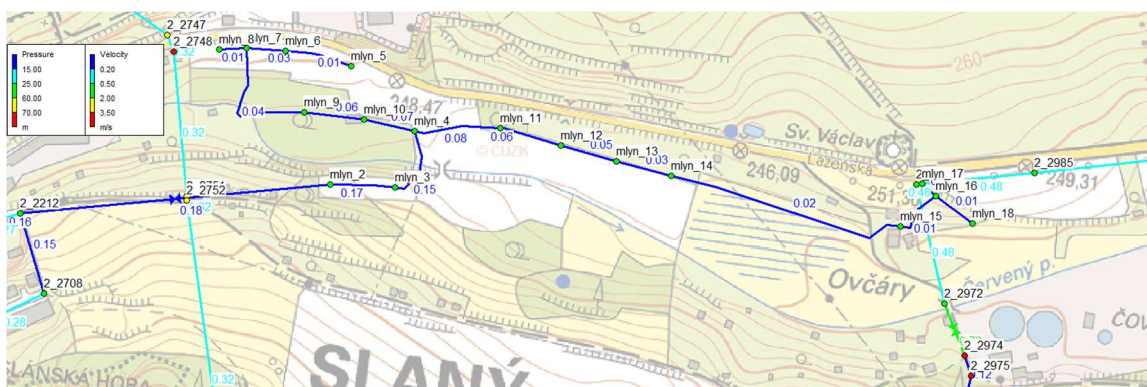
V první variantě navrhuji opatření: uzavřít řad před napojením na stávající síť na východní straně (mezi uzly *mlyn\_16* a *mlyn\_17*) a osadit redukční ventil na napojení na západní straně lokality s redukcí na 45 m v. sl. Výsledkem jsou vyhovující tlaky ve všech odběrných místech (viz Obr. 51 a Obr. 52), tlaky se u odběrných uzlů v řešené lokalitě pohybují v rozmezí 44,5-54,3 m v. sl. a vlivem redukčního ventilu dochází k velmi malému kolísání. Bude zajištěn dostatečný tlak i v nejvyšších podlažích plánované zástavby. Dále je zajištěn průtok stávajícím řadem okolo ČOV přes redukční ventil. Došlo ke snížení doby zdržení u stávajícího řadu na hodnoty okolo 36 hodin, u navržených řadů došlo k mírnému nárůstu maximální doby zdržení, u koncových řadů maximálně na



45 hodin (viz Obr. 53). Uzavřením potrubí nedošlo ke změně rychlosti proudění u koncových řadů. Ke snížení rychlosti proudění došlo na původně zokruhovaném řadu, kde se rychlosti na nátoku do lokality pohybují okolo 0,15 m/s (krátkodobě přes 0,3 m/s při odběrových špičkách). Poté rychlosti proudění směrem k uzavřenému řadu s nižším počtem odběrných míst klesají až na hodnoty pod 0,02 m/s. Rychlosti proudění jsou na Obr. 51 a Obr. 52.

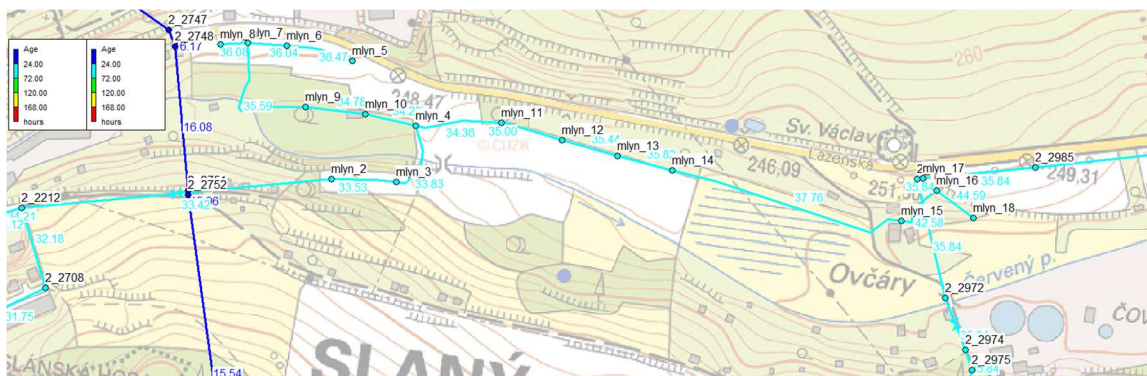


Obr. 51: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění u první varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při nízkých odběrech



Obr. 52: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění u první varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při vysokých odběrech



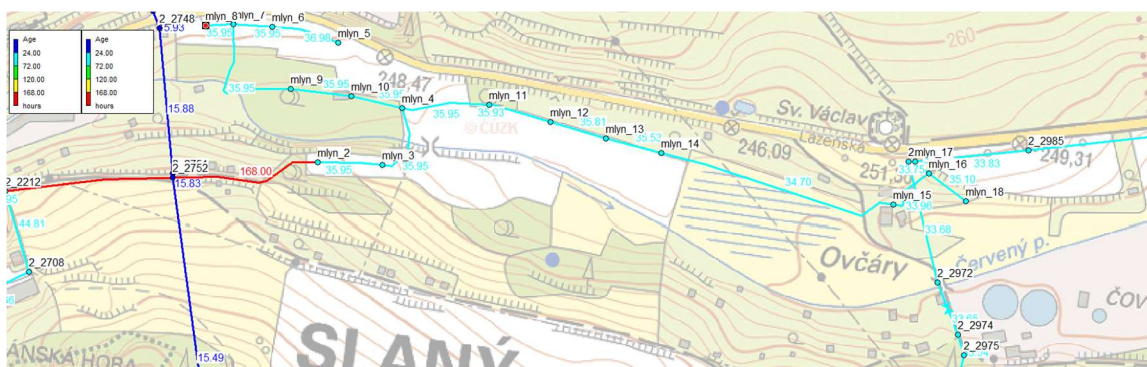


Obr. 53: Výsledek simulace doby zdržení u první varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn

### Druhá varianta opatření

Ve druhé variantě opatření navrhuji uzavřít řad před napojením na stávající síť na západní straně (mezi uzly *mlyn\_2* a *2\_2211*), čímž je docíleno zásobování lokality stávajícím řadem okolo ČOV. Výsledné hodnoty tlaků jsou ve srovnání s první variantou nižší, ale vyhovující u všech odběrných míst (viz Obr. 54 a Obr. 55). K nejnižším hodnotám klesají tlaky u uzlu *mlyn\_8* (viz Obr. 56), kde je vzhledem k čtyřpodlažní zástavbě tlak dostatečný i v nejvyšších podlažích. Nejvyšší průběhy tlaků jsou u uzlu *mlyn\_15* (viz Obr. 56). U stávajícího řadu klesá doba zdržení na hodnoty okolo 35 hodin (podobné hodnoty jako u první varianty). Doba zdržení je v lokalitě ve srovnání s první variantou mírně nižší, u koncových řadů je maximální doba zdržení do 40 hodin. Rychlosti proudění jsou zde velmi nízké, závisí pouze na odběrech v lokalitě a stejně jako u první varianty klesají směrem od napojení na stávající řad (rychlosti okolo 0,15 m/s) ke koncovým uzlům až k rychlostem pod 0,02 m/s. Rychlosti proudění jsou na Obr. 54 a Obr. 55.





Obr. 57: Výsledek simulace doby zdržení u druhé varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn

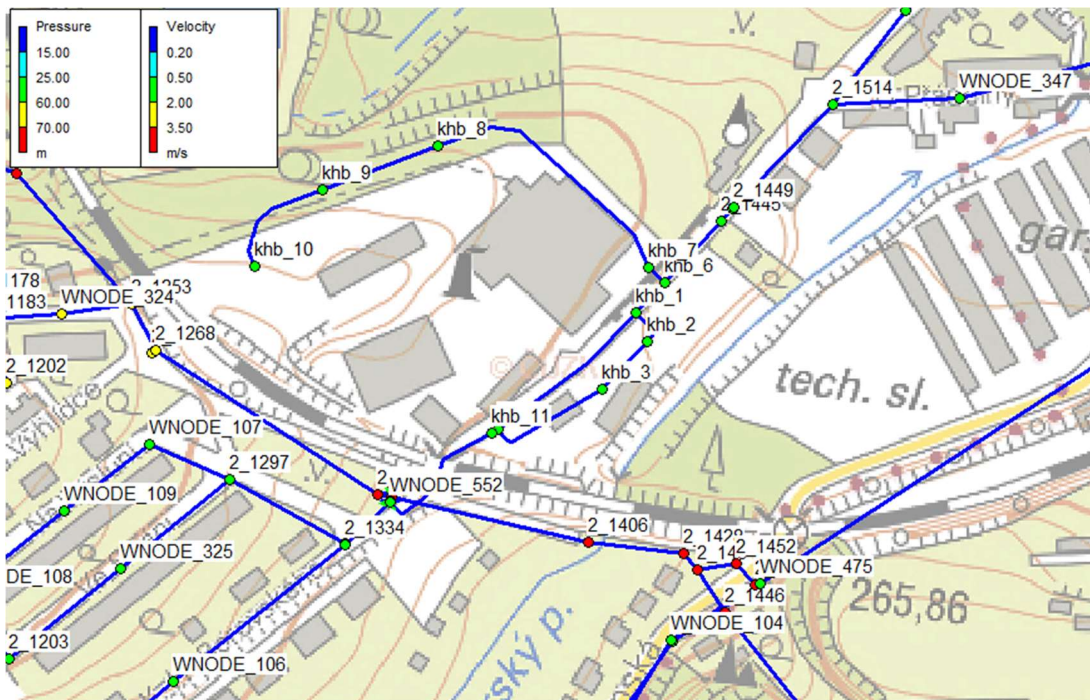
Vzhledem k podobným výsledkům simulace u obou navrhovaných variant opatření bych doporučil druhou variantu, kde není potřeba osazení redukčního ventilu na nátoku do rozvojové plochy.

### 2.6.2.3 Karla Havlíčka Borovského

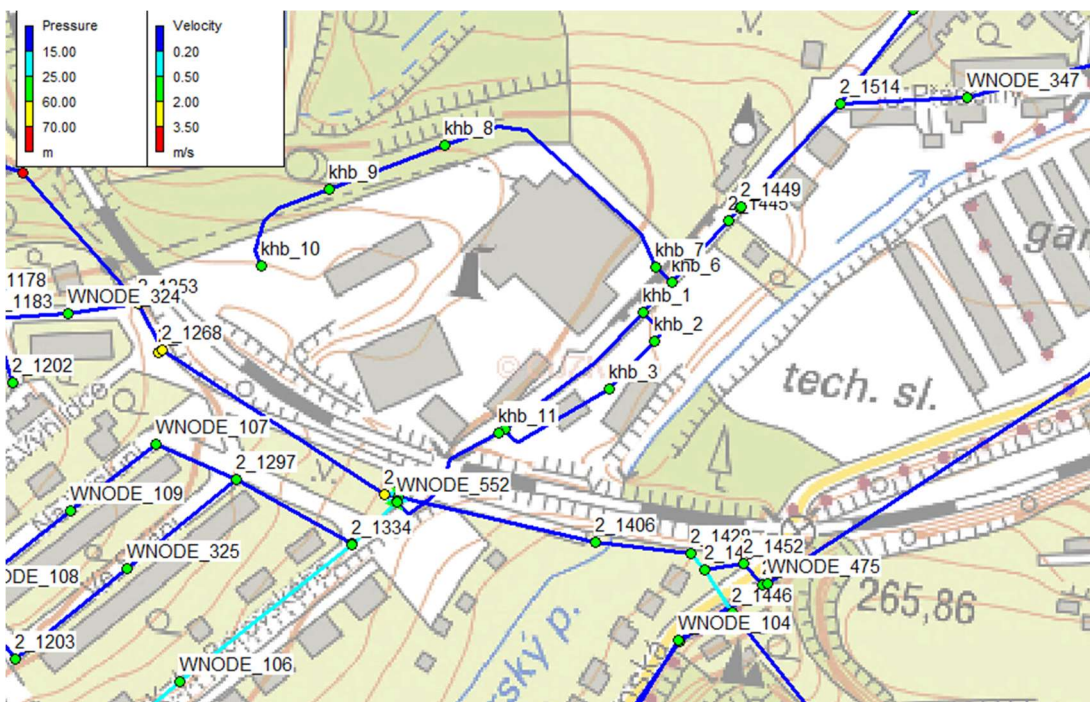
#### První varianta – uzavření řadu na jižní straně

Při uzavření řadu na jižní straně (mezi uzly *WNODE\_552* a *khb\_11*) jsou tlaky ve všech odběrných uzlech v lokalitě vyhovující (viz Obr. 58 a Obr. 59). Nejvyšší hodnoty tlaků jsou dosaženy u uzlu *khb\_2*, nejnižší hodnoty u *khb\_10*, jejich průběh po dobu simulace je na Obr. 60. Rychlosti proudění jsou v navržených řadech nízké (viz Obr. 58 a Obr. 59), pohybují se do 0,2 m/s. Nejvyšší rychlosti proudění jsou na nátoku do rozvojové plochy a na nátoku do lokality SM5, kde se pohybují okolo 0,1 m/s. Nejnižší rychlosti proudění okolo 0,01 m/s jsou na zokruhovaném řadu u plochy BI19, což je způsobeno nízkými odběry v lokalitě. Zvýšení rychlosti proudění návrhem potrubí s menší dimenzí není u navržených řadů k rozvojovým plochám možné vzhledem k platným standardům. Menší dimenze potrubí pro zvýšení rychlosti proudění by byla možná na navrhovaném páteřním řadu v ulici Karla Havlíčka Borovského, ale dle výsledků modelu snížení dimenze ze 150 mm na 100 mm nevede k velkému zvýšení rychlosti proudění na těchto řadech (zvýšení do 0,1 m/s). Maximální doby zdržení (viz Obr. 61) se u všech navržených řadů pohybují okolo 40 hodin.

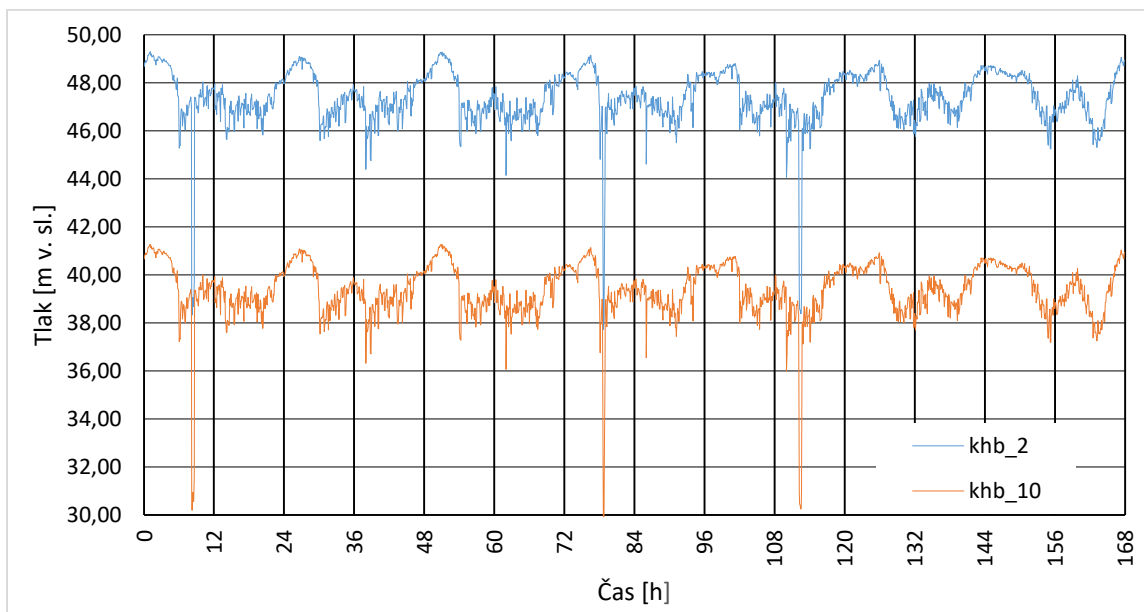




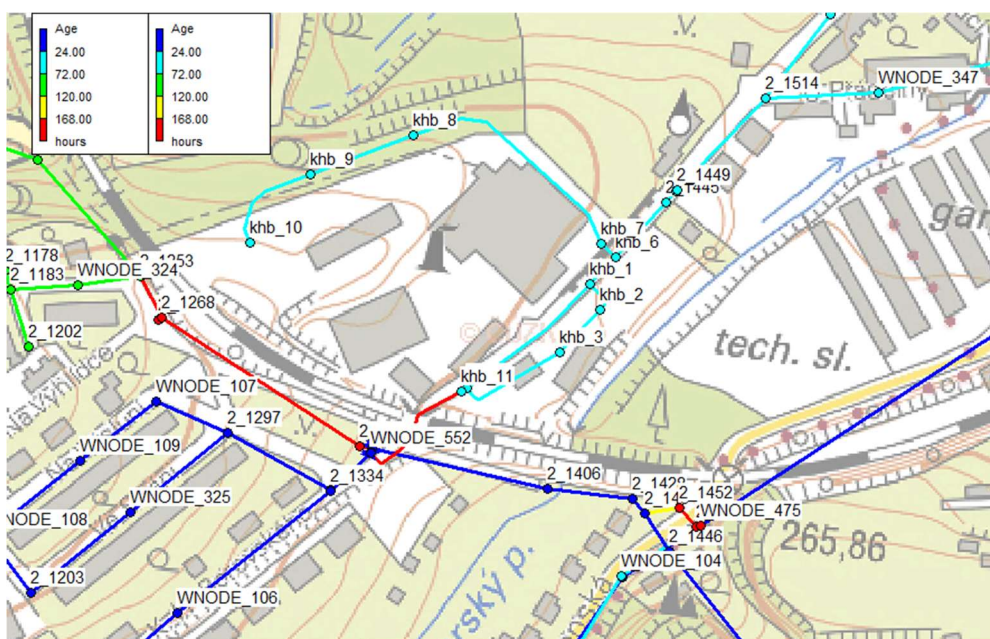
Obr. 58: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při nízkých odběrech (varianta uzavření řady na jižní straně)



Obr. 59: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při vysokých odběrech (varianta uzavření řady na jižní straně)



Obr. 60: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na jižní straně)



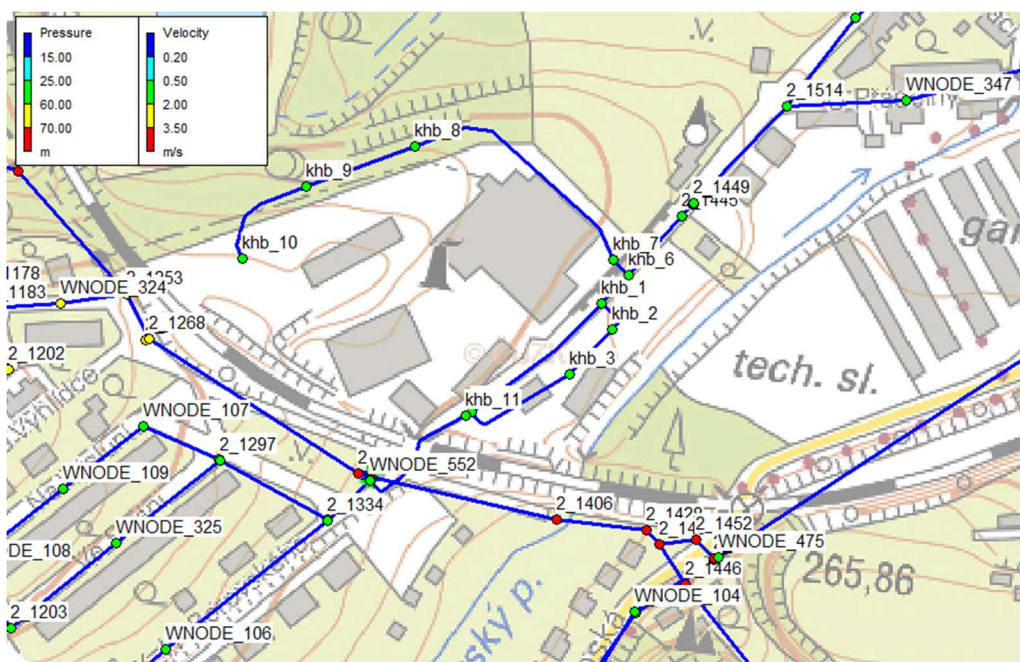
Obr. 61: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na jižní straně)

### Druhá varianta – uzavření řadu na severní straně

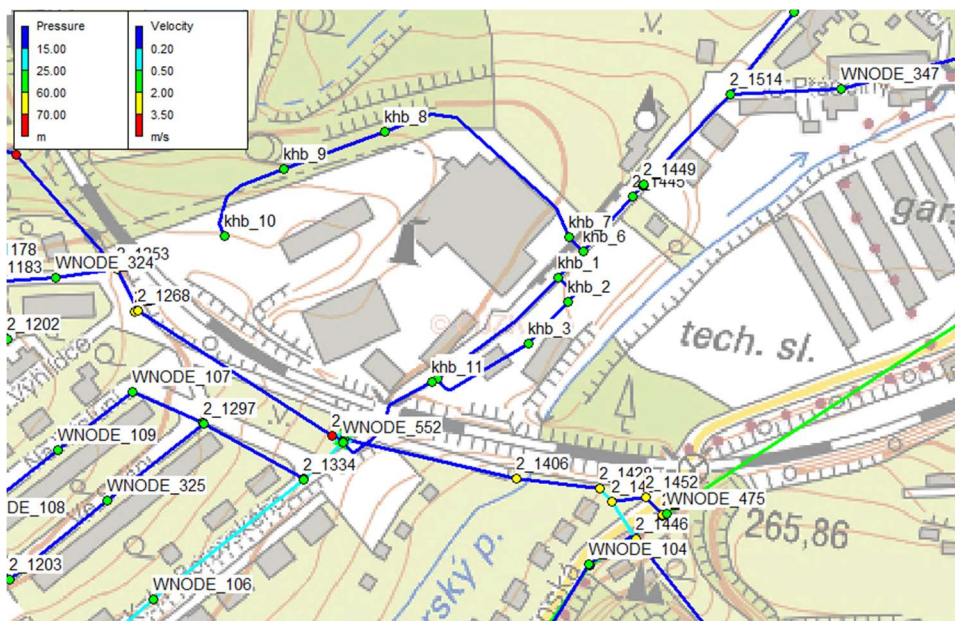
Při uzavření řadu na severní straně (mezi uzly 2\_1445 a khb\_6) jsou tlaky ve všech odběrných uzlech vyhovující (viz Obr. 62 a Obr. 63). Hodnoty tlaků jsou průměrně o 3,9 m v. sl. nižší než v první variantě, ale stále dostatečné pro zajištění potřebných tlaků i v nejvyšších podlažích plánované zástavby. Odběrné uzly s nejvyššími a nejnižšími hodnotami průběhu tlaků jsou na Obr. 64. Kolísání



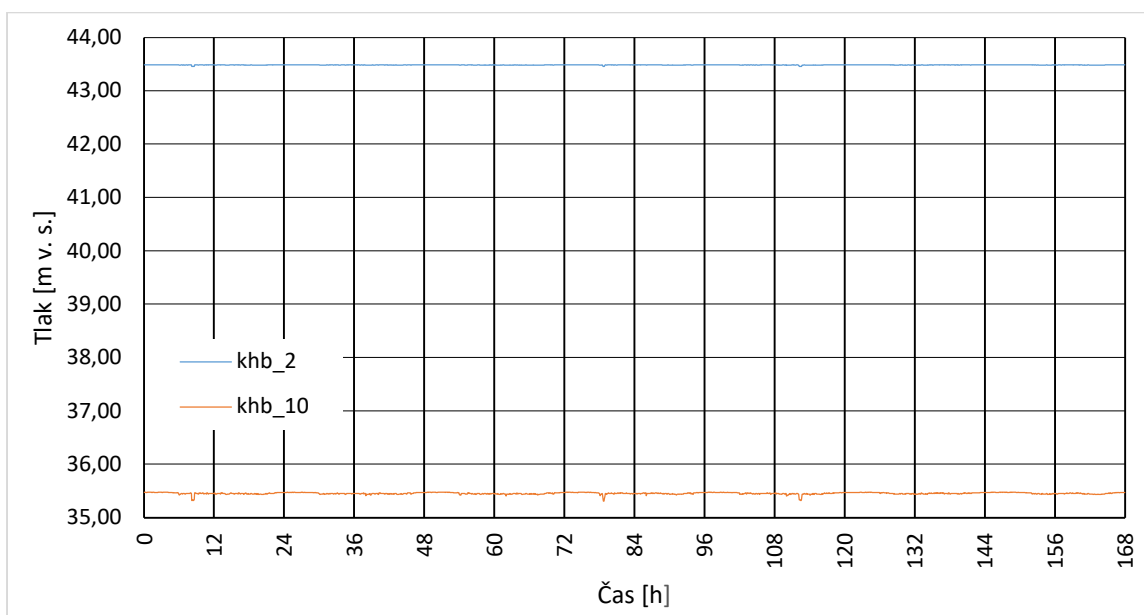
tlaků je minimální z důvodu funkce redukčního ventilu na stávající síti v blízkosti napojení, který redukuje tlak na 40 m v. sl. Rychlosti proudění jsou srovnatelné s první variantou, opět jsou nejvyšší na nátoku do rozvojové plochy a do lokality SM5. Nejnižší rychlosti proudění jsou také na zokruhovaném řadu u plochy BI19. Maximální doby zdržení (viz Obr. 65) jsou přibližně poloviční oproti první variantě a pohybují se okolo 20 hodin.



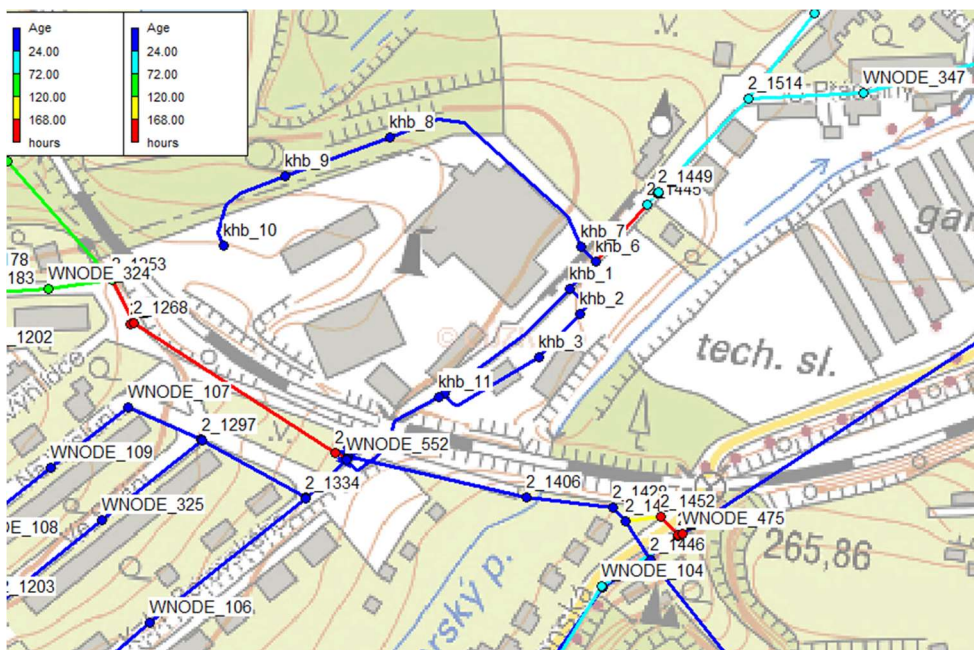
Obr. 62: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při nízkých odběrech (varianta uzavření řadu na severní straně)



Obr. 63: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při vysokých odběrech (varianta uzavření řadu na severní straně)



Obr. 64: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na severní straně)



Obr. 65: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na severní straně)

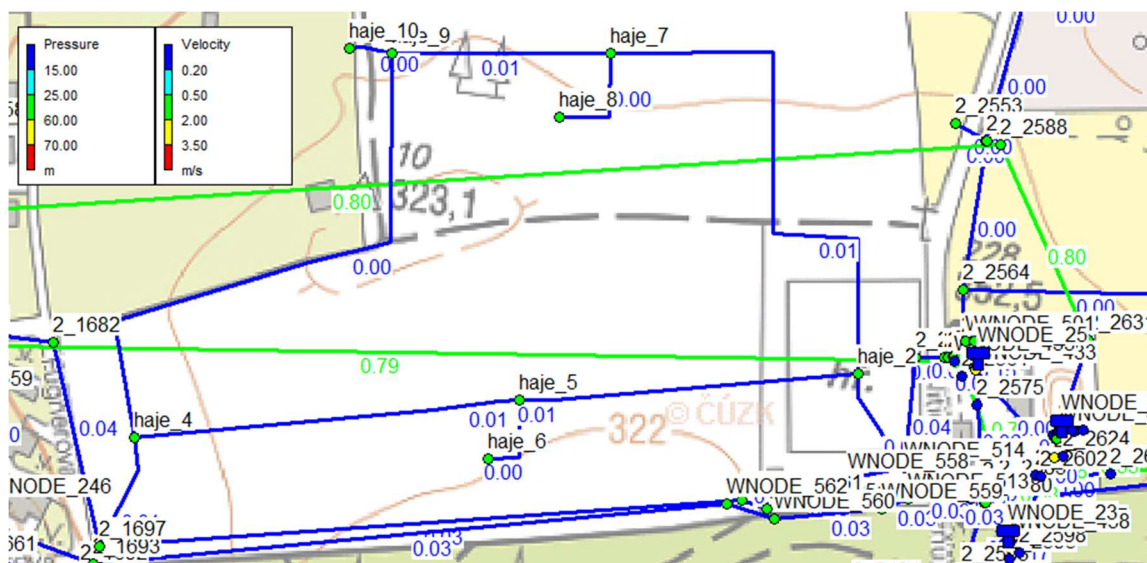
Na základě výsledků simulace doporučuji vzhledem k nižší rozkolísanosti tlaků a nižší době zdržení vody druhou variantu (uzavření řadu na severní straně). Výsledkem simulace je také ověření návrhu dimenze potrubí na ploše SM5 o vnitřním průměru 90 mm, kde vzhledem k platným standardům není možný návrh řadů s menší dimenzí pro zvýšení rychlosti proudění.

#### 2.6.2.4 Na Hájích

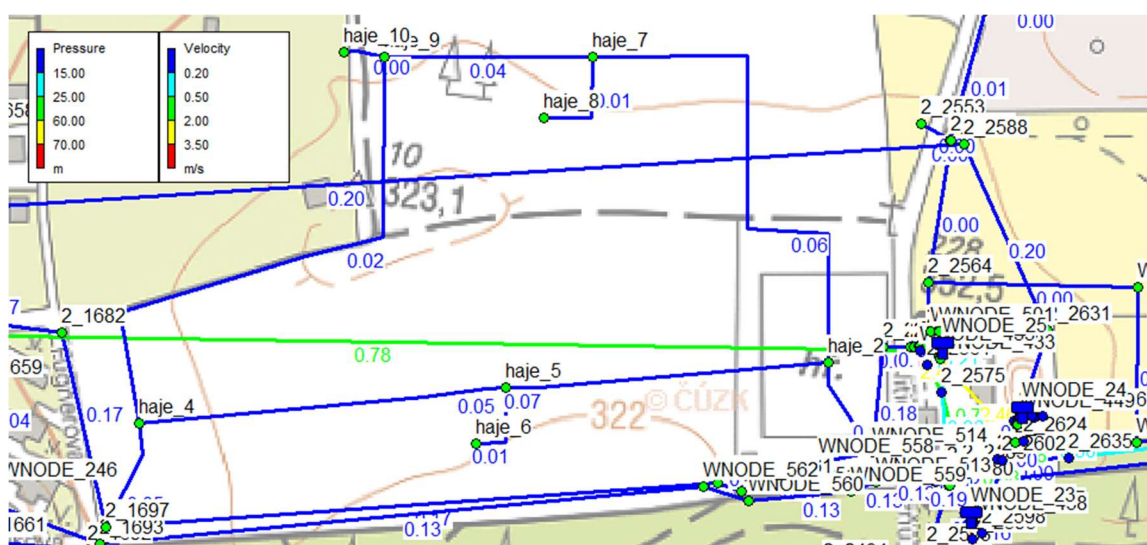
U odběrných uzlů v rozvojové ploše jsou tlaky optimální (viz Obr. 66 a Obr. 67), po celou dobu simulace se pohybují nad 25 m v. sl. a v odběrných uzlech se tlaky vzhledem k malému rozptylu nadmořských výšek příliš neliší (na Obr. 68 jsou uzly s nejvyššími a nejnižšími tlaky v rámci lokality). Hodnoty tlaků jsou dány převýšením blízkého věžového vodojemu Háje nad zásobovanou lokalitou. Hladina ve vodojemu se pohybuje v rozmezí 347,1-347,6 m n. m., nadmořská výška odběrných uzlů je 319,64-320,76 m n. m. Průběh tlaků v jednotlivých odběrných uzlech je dán kolísáním hladiny ve věžovém vodojemu (rozptyl tlaků se pohybuje do 0,6 m v. sl.). Rychlosti proudění jsou velmi nízké ve všech řadech (viz Obr. 66 a Obr. 67), nejvyšší jsou v místě napojení na stávající řad v ulici Politických vězňů, kde se pohybují okolo 0,1 m/s. U koncových řadů se po většinu času simulace rychlosti pohybují pod 0,01 m/s. Vzhledem k navržené



dimenzi potrubí není možné rychlosti proudění zvýšit návrhem potrubí s menší dimenzí. Maximální doba zdržení (viz Obr. 69) se v lokalitě pohybuje do 40 h.



Obr. 66: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Hájích při nízkých odběrech



Obr. 67: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Hájích při vysokých odběrech



poklesům v řádech desetin m v. sl. K nárůstu tlaků nad 60 m v. sl. u odběrných uzlů v časech nízkých odběrů nedošlo, pouze se u některých uzlů posunula maxima v čase.

Přidané rozvojové plochy mají celkový průměrný odběr 6,255 l/s. Největší část odběru zajišťuje zdroj z vodovodu KSKM, kde se zvýšil podle výsledku modelu průměrný průtok o 6 l/s, zbývající část odběru je rozložena rovnoměrně mezi ostatní 2 zdroje vody. Přívodní řad z vodovodu KSKM (zemního vodojemu Theodor) je dostatečně kapacitní, zvýšení průtoků vede pouze k minimálnímu nárůstu rychlostí proudění a jednotkových ztrát tlaků v potrubí. U ostatních zdrojů je navýšení průtoků zanedbatelné.

U stávajících potrubí, u kterých se zvýšil průtok vlivem připojení nových odběrů na rozvojových plochách, dochází k mírnému nárůstu jednotkových ztrát a rychlostí proudění, které ve většině případů ani po zvýšení průtoků nedosahují doporučených hodnot rychlostí proudění (viz kapitola 1.1.3) v čase vysokých odběrů. Jedná se zejména o potrubí v blízkosti připojovaných rozvojových ploch. K nárůstu rychlostí proudění a jednotkových ztrát došlo také u přívodních řadů k vodojemům, ze kterých je realizováno zásobování nových lokalit.

Připojením nových odběrů došlo k mírnému poklesu doby zdržení vody u většiny stávajících uzlů.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo dopracování matematického modelu vodovodu města Slaný a okolních obcí s následným posouzením možnosti připojení rozvojových ploch. V teoretické části jsem zpracoval literární rešerši týkající se tématu distribuce pitné vody včetně využití matematického modelování.

V praktické části jsem provedl analýzu zásobování dané lokality a získal jsem potřebné podklady, na jejichž základě jsem dopracoval matematický model vodovodu Slánské oblasti v softwaru Epanet 2.2. Do modelu jsem doplnil 3 vodojemy, akumulární nádrž, 2 automatické tlakové stanice, 4 ventily a hodinovou nerovnoměrnost pro tlakové pásmo. Dále jsem do modelu přidal pravidla řízení a potrubí s uzly zejména v okolí doplněných objektů. Výsledný model jsem zkalibroval na sérii měřených průtoků a tlaků SCADA na 11 místech sítě.

Zkalibrovaný model jsem využil pro zhodnocení stávajícího stavu sítě. Z hlediska tlakových poměrů jsem se řídil *Vyhláškou č. 428/2001 Sb. v platném znění* a upozornil jsem především na překročení maximálních hodnot tlaků na rozvodné síti, které se týkají velké části centra města Slaného a dalších míst na síti. Dále jsem popsal místa na síti s nedostatečným tlakem a delší dobou zdržení, která by mohla vést ke zhoršení jakosti vody v dotčených řadech.

Po konzultaci s provozovatelem vodovodu jsem získal podklady k plánovanému napojení 4 rozvojových ploch na stávající vodovod, které jsem využil k doplnění nových řadů a odběrů ke stávajícímu zkalibrovanému modelu. U každé plochy jsem zvláště vyhodnotil na základě výsledků matematického modelu při různých zatěžovacích stavech rychlosti proudění, tlakové poměry a dobu zdržení vody. V případě nevyhovujících výsledků jsem navrhl varianty opatření. Na závěr jsem vyhodnotil vliv připojení všech rozvojových ploch na stávající síť.

U rozvojové plochy Na Dolíkách byly výsledkem simulace nevyhovující hodnoty tlaků u většiny uzlů v lokalitě, které přesahovaly 60 m v. sl. Pro zlepšení tlakových poměrů doporučuji v rámci návrhu opatření, které bylo ověřeno na

matematickém modelu, osazení redukčního ventilu na nátoku do lokality s nastavením na 55 m v. sl.

Výsledky simulace plánovaného napojení rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn poukazovaly na nevyhovující tlakové poměry přesahující hodnoty 70 m v. sl. Dále došlo napojením rozvojové plochy k zokruhování stávající sítě, což vedlo k uzavření průtoku stávajícím redukčním ventilem a vysoké době zdržení v dotčeném úseku sítě před ventilem. Pro tuto rozvojovou plochu jsem navrhl 2 varianty opatření. První variantou je uzavřít nový řad před napojením na stávající síť na východní straně v kombinaci s redukčním ventilem na napojení na západní straně lokality. Druhou variantou je uzavřít nový řad před napojením na stávající síť na západní straně. Obě varianty vedly k podobným výsledkům, proto bych v rámci doporučení upřednostnil realizaci druhé varianty, kde není podle výsledků modelu nutná realizace redukčního ventilu.

V rámci posouzení rozvojové plochy Karla Havlíčka Borovského jsem prověřil 2 varianty zásobování lokality z odlišných tlakových pásem uzavřením navrhovaného řadu na jižní nebo severní straně. U obou variant byly výsledné hodnoty tlaků vyhovující. Z důvodu nižší rozkolísanosti tlaků a vzhledem ke kratší době zdržení doporučuji variantu uzavření řadu na severní straně. Výsledkem simulace je také návrh řadu na ploše SM5 z polyethylenu o vnitřním průměru 90 mm.

U rozvojové plochy Na Hájích jsou výsledky tlaků u plánovaných řadů optimální. Vyhovující je i doba zdržení vody. Nízkých hodnot dosahují pouze rychlosti proudění, které nelze z důvodu platných místních standardů zvýšit návrhem potrubí s menší dimenzí. Z těchto důvodů nebyly navrženy žádné další varianty a doporučuji realizaci původního návrhu.

Závěrem je, že realizace rozvojových ploch v podobě doporučených variant negativně neovlivní stávající síť a zajistí vyhovující tlakové a průtokové poměry i na připojovaných rozvojových plochách.

# Seznam literatury

- [1] *United Nations, The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water*. Paris: UNESCO, 2023. ISBN 978-92-3-100576-3.
- [2] TESÁŘÍK, Igor. *Vodárenství*. První. Praha: Nakladatelství technické literatury n. p., 1987.
- [3] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05390-4.
- [4] FOUSOVÁ, Eva, Lenka JIROUDOVÁ a Jana KOUBOVÁ. *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2021*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2022. ISBN 978-80-7434-668-2.
- [5] ČESKO. *Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. In: . *Zákony pro lidi.cz*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254?citace=1>
- [6] GRÜNWARD, Alexander a kol.: *Vodárenství*. 1. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 80-902460-7-9.
- [7] ČSN 75 5115. *Jímání podzemní vody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [8] KABELKOVÁ, Ivana. *Kontrola kvality povrchových vod v ČR*. 2022. Přednáška.
- [9] ČSN 73 7221. *Kvalita vod - Klasifikace kvality povrchových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [10] ČESKO. *Vyhláška č. 428/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. In: . *Zákony pro lidi.cz*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [11] ČESKO. *Vyhláška č. 252/2004 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. In: . *Zákony pro lidi.cz*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [12] ČSN 75 5201. *Navrhování úpraven vody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [13] ČESKO. *Zákon č. 274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. In: . *Zákony pro lidi.cz*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>
- [14] ČSN 75 5411. *Vodovodní přípojky*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

- [15] TRIFUNOVIĆ, Nemanja. *Introduction to Urban Water Distribution*. London: Taylor & Francis, 2006. ISBN 100-415-39517-8.
- [16] ČSN 73 6005. *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [17] ČSN 75 5401. *Navrhování vodovodního potrubí*. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [18] ČESKO. *Vyhláška č. 409/2005 Sb.: Vyhláška o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s pitnou vodou a na úpravu vody*. In: . *Zákony pro lidi.cz*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-409>
- [19] DRABINOVÁ, Silvie, Miroslav KUNC, Pavel LÁHNER a Barbora VALOVÁ. *Zásobování vodou Učební texty VŠB-TU Ostrava: Trubní materiály vodovodních sítí* [online]. In: . 2022 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <http://zasobovanivodou.vsb.cz/index.php/osnova-prednasek/15-trubni-materialy-vodovodnich-siti>
- [20] VHOS .A.S. ÚTVAR PRV A ÚTVAR TEC. *Technické standardy pro vodovody a vodovodní přípojky, které provozuje VHOS, a.s.* Moravská Třebová, 2013. Dostupné také z: <https://www.vhos.cz/file/edee/2017/01/2013-technicke-standardy-vodovodu.pdf>
- [21] KOŽÍŠEK, František a Petr PUMANN. Stanovisko NRC pro pitnou vodu k používání azbestocementových potrubí pro dopravu pitné vody. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/materialy-voda-kanalizace/4586-stanovisko-nrc-pro-pitnou-vodu-k-pouzivani-azbestocementovych-potrubu-pro-dopravu-pitne-vody>
- [22] BRANDT, Malcolm, Michael JOHNSON, Andrew ELPHINSTON a Don RATNAYAKA. *Twort's Water Supply*. Seventh Edition. Elsevier, 2017. ISBN 978-0-08-100025-0.
- [23] FRANK, Karel. Vodovodní řady a kanalizační stoky v ČR – analýza dat. *SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. Praha, 2011, **2011**(3), 8-14. ISSN 1210-3039.
- [24] ČSN EN 805 *Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [25] CHEJNOVSKÝ, Pavel. *Osoba oprávněná k provozování vodovodů a kanalizací: Vodárenství - vodovodní sítě*. První. Líbeznice: Medim, 2007. Učební text (Vyšší odborná škola stavební a Střední škola stavební Vysoké Mýto). ISBN 978-80-87140-04-8.
- [26] ČSN 73 0873. *Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [27] ČSN 75 5301. *Vodárenské čerpací stanice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [28] ČSN 11 0000. *Rozdělení a terminologie čerpadel*. Praha: Český normalizační institut, 1994.

- [29] HORKÝ, Filip. *144VO2 - Vodní hospodářství obcí 2: Doprava vody - Čerpadla a čerpací stanice*. ČVUT, 2020. Přednáška.
- [30] DRABINOVÁ, Silvie, Miroslav KUNC, Pavel LÁHNER a Barbora VALOVÁ. *Zásobování vodou Učební texty VŠB-TU Ostrava: Akumulace vody - vodojemy* [online]. In: . 2022 [cit. 2022-11-15].
- [31] ČSN 75 5355. *Vodojemy*. Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [32] ČSN EN 1508. *ČSN EN 1508. Vodárenství - Požadavky na systémy a součásti pro akumulaci vody*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [33] TEICHMANN, Marek a František KUDA. *Hodnocení a obnova vodárenských sítí*. Praha: Professional Publishing, 2018. ISBN 978-80-88260-26-4.
- [34] HORKÝ, Filip. *144VO2 - Vodní hospodářství obcí 2: Vodojemy*. ČVUT, 2020. Přednáška.
- [35] DRABINOVÁ, Silvie, Miroslav KUNC, Pavel LÁHNER a Barbora VALOVÁ. *Zásobování vodou Učební texty VŠB-TU Ostrava: Výškové a plošné uspořádání vodovodní sítě* [online]. In: . 2022 [cit. 2022-11-16].
- [36] ČSN 75 0150. *Vodní hospodářství - Terminologie vodárenství*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [37] *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2000*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2001. ISBN N 80-86386-18-X.
- [38] POKORNÝ, Daniel, Eva ROLEČKOVÁ a Jana JANKOVÁ. *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2010*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2011. ISBN 978-80-7084-992-7.
- [39] POKORNÝ, Daniel a Eva FOUSOVÁ. *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2015*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2016. ISBN 978-80-7434-319-3.
- [40] KUČERA, Tomáš a Dušan KADULA. Stanovení potřeby vody v případě malých spotřebišť. *TZB-info* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, 2012 [cit. 2022-11-28]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8156-stanoveni-potreby-vody-v-pripade-malych-spotrebist>
- [41] *SMĚRNICE ZE DNE 20.7.1973 PRO VÝPOČET POTŘEBY VODY PŘI NAVRHOVÁNÍ VODOVODNÍCH A KANALIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ A POSUZOVÁNÍ VYDATNOSTI VODNÍCH ZDROJŮ*. In: . EPRAVO.CZ. Dostupné také z: <https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>
- [42] CIESLAR, Jan. Ztráty vody se dlouhodobě daří snižovat. In: *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/ztratya-vody-se-dlouhodobede-dari-snizovat>



- [43] Sociálně únosná cena pro vodné a sociálně únosná cena pro stočné na rok 2023 dle podmínek OPŽP. In: *OPERAČNÍ PROGRAM ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ* [online]. [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://opzp.cz/socialne-unosna-cena-pro-vodne-a-stocne-2023/>
- [44] *METODICKÁ PŘÍRUČKA k cenové regulaci oboru vodovodů a kanalizací pro roky 2022–2026*. Verze 003. Ministerstvo financí, 2022.
- [45] HAVLÍK, Aleš a Tomáš PICEK. *Hydraulika potrubí*. Fakulta stavební ČVUT v Praze: Katedra hydrauliky a hydrologie, 2021. Přednáška.
- [46] KOLÁŘ, Václav, Cyril PATOČKA a Jiří BÉM. *Hydraulika*. Praha: Nakladatelství technické literatury n. p., 1983.
- [47] ROSSMAN, Lewis, Hyoungmin WOO, Michael TRYBY, Feng SHANG, Robert JANKE a Terrana HAXTON. *EPANET 2.2 User Manual*. EPA/600/R-20/133. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2020.
- [48] COOPER, James a Laredo ROBINSON. *Computer modeling of water distribution systems*. Fourth edition. Denver, CO: American Water Works Association, 2017. ISBN 978-1-62576-252-8.
- [49] ŘÍHA, Jaromír. *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*. Vyd. 1. Brno: VUT, 1997. ISBN 80-214-0827-8.
- [50] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina. *Epanet - úvod, typické úlohy, změny jakosti - vodárenství*. ČVUT Praha: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, 2022. Přednáška.
- [51] MARTINEZ, Fernando a Jorge GARCÍA-SERRA. *Mathematical modelling of water distribution systems in service*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Hidráulica., 1993.
- [52] *Slaný - územní plán: ÚPLNÉ ZNĚNÍ ÚZEMNÍHO PLÁNU PO ZMĚNĚ Č. 2*. Slaný: AUA - Agrouurbanistický ateliér, 2020. Dostupné také z: [https://www.meuslany.cz/assets/File.ashx?id\\_org=14936&id\\_dokumenty=76131](https://www.meuslany.cz/assets/File.ashx?id_org=14936&id_dokumenty=76131)
- [53] *Slavos Slaný s.r.o.* [online]. 2023 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.slavosslany.cz/>
- [54] *Souhrn vstupních podkladů pro potřeby studie proveditelnosti zajištění zásobování pitnou vodou města Slaný - zpráva o podkladech*. Praha: D-plus projektová a inženýrská, a.s., 2020.
- [55] *SESTAVENÍ MATEMATICKÉHO HYDRAULICKÉHO MODELU VODOVODU SLÁNSKÉ OBLASTI*. Praha: D-plus projektová a inženýrská, a.s., 2022.
- [56] *PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ STŘEDOČESKÉHO KRAJE A.2.2 Popis nadobecných systémů vodovodů a kanalizací: Díl 2 – Vodovody a zásobování pitnou vodou*. Praha: Hydroprojekt CZ a.s, 2004.
- [57] *TECHNICKÝ STANDARD VODOHOSPODÁŘSKÝCH STAVEB v působnosti vlastníka infrastruktury, společnosti Vodohospodářské sdružení obcí Slánské oblasti (VSOSO) a provozovatele, společnosti Slavos Slaný, s.r.o. (Slavos)*. Dostupné také z:

[https://www.slavosslany.cz/\\_dokumenty/1192019165841658/technicky-standard-vodohospodarskych-staveb.pdf](https://www.slavosslany.cz/_dokumenty/1192019165841658/technicky-standard-vodohospodarskych-staveb.pdf)

- [58] ZEMAN, Stanislav a Václava DANDOVÁ. *Územní studie veřejného prostranství - město Slaný - plocha SM1 - lokalita U BILLY*. Praha: AUA - Agroubanistický ateliér, 2018. Dostupné také z: <https://www.meuslany.cz/uzemni-studie-verejneho-prostranstvi-mesto-slany-plocha-sm1-lokalita-u-billy-03-2018/d-62306/p1=34108>
- [59] PETROVÁ, Michaela. *Bytové domy - Královský vršek Slaný: Technická zpráva*. ABNOVA s. r. o., 2021.
- [60] POLEDŇÁK, Jiří. *Územní studie Slaný: Lázeňská ulice*. ARPOS, spol. s r.o., 2017.
- [61] FALTÝNKOVÁ, Ivana. *Technická zpráva IO04 Vodovodní řad: Bytový soubor Slaný - Slánský mlýn*. Arpos s. r. o., 2020.
- [62] HNILICA, Mojmír. *Technická zpráva: Vodovodní řad K. H. Borovského*. STUDIO AM s. r. o., 2020.
- [63] BARTOŠ, Pavel. *Technická zpráva: Riverside 2*. Atribut solutions s. r. o., 2020.
- [64] HRUDKAJOVÁ, Veronika. *ZTV Slaný - sever: D.5 VODOHOSPODÁŘSKÁ ČÁST*. 2020.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Základní prvky distribučních systémů vody [3] .....	10
Obr. 2: Rozdělení spotřebiště na 2 tlaková pásma pomocí přerušovacího vodojemu [30] ...	27
Obr. 3: Funkce vyrovnávacího vodojemu [30] .....	27
Obr. 4: Gravitační vodovod [35] .....	31
Obr. 5: Výtlačný vodovod [35] .....	31
Obr. 6: Typy distribučních soustav podle rozsahu zásobování [2] .....	32
Obr. 7: Plošné uspořádání rozvodných sítí [15] .....	33
Obr. 8: Vývoj specifické potřeby a ztrát vody [4] [37] [38] [39] .....	35
Obr. 9: Grafický průběh hodinové nerovnoměrnosti potřeby vody dle Směrnice č. 9/1973 Ú. v. [25] .....	38
Obr. 10: Bernoulliho rovnice pro ustálené proudění skutečné kapaliny [45] .....	42
Obr. 11: Moodyho diagram [45] .....	44
Obr. 12: Charakteristika hydraulické soustavy potrubí a čerpadla [45] .....	46
Obr. 13: Upravené oblasti v modelu .....	64
Obr. 14: Graf závislosti průtoku a tlaku u ATS Libovice .....	66
Obr. 15: Křivka hodinové nerovnoměrnosti pro pásmo Jedomělice .....	70
Obr. 16: Odtok z VV Tuřany na Tuřany .....	72
Obr. 17: Odtok z VV Tuřany na Studeněves .....	72
Obr. 18: Průtok před obcí Zlonice na odtoku ze ZV Zlonice .....	73
Obr. 19: Průtok za ATS Páleč .....	73
Obr. 20: Odtok ze ZV Jedomělice na Jedomělice .....	74
Obr. 21: Průtok před obcí Libovice .....	74
Obr. 22: Průtok ve vodoměrné šachtě Jemníky směrem na obce Knovíz, Podlešín, Zvoleněves a Želenice .....	75
Obr. 23: Odtok z VV Háje do tlakového pásma Slaný město .....	75
Obr. 24: Odtok z VV Háje do tlakového pásma Slaný háj .....	76
Obr. 25: Odtok ze ZV Okrouhlík směrem do města .....	76
Obr. 26: Výsledek simulace průběhu hladin u doplněných vodojemů a akumuláční nádrže	77
Obr. 27: Tlakové a průtokové poměry na přivaděči v místě napojení řadu k obci Dřínov ...	78
Obr. 28: Stav tlaků a rychlostí proudění na distribuční síti při nízkých odběrech .....	79
Obr. 29: Stav tlaků a rychlostí proudění na distribuční síti při vysokých odběrech .....	80
Obr. 30: Doba zdržení vody v distribuční síti .....	81
Obr. 31: Výřez územního plánu s rozvojovou plochou Na Dolíkách [52] .....	83
Obr. 32: Doplnění vodovodních řadů a napojení na stávající vodovodní síť na podkladu urbanistické situace u rozvojové plochy Na Dolíkách (nové řady jsou světle modře, nové řady doplněné ze situace dokumentace pro společné povolení jsou červeně) [58] .....	84
Obr. 33: Využití území rozvojové lokality Blahotice – Slánský mlýn dle územního plánu [60] .....	85
Obr. 34: Vedení nových vodovodních řadů v rozvojové ploše Blahotice – Slánský mlýn .....	86
Obr. 35: Výřez územního plánu s rozvojovou plochou Karla Havlíčka Borovského [52] .....	88
Obr. 36: Vedení nových vodovodních řadů v rozvojové ploše Karla Havlíčka Borovského ..	89
Obr. 37: Výřez územního plánu s rozvojovou plochou Na Hájích [52] .....	91
Obr. 38: Vedení nových vodovodních řadů v rozvojové ploše Na Hájích .....	92
Obr. 39: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při nízkých odběrech .....	94
Obr. 40: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při vysokých odběrech .....	94

Obr. 41: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Na Dolíkách .....	95
Obr. 42: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Na Dolíkách.....	95
Obr. 43: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při nízkých odběrech po návrhu opatření.....	96
Obr. 44: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Dolíkách při vysokých odběrech po návrhu opatření.....	96
Obr. 45: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Na Dolíkách po návrhu opatření .....	97
Obr. 46: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Na Dolíkách po návrhu opatření .....	97
Obr. 47: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při nízkých odběrech .....	98
Obr. 48: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při vysokých odběrech.....	98
Obr. 49: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn....	99
Obr. 50: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn .....	99
Obr. 51: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění u první varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při nízkých odběrech.....	100
Obr. 52: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění u první varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při vysokých odběrech .....	100
Obr. 53: Výsledek simulace doby zdržení u první varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn.....	101
Obr. 54: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění u druhé varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při nízkých odběrech.....	102
Obr. 55: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění u druhé varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn při vysokých odběrech .....	102
Obr. 56: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech ve druhé variantě řešení rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn.....	102
Obr. 57: Výsledek simulace doby zdržení u druhé varianty návrhu řešení pro rozvojovou plochu Blahotice – Slánský mlýn.....	103
Obr. 58: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při nízkých odběrech (varianta uzavření řadu na jižní straně) .....	104
Obr. 59: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při vysokých odběrech (varianta uzavření řadu na jižní straně) .....	104
Obr. 60: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na jižní straně) .....	105
Obr. 61: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na jižní straně) .....	105
Obr. 62: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při nízkých odběrech (varianta uzavření řadu na severní straně).....	106
Obr. 63: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu K. H. Borovského při vysokých odběrech (varianta uzavření řadu na severní straně).....	107
Obr. 64: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na severní straně).....	107
Obr. 65: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy K. H. Borovského (varianta uzavření řadu na severní straně).....	108
Obr. 66: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Hájích při nízkých odběrech.....	109

Obr. 67: Výsledek simulace tlakových poměrů a rychlostí proudění pro rozvojovou plochu Na Hájích při vysokých odběrech .....	109
Obr. 68: Průběhy tlaků ve vybraných uzlech rozvojové plochy Na Hájích .....	110
Obr. 69: Výsledek simulace doby zdržení vody u rozvojové plochy Na Hájích.....	110

## Seznam tabulek

Tab. 1: Technologické procesy úpravy podzemní vody [3] .....	14
Tab. 2: Technologické procesy úpravy povrchové vody [3] .....	14
Tab. 3: Příklad výpočtu provozního objemu u vodojemu zásobeného gravitačně.....	29
Tab. 4: Průměrné ceny vodného v Kč/m <sup>3</sup> včetně DPH za rok 2021 a sociálně únosné ceny (SÚC) včetně DPH za roky 2021 a 2023 [4] [43] .....	39
Tab. 5: Tabulka doporučených hodnot hydraulické drsnosti $\Delta$ pro vybraná technicky vyráběná potrubí [45] .....	45
Tab. 6: Specifická potřeba a ztráty vody (seřazeno sestupně dle ztrát vody na km řadu) [54] .....	62
Tab. 7: Doplněné vodojemy a akumulční nádrže .....	65
Tab. 8: Doplněné ventily .....	65
Tab. 9: Ukázka úpravy dat pro nerovnoměrnost odběrů.....	68
Tab. 10: Ukázka výpočtu koeficientů hodinové nerovnoměrnosti v časovém kroku 5 minut .....	70
Tab. 11: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové lokality Na Dolíkách .....	85
Tab. 12: Výpočet potřeby vody pro restauraci na rozvojové ploše Blahotice – Slánský mlýn .....	86
Tab. 13: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové plochy Blahotice – Slánský mlýn.....	87
Tab. 14: Výpočet potřeby vody pro kavárnu na rozvojové ploše K. H. Borovského .....	90
Tab. 15: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové plochy K. H. Borovského.....	91
Tab. 16: Výpočet potřeby vody u doplněných uzlů rozvojové plochy Na Hájích .....	93

## **Seznam příloh**

- Příloha č. 1 – Přehledná situace, materiály potrubí
- Příloha č. 2 – Přehledná situace, dimenze potrubí
- Příloha č. 3 – Situace rozvojových ploch