



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

HYDRAULICKÁ ANALÝZA SKUPINOVÉHO VODOVODU OLOMOUC

HYDRAULIC ANALYSIS OF THE WATER SUPPLY SYSTEM OF OLOMOUC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Voldán

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Ručka, Ph.D.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Student: **Bc. Jakub Voldán**
Vedoucí práce: **Ing. Jan Ručka, Ph.D.**
Akademický rok: 2025/26
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Hydraulická analýza skupinového vodovodu Olomouc

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci diplomové práce bude vytvořen kvazi-dynamický hydraulický model skupinového vodovodu Olomouc, který bude následně kalibrován a verifikován na základě měření hydraulických veličin na vodovodní síti. Student provede simulaci charakteristických provozních stavů vodovodu a analýzu stáří vody. V úvodu prací bude provedena prohlídka objektů vodovodu.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Vytvoření kvazi-dynamického hydraulického modelu vodovodní sítě skupinového vodovodu Olomouc a analýza stáří vody.

Seznam doporučené literatury a podklady:

- [1] INGEDULD, P., 2003: Modeling of Water Distribution Systems with MIKE NET, DHI Water & Environment, 2003
- [2] Rossman, A. L., 2000: EPANET 2 Users Manual, United States Environmental Protection Agency US E.P.A., USA, 9/2000
- [3] National Research Council of the national academies, 2006: Drinking Water Distribution Systems – Assessing and reducing Risks, the National Academic Press, Wasington D.C., ISBN: 0-309-10306-1, 2006

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 16. 3. 2025

L. S.

doc. Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Jan Ručka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá hydraulickou analýzou skupinového vodovodu Olomouc. V úvodní části jsou popsány systémy zásobování pitnou vodou a následně jejich provozní režimy v návaznosti na tlakové poměry a stáří vody ve vodovodní síti. Dále je pozornost věnována matematickému modelování vodovodních systémů s přiblížením použitých programů k sestavení hydraulického modelu. Praktická část, resp. průvodní a technická zpráva se nejprve zabývá charakterizací skupinového vodovodu Olomouc, analýzou stávajícího stavu a poté sestavením hydraulického modelu a vyhodnocením výsledků provedené hydraulické analýzy.

KLÍČOVÁ SLOVA

hydraulická analýza, skupinový vodovod Olomouc, matematické modelování, vodovodní síť

ABSTRACT

This thesis deals with the hydraulic analysis of the Olomouc group water supply system. The initial section describes drinking water supply systems and their operating modes in relation to pressure conditions and water age in the water supply network. Furthermore, focus is placed on mathematical modeling of water supply systems with an overview of the programs used to compile the hydraulic model. The practical part (technical report), first deals with the characterization of the Olomouc group water supply system, analysis of the current state, and then compilation of the hydraulic model and evaluation of the results of the hydraulic analysis.

KEYWORDS

hydraulic analysis, Olomouc group water supply system, mathematical modeling, water supply network

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOLDÁN, Jakub. *Hydraulická analýza skupinového vodovodu Olomouc*. Brno, 2026. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Hydraulická analýza skupinového vodovodu Olomouc* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2026

Bc. Jakub Voldán
autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Hydraulická analýza skupinového vodovodu Olomouc* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2026

Bc. Jakub Voldán
autor

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za odborné rady, trpělivost a čas, který mi po dobu zpracovávání práce věnoval. Rovněž bych chtěl poděkovat kolektivu VHS Olomouc za poskytnuté podklady a pomoc při měrné kampani. Mé velké díky patří také Ing. Filipovi Mečířovi za jeho rady při sestavování hydraulického modelu a přístup, kterým mě přiměl koukat se vždy o kousek dál.

Dále děkuji své rodině, které vděčím za podporu a motivaci nejen po dobu studia.

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	Systémy zásobování pitnou vodou	10
1.1.1	Typy rozvodných sítí.....	11
1.1.2	Výškové uspořádání vodovodní sítě	13
1.1.3	Požadované tlakové poměry ve vodovodní síti.....	14
1.1.4	Řízení tlaku	15
1.1.5	Stáří vody ve vodovodní síti	17
1.2	Cíle práce	18
2	MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍCH SÍTÍ	19
2.1	Typy hydraulické analýzy	20
2.2	Vstupní data	20
2.3	Schematizace vodovodní sítě	20
2.3.1	Metoda redukováných délek	21
2.3.2	Metoda dvou součinitelů	22
2.4	Podmínky hydraulické analýzy okružových sítí	22
2.4.1	Uzlová podmínka	22
2.4.2	Okružová podmínka	23
2.4.3	Hydraulická podmínka.....	23
2.5	Software pro modelování	24
2.5.1	Epanet 2.2.....	24
2.5.2	Modelování stáří vody.....	25
3	HYDRAULICKÁ ANALÝZA SKUPINOVÉHO VODOVODU OLOMOUC	29
3.1	Vstupní podklady a informace	29
4	ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU	30
4.1	Popis SV Olomouc – podskupina Litovel.....	31
4.1.1	Zdroje vody.....	32
4.1.2	Distribuční síť	33
4.1.3	Přehled vodárenských objektů.....	38
4.2	Popis SV Olomouc – podskupina Olomouc – Hlubočky	38
4.2.1	Zdroje vody.....	40
4.2.2	Distribuční síť	41
4.2.3	Přehled vodárenských objektů.....	48
4.3	Analýza spotřeby vody	49

5	TVORBA HYDRAULICKÉHO MODELU	52
5.1	Topologie, výškopis	52
5.2	Hydraulická drsnost potrubí	52
5.3	Vnitřní profily, materiál	52
5.4	Objekty na vodovodní síti	53
5.5	Uzlové odběry	53
5.6	Koeficienty nerovnoměrnosti odběru vody	54
5.7	Měrná kampaň	55
5.8	Kalibrace hydraulického modelu	57
6	VYHODNOCENÍ HYDRAULICKÉ ANALÝZY – STÁVAJÍCÍ STAV	57
6.1	Posouzení tlakových poměrů	57
6.1.1	Minimální hydrodynamický tlak	57
6.1.2	Maximální hydrodynamický tlak	62
6.1.3	Analýza stáří vody	67
7	ZÁVĚR.....	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK	75
	SEZNAM GRAFŮ	75
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	76
	SEZNAM PŘÍLOH	77

1 ÚVOD

Vodovodní systémy představují klíčovou součást technické infrastruktury. V případě jejich slučování do rozsáhlých a provozně složitých soustav je matematické modelování klíčové pro jejich posouzení, optimalizaci provozu či obnovu a plánování dalšího rozvoje. Hydraulické modely vodovodních sítí umožňují tyto systémy analyzovat a simulovat jejich chování za různých provozních stavů.

Vodohospodářská společnost Olomouc, a.s. – dříve výhradně vlastnická společnost vodohospodářské infrastruktury v Olomouci a jejím okolí převzala v roce 2025 provoz nad vlastněným majetkem, což umožnilo vznik této práce – ta má za cíl sestavení hydraulického modelu skupinového vodovodu Olomouc a spolu s ním provedení analýzy stávajícího stavu. Výsledky provozovateli vodovodní sítě pomohou k zefektivnění provozních a dalších navazujících činností.

Hydraulický model skupinového vodovodu Olomouc je dále členěn na dvě samostatně funkční podskupiny – podskupina Litovel a podskupina Olomouc - Hlubočky, včetně základního navázání na další vodárenské systémy v regionu. Model je vytvořen v softwaru EPANET, resp. s využitím pluginu QGISRed, který vychází z jeho datasetu a umožňuje tvorbu hydraulického modelu přímo v prostředí programu QGIS, čímž je zajištěno georeferencování všech prvků a usnadněno další využití modelu pro potřeby provozovatele vodovodní sítě.

Model zahrnuje všechny významné objekty vodovodu, vodojemy, čerpací stanice a měrné objekty. V rámci schematizace vodovodní sítě nejsou do modelu zahrnuty rozvodné sítě v jednotlivých spotřebištích ani vodovodní přípojky, přičemž spotřebiště jsou řešena jako bodové odběry na síti.

Na základě dat získaných z měrné kampaně byl model kalibrován a verifikován pro 24 časových kroků – simuluje tedy chování vodovodní sítě během jednoho reprezentativního dne – 24 h. Součástí je také analýza stáří vody v síti.

V úvodu práce jsou popsány systémy zásobování pitnou vodou a následně jejich provozní režimy v návaznosti na tlakové poměry a stáří vody ve vodovodní síti. Dále je pozornost věnována matematickému modelování vodovodních systémů s přiblížením použitých programů k sestavení hydraulického modelu.

1.1 SYSTÉMY ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

Systémem pro zásobování pitnou vodou se obecně rozumí vodovod – tedy soubor objektů a zařízení jako jsou zpravidla odběrné nebo jímací objekty, úpravny vody, čerpací stanice, vodojemy a vodovodní řady. Účelem těchto systémů je zabezpečení zásobování vodou pro odběratele. [1]

Dle účelu zásobování pak rozlišujeme různé druhy vodovodů:

- vodovody pro veřejnou potřebu, které plní zejména funkci zásobování pitnou vodou;
- průmyslové, zemědělské, požární a další účelové vodovody.

Jednotlivé systémy zásobování vodou mohou plnit současně různé funkce, dodávaná voda však musí splňovat dané kvalitativní parametry, např. požadavky na pitnou vodu upravuje vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. [2]

Obor vodovodů sloužících veřejné potřebě upravuje zákon č. 274/2001 Sb.

Prakticky rozlišujeme dle vzájemného výškového uspořádání vodního zdroje, vodojemu a spotřebiště – tedy dle tlakového režimu, dva základní typy vodovodů:

- gravitační – kdy se zdroj (vodojem) nachází nad spotřebištěm a voda je do něho dopravována gravitačně;
- výtlačný – vodní zdroj je umístěn pod spotřebištěm a voda je čerpána z čerpací stanice.

[1]

Počtu spotřebišť a rozsahu zásobeného území odpovídá koncepce zásobení:

- místní vodovody – kde je spotřebištěm obec, průmyslový podnik nebo jiná lokalita zásobována vodou z jednoho nebo případně více zdrojů;
- skupinové vodovody – ty zásobují odběratele v několika spotřebištích, mohou zahrnovat jeden či více zdrojů a vodojemů (i společných) pro jednotlivá spotřebiště;
- oblastní vodovody – jsou vodovody nebo jejich soustavy, které zásobují pitnou vodou zpravidla velký počet spotřebišť a obvykle tak přesahují rozsah okresu.

[2]

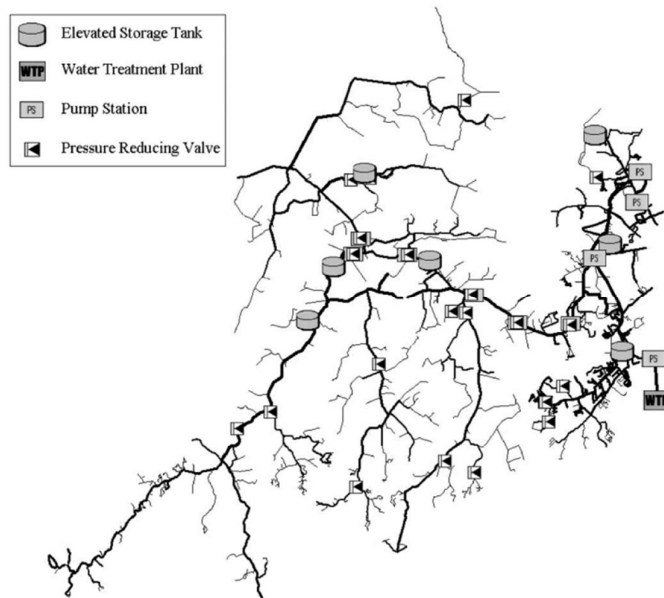
1.1.1 TYPY ROZVODNÝCH SÍTÍ

Konfigurace jednotlivých distribučních (rozvodných) sítí je silně ovlivněna topografií území a zástavbou ve spotřebišti. Z tohoto hlediska můžeme rozvodné sítě dělit na větvené, okruhové a kombinované. [3]

Větvené sítě (branch configuration) se vyznačují hlavním zásobním řadem, na který navazují jednotlivé větve (menších) rozváděcích řadů. Tomuto uspořádání také odpovídá dynamika proudění v systému – kdy od zdroje (vodojemu) přechází relativně velké průtoky postupně vlivem větvení a zvyšující se vzdálenosti od hlavního řadu v malé až stagnující v koncových úsecích. [3]

Tento typ sítí převládá u malých (venkovských) spotřebišť, kde převládá liniová zástavba. Výhodou jsou nižší počáteční náklady a jednoduchý návrh a provoz. Naproti tomu stojí nízká provozní spolehlivost – ke konkrétnímu místu odběru je voda dopravována pouze z jednoho směru, což v případě poruchy vede k pozastavení dodávky vody na celé délce za tímto místem. [3]

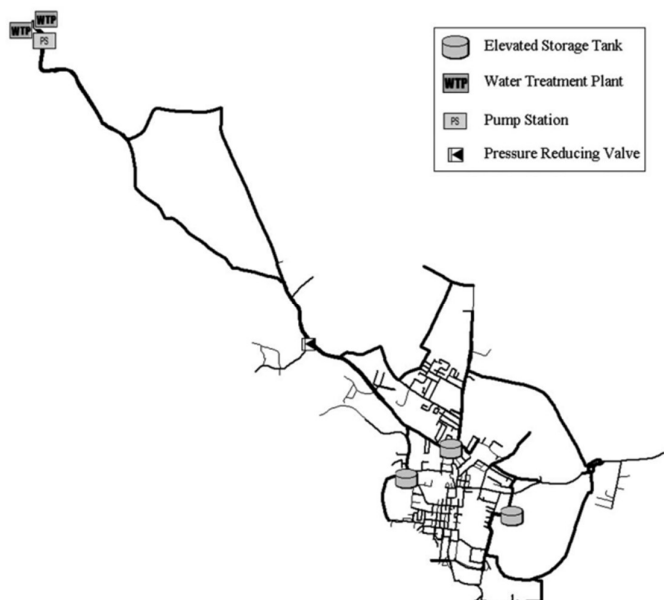
Dalšími provozními nevýhodami této koncepce jsou dopady nárazových odběrů na síti a stagnace vody v koncových úsecích. [3]



Obrázek č. 1: Schéma větvené vodovodní sítě, převzato: [3]

Okruhové sítě (loop configuration) jsou tvořeny systémem menších i větších okruhů, které jsou propojeny ve styčných úsecích a uzlech. Síť je navržena tak, aby místa odběru mohla být zásobována ze dvou stran – což dovoluje proměnlivost směru proudění. Díky tomu nemají lokální poruchy větší dopad na zbytek řadu. [3]

Tlaky u takto koncipovaných sítí jsou vyrovnanější než u větvených – to je dáno vyrovnáním nárazových odběrů dodávkou vody ze dvou (či více) stran a neustálou cirkulací vody v potrubí. Počáteční náklady jsou však vyšší a jejich návrh či hydrotechnický výpočet jsou složitější. [3]



Obrázek č. 2: Schéma okruhové vodovodní sítě, převzato: [3]

Kombinovaná síť v sobě potom zahrnuje oba výše zmíněné systémy. Zpravidla bývá okružová síť doplněna na svých okrajích o síť větvené. Takto navržená koncepce v sobě kombinuje výhody i nevýhody obou systémů. [3]

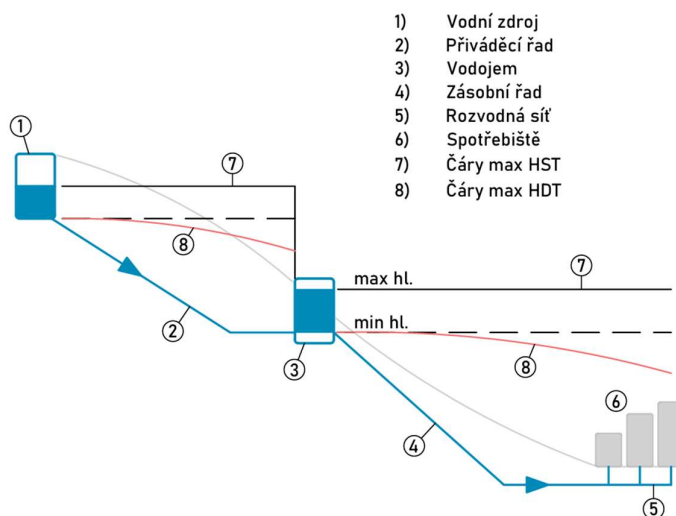
1.1.2 VÝŠKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VODOVODNÍ SÍTĚ

Výškové poměry definují tlakový režim celého vodovodu nebo jeho částí. Jak již bylo zmíněno, z tohoto hlediska rozlišujeme gravitační a výtlačné vodovody. Méně využívané jsou potom vodovody násoskové, které nachází využití zejména při dopravě vody z jímacích zařízení v podtlakovém režimu za využití principu hydraulické násosky. [2]

Pro dosažení požadovaných tlakových poměrů bývají spotřebiště rozdělena do tlakových pásem – ta jsou proto vzájemně oddělena. Jednotlivá pásma jsou pak zásobena z vodojemů, čerpacích stanic nebo jiných tlakových pásem pomocí zásobních řadů. Obecně je upřednostňován gravitační režim zásobení (z vodojemů), v některých případech toto však není možné – přistupuje se k zásobování prostřednictvím výtlačných řadů (z čerpacích stanic). [2]

Gravitační vodovod je využíván v případech, kdy je mezi zdrojem (vodojemem) a spotřebištěm dostatečný výškový rozdíl tak, aby byl v celé síti zajištěn minimální hydrostatický přetlak 0.25 Mpa – toho je dosaženo bez nutnosti čerpání. [4]

Nejrozšířenější variantou je umístění vodojemu před spotřebištěm – tzv. čelní vodojem, zde může nastat s gravitačním nebo výtlačným příváděcím řadem do vodojemu. Současně je umožněn přítok i odtok a spotřebiště je v tomto případě vždy napájeno prostřednictvím vodojemu. [2]



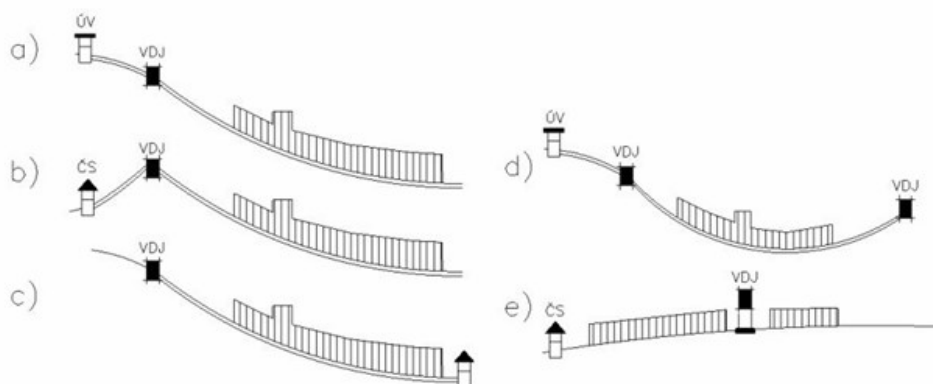
Obrázek č. 3: Schéma gravitačního vodovodu – vodojem před spotřebištěm, zdroj: autor

Alternativou je vodovod výtlačný – ten je navrhován tam, kde je zapotřebí doprava vody čerpáním zpravidla do výše položených objektů vodovodu nebo přímo do spotřebiště.

Dostatečný přetlak je v síti zajištěn prostřednictvím čerpadel, provozně je tedy tento systém méně výhodný – čerpadla (resp. čerpací stanice) jsou energeticky náročná a dochází k jejich opotřebení, kdy je nutný následný servis. [4]

V kombinaci s výtlačným vodovodem lze také využívat další způsoby umístění vodojemu:

- za spotřebišťem (koncový) – spotřebišťe je část dne (zpravidla v noci) zásobeno přímo z čerpací stanice a současně dochází k plnění vodojemu. Po jeho naplnění je zásobení vedeno z vodojemu, případně v kombinaci s čerpací stanicí. Při prázdnění vodojemu pak může být čerpací stanice mimo provoz;
- před i za spotřebišťem – kombinace různých režimů zásobování při složitě topologii spotřebišťe;
- ve spotřebišťi – podobný režim jako u výše zmíněného případu, současně však může probíhat přítok i odtok do/z vodojemu. [2]



Obrázek č. 4: Umístění vodojemu vzhledem ke spotřebišťi: a, b – před spotřebišťem; c – za spotřebišťem; b – před i za spotřebišťem; e – ve spotřebišťi, převzato: [2]

1.1.3 POŽADOVANÉ TLAKOVÉ POMĚRY VE VODOVODNÍ SÍTI

Tlakové poměry a požadavky na ně jsou blíže specifikovány v následujících normách:

- ČSN EN 805 – Vodárenství – požadavky na vnější vodovodní sítě a jejich součásti;
- ČSN 75 5401 – Navrhování vodovodního potrubí;
- ČSN 73 0873 – Požární bezpečnost, zásobení požární vodou.

Vyhláška č. 146/2024 Sb. – Vyhláška o požadavcích na výstavbu, která doplňuje v tomto ohledu obecně známou Vyhlášku č. 428/2001 Sb. (kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu) uvádí následující technické požadavky na vodovodní síť:

3.3. Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa, popřípadě 0,7 MPa, je-li to vzhledem k okolnostem nutné. [5]

Pozn.: Maximální přetlak – ve vodárenství také označován jako maximální hydrostatický přetlak.

3.4. Při zástavbě do dvou nadzemních podlaží hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být v místě připojení vodovodní přípojky minimálně 0,15 MPa. Při zástavbě tří a více nadzemních podlaží minimálně 0,25 MPa. [5]

Pozn.: Hydrodynamický přetlak – označován taky jako minimální hydrodynamický přetlak.

V případě zásobování požární vodou (dle normy ČSN 730873) jsou definovány následující požadavky na tlakové poměry:

U nejnepříznivěji položeného nadzemního (podzemního) hydrantu má být zajištěn statický (zásobovací) přetlak 0.2 MPa. [6]

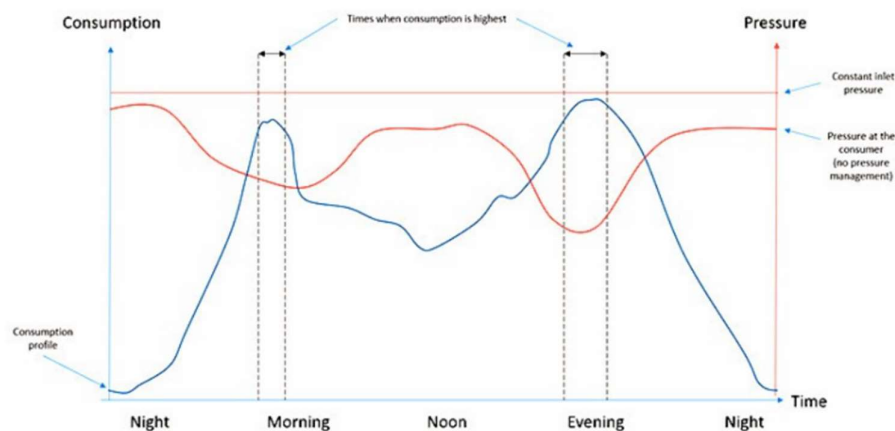
Tyto požadavky na tlakové poměry ve vodovodní síti ovlivňují výškový návrh vodojemů a koncepční řešení konkrétního vodovodu. Je-li spotřebiště výškově různorodé a rozdíl tlaku je v zásobené oblasti vyšší než 0.25 – 0.35 MPa, přistupuje se k návrhu více tlakových pásem. Tlakové pásmo je hydraulicky nezávislá část spotřebiště, která je samostatně zásobována vodou v určitém rozmezí přetlaku. [1]

U rozsáhlých spotřebišť (tlakových pásem) je žádoucí zásobení minimálně ze dvou vodojemů – z různých stran. Při návrhu je pak vhodné umístit příslušné vodojem konkrétního tlakového pásma na stejné kótě. [1]

1.1.4 ŘÍZENÍ TLAKU

Řízení tlaku je obecně z pohledu provozovatele považováno za jednu z nákladově nejefektivnějších činností provozování vodovodů. Tlak v síti má přímý dopad na počet poruch a také na množství ztrát vody. Většina havárií na potrubí je zapříčiněna nejen vysokým tlakem, ale také jeho neustálými výkyvy. Čím vyšší je potom tlak v potrubí – tím vyšší je míra ztrát a naopak. Z těchto důvodů je vhodné udržovat tlak na minimálních hodnotách, které zároveň negativně neovlivní odběratele. [7]

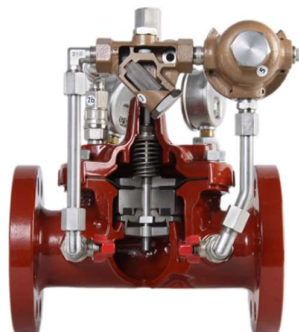
Z důvodu vyrovnání tření v potrubí je obvykle vstupní tlak vyšší než požadovaný minimální tlak. Tření je však také závislé na průtoku, a tudíž se mění v průběhu dne dle aktuální spotřeby. Konstantní vstupní tlak tedy v důsledku znamená, že hodnota tlaku se bude během dne u koncového odběratele měnit – nejvyšší bude v době, kdy dochází k minimální spotřebě, a naopak nejnižší bude v časech se špičkovými odběry – ráno a večer. [7]



Obrázek č. 5: Tlaky na síti v průběhu dne se vstupní regulací tlaků a bez ní, převzato: [7]

K řízení tlakových poměrů ve vodovodní síti se používají regulační ventily – ty umožňují redukcí tlaku, průtoku a regulaci hladiny. Jsou osazovány také pro ochranu čerpadel před vodním rázem a nebo pro uzavírání potrubí při havárii – kdy průtok již nespĺňuje limitní provozní podmínky. [1]

Regulační ventil je složen z talířovitého škrtkícího elementu, regulačního pístu, odlehčovacího pístu a pružiny, pomocí které je ventil seřízen na požadovaný tlak. Dojde-li ke zvýšení tlaku nad požadovanou hodnotu – pružina je stlačována tlakem vody a posune tak škrtkící element blíže k sedlu – tím se přítok vody částečně či zcela uzavře. Při poklesu tlaku dochází k opačnému procesu. [8]

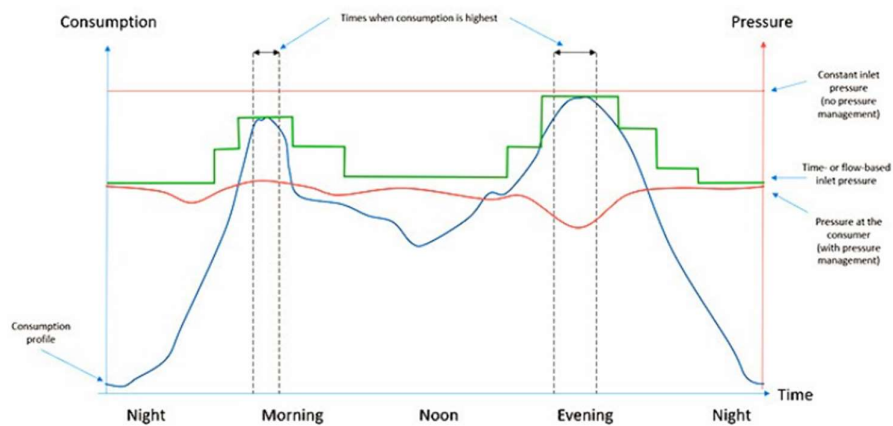


Obrázek č. 6: Řez regulačním ventilem, převzato: [9]

Dle způsobu, jakým je regulace tlaku docílena, můžeme definovat tyto základní procesy regulace pomocí ventilů:

- regulace tlaku na konkrétní hodnotu;
- řízení tlaku na základě průtoku. [8]

Regulací tlaku na konkrétní hodnotu nastavujeme požadované tlaky za ventilem. Je možné také zapojení časového řízení a tlak tak upravovat v konkrétních časových úsecích. Cíleně je tak možné snižovat tlak v intervalech s nízkou spotřebou, a naopak jej zvýšit při jejím zvýšení. Výsledkem je potom snížení průměrného tlaku v síti, což se pozitivně odráží na množství poruch a ztrát. [7]



Obrázek č. 7: Časová regulace tlaků na síti v průběhu dne, převzato: [7]

Při řízení tlaku na základě průtoku dochází k regulaci průtoku za ventilem na nastavenou hodnotu. Ventil disponuje integrovaným průtokoměrem – výstupní tlak je tedy upravován dle aktuální spotřeby vody. Tím je docíleno vyšší stability tlaků u spotřebitelů a snížení průměrného tlaku v síti. Ventily také dokážou reagovat na náhlé změny ve spotřebě – typicky prázdninové období nebo požární odběry vody. [7]

1.1.5 STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI

Stáří vody je hlavním faktorem, který vede ke zhoršení jakosti vody ve vodovodních systémech. Důvodem jsou interakce vody se stěnami potrubí a reakce, ke kterým dochází v distribuované pitné vodě. Výsledkem jsou potom chemické, fyzikální a senzorické změny. [9]

Stáří vody je definováno jako doba, za kterou voda doputuje v rámci distribučního systému od zdroje k místu spotřeby. Závisí na dimenzi a délce potrubí, spotřebě vody, typu rozvodné sítě, nastavení ventilů a provozu čerpadel. Stáří vody se může pohybovat v řádu několika hodin až dní – s rostoucí spotřebou se zkracuje doba, po kterou je voda v distribuční soustavě exponována. [10]

Procesy, jež jsou spjaté se stářím vody, a které negativně ovlivňují jakost dopravované pitné vody, můžeme dělit do následujících kategorií.

Chemické:

- tvorba vedlejších dezinfekčních produktů;
- dezinfekční rozpad;
- vliv koroze potrubí.

Biologické:

- nitrifikace;
- dezinfekce vedlejších produktů biodegradace;
- množení mikroorganismů.

Fyzikální:

- zvýšení teploty vody;
- usazování jemného nezpevněného sedimentu;
- zákal.

[9]

Vedlejší produkty dezinfekce

Vznikají při reakci dezinfekčního činidla s přirozeně se vyskytujícími látkami v pitné vodě. Jejich vznik závisí na typu organických látek obsažených ve vodě, pH vody, teplotě a zbytkové koncentraci dezinfekce. Při rostoucím stáří vody se zvyšuje potenciál produkce těchto vedlejších produktů. Stejným způsobem působí vyšší teploty vody v letních měsících. [9]

Nitrifikace a množení mikroorganismů

Nitrifikace je proces oxidace dusíku (amoniaku) na dusitany a dusičnany. Nitrifikující bakterie se vyskytují především v předdimenzovaných úsecích potrubí s nízkými průtoky – tím je ovlivněna teplota vody a dochází zde také k tvorbě biofilmu na stěnách potrubí. [9]

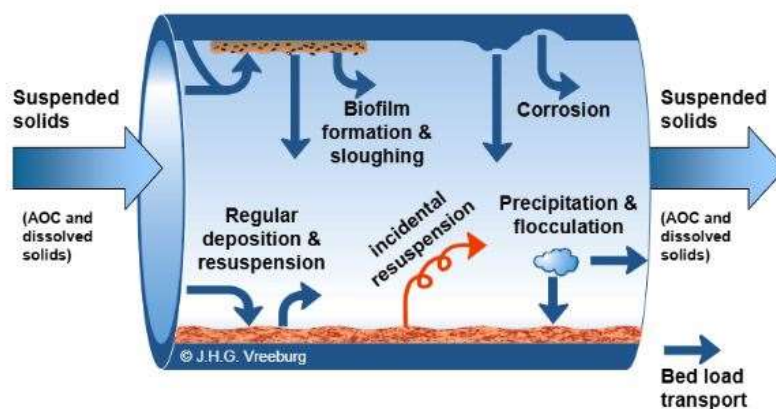
S rostoucím stářím vody se také snižuje potřebná koncentrace dezinfekčního činidla – voda tak může být náchylnější ke kontaminaci vlivem množení mikroorganismů. Pro její hygienické zabezpečení je tedy nutné dávku dezinfekčního činidla zvýšit – což může mít negativní vliv na chuť a pach vody v konkrétních úsecích vodovodní sítě. [11]

Sedimentace, tvorba biofilmu a zákal

Sedimentem se rozumí jemné nezpěvněné částice, které se při provozu dlouhodobě akumulují nebo ve vodovodní síti přímo vznikají. Rychlost sedimentace se odvíjí od velikosti částic a jejich složení – může trvat řádově v minutách až po desítky hodin. Takto naakumulované částice podporují biologickou aktivitu v potrubí. [12]

Při běžném hydraulickém režimu, tedy při přibližně týdenní pravidelnosti odběrů vody, se částice sedimentů průběžně usazují a resuspendují bez výrazného vlivu na jakost vody. Zákal vody se pohybuje pod hodnotou stanovenou Vyhláškou č. 252/2004 Sb.- 5 ZF(n), vlivem náhlého vysokého odběru se však zvýší průtok natolik, že dojde k překročení obvyklých rychlostí a smykového napětí – tím dochází ke zviření sedimentů a tzv. zákalové události. [12]

Opětovná sedimentace může trvat i několik dní, během nichž mohou odběratelé spotřebovávat vodu nevyhovující výše zmíněné vyhlášce. [12]



Obrázek č. 8: Procesy pohybu částic v potrubí, převzato: [13]

1.2 CÍLE PRÁCE

Tato práce si klade za cíl vytvoření kvazi-dynamického hydraulického modelu vodovodní sítě skupinového vodovodu Olomouc spolu s analýzou stáří vody. Součástí prací bude provedení měrné kampaně – měření tlaků na vodovodní síti a následná kalibrace modelu na základě získaných dat.

2 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ VODOVODNÍCH SÍTÍ

Pro analyzování vodovodních sítí jakožto uzavřených tlakových trubních systémů se využívá matematického modelování. Matematický model – tedy matematický popis konkrétní vodovodní sítě pak lze využít jak pro posouzení stávajícího stavu, tak pro simulaci stavů návrhových či provozních. [1]

Dle požadovaného výstupu pak na základě modelovaných dat rozlišujeme dvě hlavní úlohy, jimiž jsou:

- hydraulická analýza;
- kvalitativní analýza. [14]

Hydraulická analýza popisuje tlakové a průtokové poměry sledované sítě. Analýza kvalitativní pak řeší jakost a stáří vody – kromě hydraulických procesů zahrnuje také míšení kapalin, a tedy i v nich probíhající chemické reakce. [14]

Jednou z možností využití modelu je návrh budoucích distribučních soustav a simulace jejich funkčních charakteristik, konkrétně při:

- projektování nových vodovodů;
- rozšiřování stávající sítě;
- napojování nových odběratelů;
- rekonstrukcích. [14]

V případě popisu stávajících vodovodních systémů může být model využíván při úlohách jako jsou:

- analýza ztrát vody;
- simulace různých provozních stavů;
- opravy vodojemů či potrubí;
- odstávky zdrojů nebo úpraven vody;
- živelné katastrofy. [14]

2.1 TYPY HYDRAULICKÉ ANALÝZY

Statická

Statická analýza (steady-state analysis) řeší síť v ustáleném stavu – průtoky a tlaky jsou uvažovány jako konstantní v čase. Zabývá se pouze jedním zatěžovacím stavem a pro ten stanovuje hydraulické parametry. Odběry na síti jsou přitom neměnné. [1]

Dynamická

Dynamická analýza (transient analysis) popisuje stav za neustáleného proudění, kdy pracuje v relativně krátkých časových úsecích, mezi nimiž je uvažováno se změnou tlakových a průtokových poměrů. Intervalem jsou zpravidla sekundy. Vhodná je zejména při simulaci vodního rázu, jež vzniká například při rychlé manipulaci s uzávěry. [1]

Kvazi-dynamická

Kvazi-dynamická analýza (quasi-steady analysis) se skládá z několika po sobě jdoucích statických analýz, kdy na rozhraní časových intervalů dochází ke změnám zatěžovacích stavů a dalších parametrů jako jsou například kóty hladin ve vodojemech. Časový krok posloupnosti těchto analýz se pohybuje zpravidla v řádu minut až hodin. Posuzované zatěžovací stavy jsou dlouhodobého charakteru – dny až týdny. [1]

2.2 VSTUPNÍ DATA

Vstupními daty pro provedení hydraulické analýzy jsou základní topografické a hydraulické parametry modelované vodovodní sítě. Ty jsou potom doplněny podrobnými daty o vtocích a odběrech ze sítě, režimu čerpání, provozu objektů nebo dalších prvků na síti a podobně. [1]

Vstupní data lze přehledně charakterizovat:

- geometrie sítě – směrové, délkové, výškové a polohové údaje;
- hydraulické parametry – světlost, materiál a hydraulická drsnost potrubí;
- režim čerpání a provozu – čerpadla, vodojemy, přerušovací komory, regulační ventily, uzávěry a další;
- data vtoků a odběrů do/ze sítě. [15]

Pro kalibraci modelu je vstupní sada dat doplněna také údaji z měření přímo na síti:

- hydraulická data – průtoky a tlaky v konkrétních místech;
- přesné hodnoty vtoků a odběrů. [1]

2.3 SCHEMATIZACE VODOVODNÍ SÍTĚ

Při modelování vodovodní sítě je nutné přistoupit ke schematizaci celého systému tak, aby se předešlo nadměrné složitosti modelu vlivem velkého počtu menších odběratelů (domovních přípojek). Síť je pak zobrazena jako soustava uzlů a úseků – v uzlech dochází k odběrům a nátokům vody, zatímco úseky představují části sítě, jako jsou potrubí, armatury či čerpadla, kterým lze přiřadit hydraulické vlastnosti (drsnost, dimenzi nebo průtok). [1]

2.3.1 METODA REDUKOVANÝCH DÉLEK

Počet odběrných míst lze snížit pomocí metody redukovaných délek, kdy se jednotlivým úsekům potrubí podle hustoty a výšky zástavby přiřazuje redukční součinitel C_1 . Na základě tohoto součinitele se vypočte redukovaná délka úseku, přičemž celkový odběr Q_i se následně rovnoměrně rozdělí mezi oba krajní uzly daného úseku. [1]

$$L_r = C_1 \cdot L$$

Kde: L_r – redukovaná délka [m]
 L – skutečná délka úseku [m]

Následně je pro stanovení specifické potřeby vody vypočítat celkovou redukovanou délku posuzované sítě S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{r,i}$$

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r}$$

kde: S_r – celková redukovaná délka [m]
 q_r – specifická potřeba vody pro každý úsek [$m^2 \cdot s^{-1}$]
 Q_c – celková potřeba vody posuzované sítě [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Na závěr se pro konkrétní úsek stanoví průtok ze specifické potřeby a dotyčné redukované délky:

$$Q_i = q_r \cdot L_{r,i}$$

Kde: Q_i – odběr v konkrétním úseku [$m^3 \cdot s^{-1}$]

2.3.2 METODA DVOU SOUČINITELŮ

Tato metoda se uplatňuje v případech, kdy lze na základě podkladů u každého odběrného místa charakterizovat počet zásobovaných osob, bytových jednotek či rozlohu zásobované oblasti. Postup je podobný jako u předchozí metody – jednotlivým úsekům se přiřazují dva součinitele, C_1 a C_2 , a vypočtený celkový odběr Q_i se poté rovnoměrně rozdělí mezi oba krajní uzly daného úseku. [1]

$$P_i = C_1 \cdot C_2$$

kde: P_i – redukovaná délka [m]
 C_1 – počet zásobovaných obyvatel, bytových jednotek, plochy zástavby
 C_2 – specifická potřeby na účelovou jednotku použitou v C_1

Následně se stanoví suma všech těchto součinů S_r :

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i$$

Poté se obdobně jako u předchozí metody vypočítá specifická potřeba vody q_r , jež je potřeba ke stanovení výsledného odběru pro daný úsek Q_i :

$$Q_i = q_r \cdot P_i$$

kde: Q_i – odběr v konkrétním úseku [$m^3 \cdot s^{-1}$]
 q_r – specifická potřeba vody pro každý úsek [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Při statické analýze se tento odběr rozděluje do krajních bodů úseku.

2.4 PODMÍNKY HYDRAULICKÉ ANALÝZY OKRUHOVÝCH SÍTÍ

Hydraulická analýza je založena na dodržení základních fyzikálních zákonů, zejména zákona zachování hmoty a energie. Tyto principy se promítají do tří klíčových podmínek – uzlové, okruhové a hydraulické, které musí být při tlakovém proudění v okruhových sítích splněny. Okruh je přitom chápán jako uzavřená trasa v síti, která má stejný počáteční i koncový uzel. [1]

2.4.1 UZLOVÁ PODMÍNKA

Uzlová podmínka vychází ze zákona zachování hmoty a stanovuje, že v každém uzlu vodovodní sítě musí být součet přítoků roven součtu odběrů. Tato rovnováha však neplatí pro závislé uzly, jako jsou například vodojemy. [1]

Stanovíme-li pro odběry kladnou hodnotu a pro přítoky zápornou, lze podmínku vyjádřit následovně:

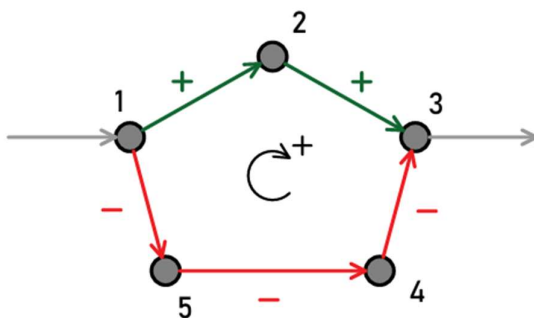
$$\sum Q = 0$$

2.4.2 OKRUHOVÁ PODMÍNKA

Okruhová podmínka vychází ze zákona zachování energie a určuje, že součet tlakových ztrát ve všech úsecích nezávislého okruhu musí být rovný nule. Obvykle se volí kladná orientace ve směru hodinových ručiček. Pokud průtok ve směru úseku odpovídá zvolené orientaci, tlakové ztrátě se přiřazuje kladné znaménko; v opačném případě záporné. [1]

Matematicky lze tedy podmínku vyjádřit jako sumu tlakových ztrát:

$$\sum h = 0$$



Obrázek č. 9: Orientace tlakových ztrát v okruhu, zdroj: autor

2.4.3 HYDRAULICKÁ PODMÍNKA

Hydraulická podmínka určuje vztah mezi tlakovou ztrátou a průtokem v konkrétním trubním úseku. [1]

Matematicky lze tuto podmínku vyjádřit pomocí Darcy – Weissbachovy rovnice:

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

- kde:
- h – tlaková ztráta [m]
 - λ – součinitel ztrát třením [-]
 - L – délka úseku [m]
 - d – vnitřní průměr potrubí [m]
 - v – rychlost proudění při průtoku Q [$m \cdot s^{-1}$]
 - g – gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

2.5 SOFTWARE PRO MODELOVÁNÍ

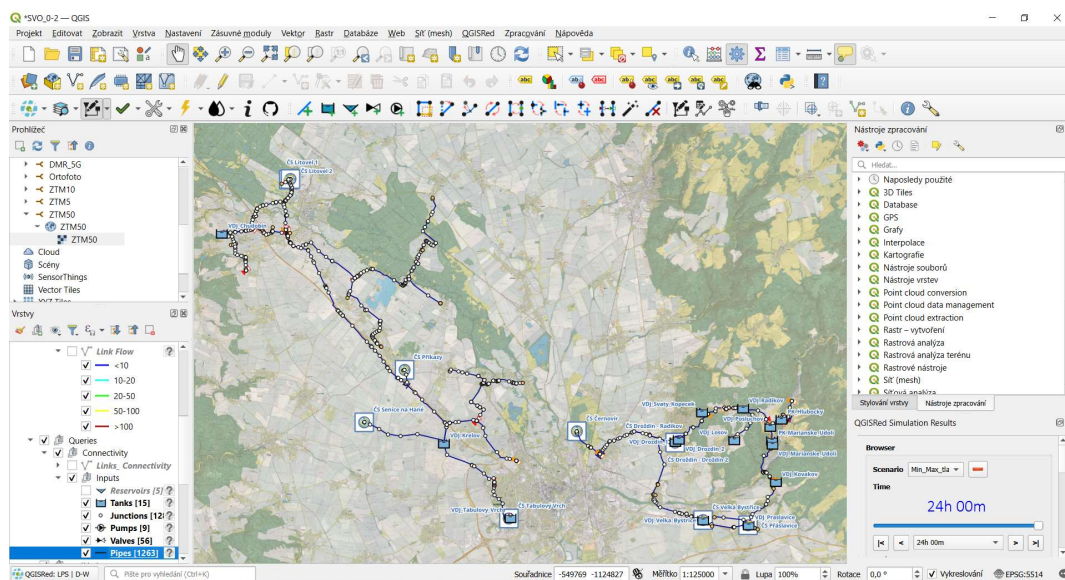
2.5.1 EPANET 2.2

Pro účely této práce byl použit program EPANET 2.2 – což je softwarový nástroj vyvinutý Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států amerických (U.S. EPA). Tento software slouží k simulaci hydraulického chování tlakových potrubních sítí v určitém časovém intervalu. Kromě průtoku a tlaku vody dokáže také modelovat koncentrace látek ve vodě a určovat stáří vody v síti. [16]

Umožňuje provádět statickou analýzu, která zobrazuje jeden konkrétní stav zatížení, i kvazi-dynamickou analýzu, sledující postupnou časovou řadu zatěžovacích stavů - obvykle s krokem jedné hodiny. [16]

Uživatelské prostředí programu je přehledné a intuitivní. Práce probíhá v souřadnicovém systému X–Y, přičemž je možné využít EPANET jako modul pro geografické informační systémy (GIS). Model sítě se skládá z hlavních prvků – potrubí (pipe), uzlů (junction), čerpadel (pump), ventilů (valve), nádrží (reservoir) a vodojemů (tank). [16]

EPANET 2.2 sleduje průtok vody v jednotlivých potrubích, tlaky v uzlech a hladiny v nádržích. Při vytváření modelu je nezbytné správně nastavit jednotkový systém a zvolit odpovídající hydraulický výpočtový vztah, přičemž program nabízí možnosti Hazen–Williams, Darcy–Weisbach nebo Chezy–Manning. [16]



Obrázek č. 10: Pracovní prostředí QGIS s pluginem QGISRed, zdroj: autor

Aby bylo možné model vytvořený v rámci této práce nadále využívat a editovat provozovatelem Skupinového vodovodu Olomouc – byl při jeho tvorbě použit plugin QGISRed v prostředí programu QGIS, který Vodohospodářská společnost Olomouc a.s. využívá pro evidenci provozovaných vodovodních sítí.

QGISRed je určený k tvorbě hydraulických modelů vodovodních sítí (na modelu EPANET). Plugin plynule spolupracuje s prostředím QGIS, díky čemuž je možné georeferencovat prvky sítě, využívat podkladové mapové vrstvy, upravovat grafická i popisná data, používat geoprocessingové nástroje, vizualizovat informace po vrstvách a upravovat jejich symboliku. [17]

Program dovoluje volbu z dvojice výpočtových analýz:

Analýza řízená tlakem (Pressure Driven Analysis – PDA)

Zohledňuje závislost průtoku na tlaku. Pro každý uzel sítě se definuje tlak, ke kterému je přiřazen odpovídající průtok a odběr. Pokud tlak klesne pod tuto hodnotu, průtok se úměrně snižuje. Tento přístup lépe odráží skutečné chování vodovodní sítě, kde pokles tlaku vede k omezení dodávky vody. [18]

Analýza řízená odběrem (Demand Driven Analysis – PDA)

Označovaná také jako Demand Driven Model (DDM), jež byla použita při této práci předpokládá, že odběry jsou realizovány v plném rozsahu bez ohledu na tlak. Na základě zadaných odběrů se dopočítají průtoky, ztráty a výsledné tlaky v uzlech pomocí gradientní metody. Nevýhodou DDM je, že při nedostatečném tlaku může program vykazovat nereálné záporné tlaky, což signalizuje chybně nastavený model. [19]

Gradientní metoda spočívá na principu určení tlaků v jednotlivých uzlech sítě prostřednictvím soustavy nelineárních rovnic, která vychází z uzlové a hydraulické podmínky. Tato soustava je zapisována v maticové formě a řeší se iteračním výpočtem. [1]

Postup spočívá v počátečním odhadu průtoků ve všech úsecích bez nutnosti splnění uzlové podmínky. Na základě těchto odhadů se vypočítají tlaky v uzlech a následně se soustava rovnic znovu přepočítává, čímž se průtoky i tlaky postupně zpřesňují. Tento proces pokračuje, dokud není splněna uzlová podmínka a dosaženo stanovené přesnosti řešení. [1]

2.5.2 MODELOVÁNÍ STÁŘÍ VODY

Stáří vody je náhradní ukazatel kvality vody, který vyjadřuje, jak dlouho se určitý objem vody nachází v zásobovacím systému, než je spotřebován nebo ztracen únikem. Stáří vody se měří od okamžiku, kdy voda opustí zdroj, až po bod odběru (uzel s odběrem). [20]

Ačkoliv stáří vody nepopisuje přímo kvalitu vody ve vodovodní síti, ovlivňuje další parametry, například tvorbu vedlejších produktů dezinfekce nebo přítomnost mikrobiálních kontaminantů – jejichž úroveň mají tendenci se zvyšovat s rostoucím stářím vody a klesajícím množstvím účinné dezinfekční látky. [20]

Obecně platí, že průměrné stáří vody v modelu klesá s úrovní schematizace – jelikož cesta, kterou voda urazí od zdroje k odběrateli, je kratší než v podrobném modelu. Proto je důležité zachovat topologii sítě v co nejbližším (možném) stavu vzhledem k reálnému systému. [20]

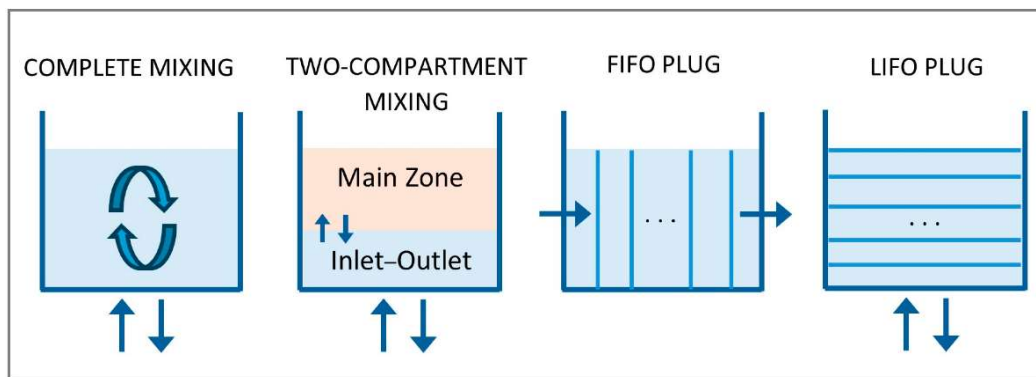
Stáří vody se dá určit také empiricky pomocí tzv. tracer study – kdy je na úpravně vody přidávána stopovací chemikálie, relativně inertní nebo nereaktivní a snadno detekovatelná. Běžně se používá například chlorid nebo fluorid vápenatý ($CaCl_2$, CaF_2). Koncentrace této látky je potom na síti sledována pomocí senzorů na základě konduktivity vody. Provedení takové studie je ovšem náročné a musí se opakovat sezónně nebo také pro různé provozní stavy. [20]

Pro co nejbližší zachování provozních parametrů vodovodní sítě je při analýze kvality potřeba zahrnout:

- parametry úseků – délku a průměr potrubí, hydraulickou drsnost;
- časové parametry – délka intervalu, celkové období analýzy;
- hydraulické a kvalitativní metody výpočtu;
- ovládací prvky – čerpadla, plnění/prázdnění nádrží, provoz ventilů. [20]

Stáří vody je také značně ovlivněno dobou, po kterou je akumulována ve vodojemech a jakým způsobem je distribuována do sítě. EPANET nabízí čtyři možnosti pro simulaci průběhu akumulace:

- MIXED – předpokládá úplné promíchání vody v nádrži;
- 2COMP – dvoukomorové, tj. separátní promíchání;
- FIFO – first-in-first-out;
- LIFO – last-in-first-out. [20]

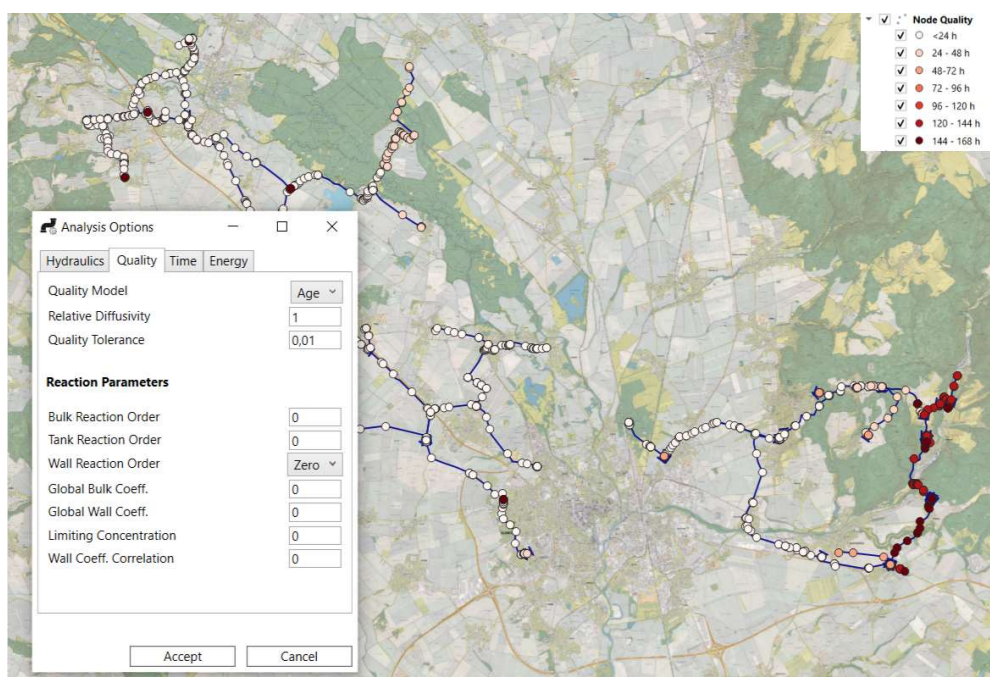


Obrázek č. 11: Modely promíchání vody ve VDJ v programu EPANET, převzato: [22]

Režim MIXED předpokládá, že voda uvnitř nádrže je vždy dokonale promíchána, tedy bez vrstvení nebo zón s odlišnou kvalitou. Model proto počítá kvalitu vody v nádrži jako průměrnou hodnotu mezi nově přitékající vodou a vodou, která se již v nádrži nachází. Výsledkem je, že každá část objemu vody v nádrži má stejnou kvalitu. [20]

Možnost 2COMP modeluje chování nádrže jako systém složený ze dvou oddělených komor. Kvalita vody se v tomto modelu počítá podobně jako u režimu MIXED, tedy na základě průměrné kvality přitékající a již přítomné vody, každá komora je však vyhodnocována samostatně. Tento přístup umožňuje realističtější popis míchání vody, například když v nádrži dochází k částečnému vrstvení nebo nerovnoměrnému proudění. [20]

Režim FIFO (first in, first out) sleduje pořadí přítoku jednotlivých objemů vody do nádrže a zajišťuje, že voda je z nádrže odváděna ve stejném pořadí, v jakém přitekla. Naproti tomu režim LIFO (last in, first out) předpokládá, že voda opouští nádrž v opačném pořadí, tedy že jako první odtéká nejnověji přitéklá voda. V obou případech EPANET sleduje kvalitu vody každé parcely a předpokládá, že mezi jednotlivými vrstvami nedochází k míchání. To se v reálném provozu může vyskytnout například při nerovnoměrném plnění nebo čerpání. [20]



Obrázek č. 12: Modelování stáří vody v pluginu QGISRed, zdroj: autor

Stáří vody je také výrazně ovlivněno regulací tlakových poměrů na síti – redukčními ventily. Mezi tlakem a stářím vody existuje úzký vztah – snižování tlaku vede ke zpomalení proudění a tím ke zvýšení stáří vody, zatímco vyšší rychlosti proudění stáří vody naopak snižují. Proto je nutné hledat optimální kompromis, který odráží jak provozní účinnost, tak i kvalitu dodávané vody. [21]

Optimalizační přístup založený na váhovém faktoru, který určuje preferenci mezi tlakem a stářím vody ukazuje, že při zaměření na tlak se redukční ventily (RV) umísťují blíže k rezervoárům, což však prodlužuje dobu zdržení vody, zatímco při zahrnutí stáří vody do cílové funkce se RV přesouvají hlouběji do sítě, čímž se současně snižuje tlak i zlepšuje kvalita vody. [21]

V tomto přístupu se využívá Mixed-Integer Nonlinear Programming (MINLP), výše zmíněné lze ilustrovat cílovou funkcí:

$$J_{min} = \sum_i (\alpha \cdot WA_i + (1 - \alpha) \cdot P_i)$$

kde: J – kombinovaný efekt stáří vody a tlaku v celé síti, cílem je nalézt takové umístění a nastavení, které tuto hodnotu minimalizuje;

α – váhový faktor preference, $\alpha = 0$ optimalizace dle tlaku, $\alpha = 1$ optimalizace dle stáří vody;

WA_i – stáří vody v uzlu [h];

P_i – tlak v konkrétním uzlu [kPa]. [21]

Před spuštěním simulace stáří vody je nutné nastavit parametry v nabídce Time Options (časové volby) - Total Duration, Reporting Time Step a Statistic.

Total Duration určuje celkovou délku simulace. Pokud je nastavena na 0 hodin, simulace proběhne pouze jako jednorázová hydraulická analýza. Pokud je hodnota větší než nula, EPANET provede dlouhodobou simulaci (EPS – Extended Period Simulation). [20]

Reporting Time Step je časový interval mezi jednotlivými výstupy výpočtu. Změnou tohoto intervalu lze zvýšit nebo snížit časové rozlišení výsledků. [20]

Parametr Statistic určuje, jakým způsobem bude EPANET statisticky zpracovávat výsledky dlouhodobé simulace. Možnosti nastavení jsou:

- none – výstupy se zobrazují v každém jednotlivém kroku;
- average – průměrná hodnota;
- minimum – minimální hodnoty;
- maximum – maximální hodnoty;
- range – interval mezi minimem a maximem.

[20]

3 HYDRAULICKÁ ANALÝZA SKUPINOVÉHO VODOVODU OLOMOUC

V rámci zpracování projektu „Hydraulická analýza skupinového vodovodu Olomouc“ byl sestaven hydraulický model tohoto skupinového vodovodu (dále děleného na dvě samostatné funkční podskupiny) včetně základního navázání na další vodárenské systémy v regionu. Model byl vytvořen v softwaru EPANET, resp. pluginu QGISRed, který vychází z jeho datasetu a umožňuje stavbu hydraulického modelu přímo v prostředí programu QGIS, což pak dále vede ke snadnému georeferencování všech prvků a podstatnému zjednodušení dalšího využití modelu dle potřeb provozovatele vodovodní sítě.

Model zahrnuje všechny důležité objekty vodovodu – přítoky ze zdrojů, vodojemy, čerpací stanice, měrné objekty a armaturní šachty. V rámci schematizace vodovodní sítě nebyly do modelu vneseny rozvodné sítě v jednotlivých spotřebištích a vodovodní přípojky – spotřebiště jsou tedy řešena jako bodové odběry na síti. Tomuto přispěl i fakt, že model byl zpracován výhradně pro sítě, jež jsou provozované a majetkem Vodohospodářské společnosti Olomouc, a.s.

Na základě dat získaných z proběhlé měrné kampaně byl model kalibrován a verifikován pro 24 časových kroků. Hydraulický model reprezentuje chování vodovodní sítě během jednoho reprezentativního dne – 24 h. Byla provedena také analýza stárí vody v síti.

3.1 VSTUPNÍ PODKLADY A INFORMACE

Topologie sítě pro hydraulický model

- digitální verze situace vodovodních řadů s informacemi o materiálu, profilech a tlakových pásmech.

Provozní řád

- Informace o objektech, zdrojích vody, hladinách a velikosti akumulací. [22]

Výškopis a polohopis

- polohopis vodovodní sítě byl definován na základě GIS podkladů provozovatele. Výškopis byl v QGISu specifikován z digitálního modelu terénu 5. generace ČÚZK.

Údaje z dispečinku

- z dispečinku provozovatele byla exportována data o okamžitých průtocích ze všech vodoměrů přenášených na dispečink.

Měrná kampaň

- v listopadu 2025 byla zhotovitelem provedena měrná kampaň na vodovodní síti, během které probíhalo měření tlaků tlakovými čidly. Naměřená data byla použita pro kalibraci hydraulického modelu.

Místní šetření

- během měrné kampaně byla za doprovodu pracovníka provozu provedena prohlídka terénu a důležitých objektů.

4 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Skupinový vodovod Olomouc (dále jen SV Olomouc) se nachází v centrální části okresu Olomouc, a kromě samotného města Olomouc a jeho integrovaných částí zásobuje pitnou vodou také města Litovel nebo Velká Bystřice a přilehlé obce. V rámci této dokumentace je podrobně řešena pouze infrastruktura, jež je majetkem a v provozování Vodohospodářské společnosti Olomouc a.s. – navazující souvislosti jako předávací místa (odběry) apod. jsou popsány a zohledněny jak v hydraulickém modelu, tak v grafických přílohách.

Předmětem tohoto projektu je skupinový vodovod Olomouc jako celek, vzhledem ke komplexnosti celého systému a snaze o přesné popsání jeho fungování bylo však nutné přistoupit k jeho rozčlenění.



Obrázek č. 13: Situace širších vztahů - distribuční síť SV Olomouc

Jelikož lze SV Olomouc funkčně rozdělit na dvě podskupiny, bylo při zpracovávání této dokumentace respektováno současné rozdělení dle provozovatele:

- podskupina Litovel;
- podskupina Olomouc – Hlubočky.

Pro snazší pochopení kontextu jsou tedy tyto dva celky popsány odděleně.

4.1 POPIS SV OLOMOUC – PODSKUPINA LITOVEL

Podskupina Litovel je situována severozápadně od Olomouce, kterou zásobuje vodou celkem ze čtyř zdrojů. Nejvzdálenějšími objekty (od města Olomouc) jsou čerpací stanice Litovel 1 a 2 a vodojem (VDJ) Chudobín. Zmíněná čerpací stanice se nachází v katastru města Litovel (na levém břehu řeky Moravy, v lokalitě Čerlinka) při prameništi Litovel a odtud je voda čerpána dvěma směry – na VDJ Chudobín a poté na VDJ Křelov – tedy směrem k Olomouci.

Celou podskupinu lze charakterizovat jako (hlavní) přiváděcí řad z města Litovel do Olomouce, ze kterého jsou pomocí rozvodných sítí (vedlejších větví) zásobovány přilehlé obce, a ze kterých je také do systému přiváděna voda z dalších zdrojů.

Již zmíněná větev ČS Litovel – VDJ Chudobín dále pokračuje přes obce Chudobín a Haňovice do obce Myslechovice, kde je na ni v měrném objektu (MO) napojen skupinový vodovod Pomoraví (Cholina).

Z VDJ Chudobín jsou pak zásobeny také obce Mladeč (a místní část Sobáčov), Víška, Nasobůrky a průmyslová zóna Litovel.

Na jižním okraji města Litovel se nachází měrný objekt (MO) Litovel, ze kterého odebírá vodu město Litovel a obce Červenka a Tři Dvory – tato síť však spadá pod jiného provozovatele.

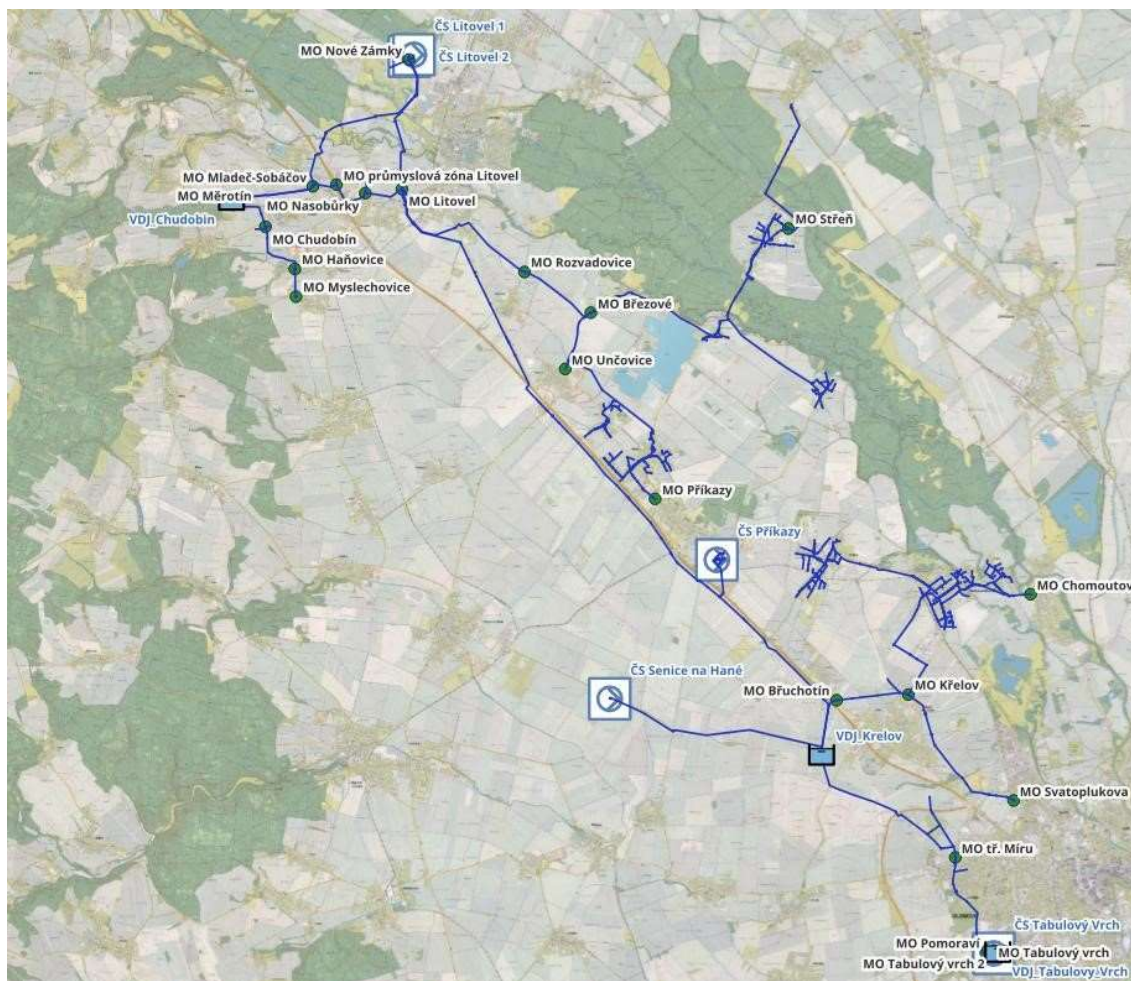
Z téhož MO se po redukci tlaku odděluje další větev zásobena z VDJ Chudobín, která pokračuje směrem na obce Rozvadovice a Březové, kde se rozděluje a v jižním směru zásobuje obce Unčovice, Mezice, Náklo a Příkazy. V severním směru pak obce Lhota nad Moravou, Hynkov, Střeň a Pňovice.

MO Litovel prochází také výtlačný řad ve směru ČS Litovel – VDJ Křelov, na který je v obci Příkazy napojen výtlač z úpravní vody (ÚV) Příkazy. Z této úpravní je do systému dodávána voda z dalších dvou zdrojů – prameniště Pňovice I-III a prameniště Březové.

VDJ Křelov je zásoben ještě z východního směru – z prameniště a ČS Senice na Hané. Vodu z něj poté odebírá také skupinový vodovod Pomoraví 1 (SV Náměšť na Hané).

Primárně je však voda dopravována dvěma směry, severním – na obce Břuchotín a Křelov, kde se tento řad větví do obcí Horka nad Moravou, Skrbeň a Chomoutov a druhá část vede směrem do Olomouce, kde je ukončena v MO Svatoplukova, a jižním – tím je voda vedena do MO Třída Míru a přes městskou část Neředín do VDJ Tabulový Vrch (městská část Nová Ulice).

Z těchto (koncových) míst je voda distribuována rozvodnou sítí města Olomouc, která v současnosti není provozována VHS Olomouc a.s.



Obrázek č. 14: Situace širších vztahů - podskupina Litovel

4.1.1 ZDROJE VODY

Systém disponuje těmito zdroji vody:

- prameniště Litovel – podzemní voda, čerpání na VDJ Křelov;
- prameniště Pňovice (I, II, III) – podzemní voda, přivaděč surové vody do ÚV Příkazy;
- prameniště Březové – podzemní voda, přivaděč surové vody do ÚV Příkazy;
- prameniště Senice na Hané – podzemní voda, čerpání do VDJ Křelov.

Pro prameniště Litovel a Senice na Hané nebyla z dispečinku provozovatele předána data objemů jímání vody, ovšem relevantní pro systém a model jsou údaje z čerpacích stanic při těchto zdrojích. Pro ty byla provedena analýza průtoků z let 2024 a 2025:

- ČS Litovel – Chudobín: $Q_p = 4682 \text{ m}^3/\text{d} = 54.2 \text{ l/s}$; $Q_d = 6602 \text{ m}^3/\text{d} = 76.4 \text{ l/s}$
- ČS Litovel – Křelov: $Q_p = 5487 \text{ m}^3/\text{d} = 63.5 \text{ l/s}$; $Q_d = 125.2 \text{ m}^3/\text{d} = 125.2 \text{ l/s}$
- ČS Senice na Hané: $Q_p = 3167.8 \text{ m}^3/\text{d} = 36.66 \text{ l/s}$; $Q_d = 3664 \text{ m}^3/\text{d} = 42.4 \text{ l/s}$

Stejně tak byla provedena analýza pro prameniště s dostupnými daty:

Tabulka 1 - Výsledky analýzy průtoků – jímací území – podskupina Litovel

Název zdroje / označení jímacího zařízení	Q _p		Q _d	
	[m ³ /d]	[l/s]	[m ³ /d]	[l/s]
Prameniště Pňovice I-III	7 426.55	85.96	10 862.78	125.73
ČS Pňovice 1	2 061.10	23.86	3 584.27	41.48
ČS Pňovice 2	2 563.30	29.67	3 724.21	43.10
ČS Pňovice 3	2 802.14	32.43	3 554.30	41.14
Prameniště Březové	2 700.01	31.25	3 904.26	45.19
ČS Březové	2 700.01	31.25	3 904.26	45.19

Jelikož je surová voda z těchto zdrojů dopravována do ÚV Příkazy jsou pro model relevantní průtoky na výstupu z ÚV:

- ČS Příkazy: $Q_p = 6297.13 \text{ m}^3/\text{d} = 72.88 \text{ l/s}$; $Q_d = 9994 \text{ m}^3/\text{d} = 115.7 \text{ l/s}$

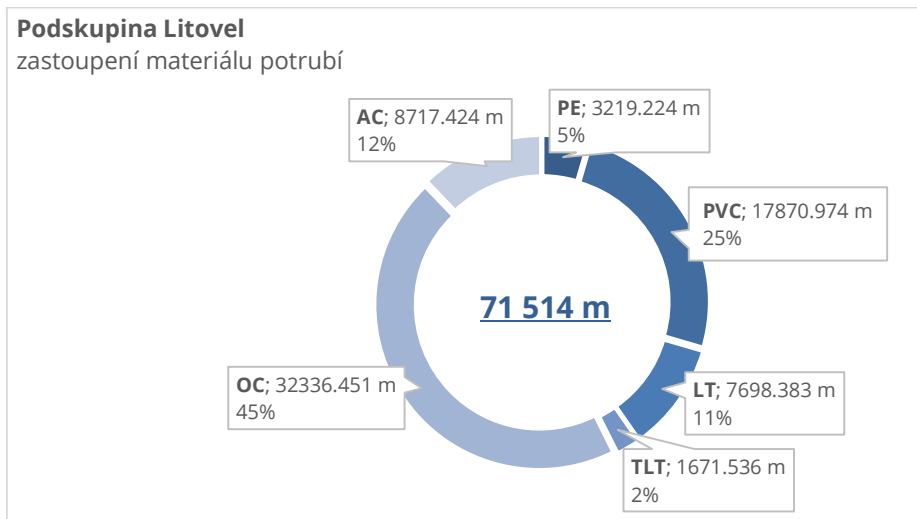
4.1.2 DISTRIBUČNÍ SÍŤ

Podskupina Litovel se z velké většiny nachází v nížině Litovelského Pomoraví ve výškovém rozmezí cca 212 – 305 *m n.m.*, kdy většina spotřebišť nepřesahuje kótu 260 *m n.m.* – ta výše položená se nachází v blízkosti VDJ Chudobín (jihozápadně od města Litovel). Zástavba v celé oblasti je s výjimkou Litovle a Olomouce vesnického charakteru. V blízkosti města Litovel se nachází průmyslová zóna – její spotřeba je měřena v MO průmyslová zóna Litovel.

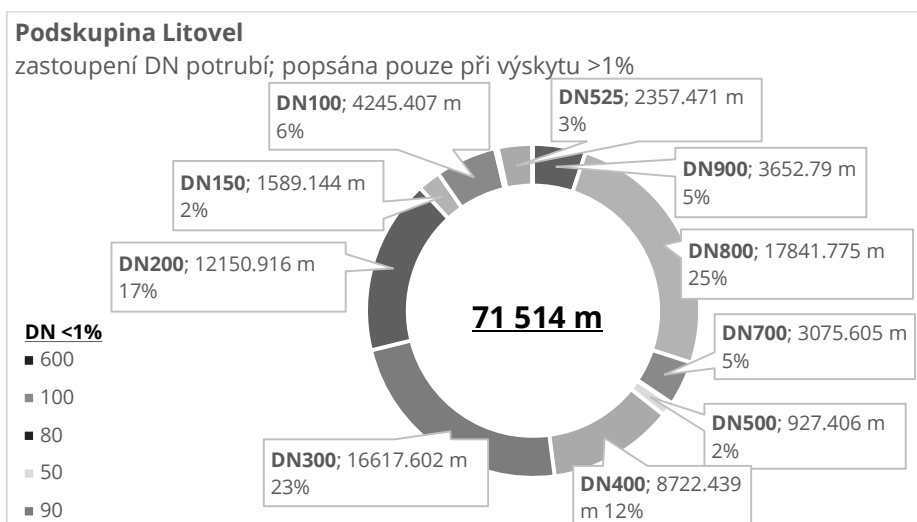
Celý systém je rozdělen do šesti tlakových pásem, kdy dvě z nich určují vodojemy Chudobín a Křelov přímo a jedno pro redukci tlaku (z VDJ Chudobín) nepřímo. Zbývající tři jsou dány čerpáním z čerpacích stanic Litovel, Příkazy a Senice na Hané.

Ve výškových schématech jsou tlaková pásma vyznačena na řadech, objektech a spotřebištech, které jsou majetkem a provozovány VHS Olomouc a.s. (u spotřebišť se jedná o rozvodnou síť).

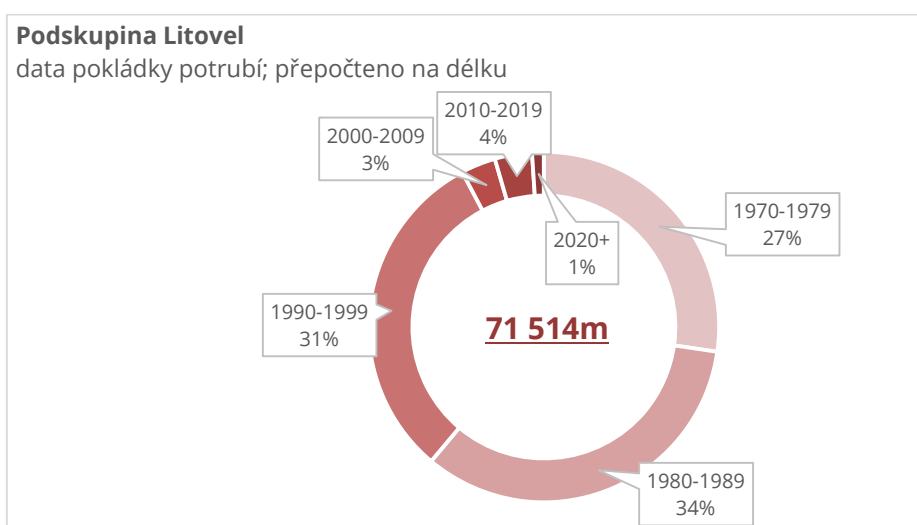
Jak je tedy zřejmé, podskupina Litovel disponuje dvojicí vodojemů – VDJ Chudobín, který je hlavním vodojemem pro spotřebišť jihozápadně a jihovýchodně od Litovle. Voda je do něj čerpána z ČS Litovel–Chudobín (prameniště Litovel). A VDJ Křelov, který se nachází severozápadně od Olomouce a voda je na něj čerpána z ČS Litove-Křelov, ČS Příkazy a ČS Senice na Hané. Je hlavním vodojemem pro blízká menší spotřebišť, a hlavně městské části orientované na severozápad – Řepčín, Hejčín, Neředín a voda je odtud dále dopravována do VDJ Tabulový Vrch (Nová Ulice).



Graf č. 1: Zastoupení materiálu potrubí - podskupina Litovel



Graf č. 2: Zastoupení DN potrubí - podskupina Litovel



Graf č. 3: Data pokládky potrubí - podskupina Litovel

Provozovaná tlaková pásma:

- tlakové pásmo 01 ČS Litovel – Chudobín
- tlakové pásmo 02 VDJ Chudobín
- tlakové pásmo 03 ČS Litovel – Křelov
- tlakové pásmo 04 ČS Příkazy
- tlakové pásmo 05 MO Litovel – redukce tlaku
- tlakové pásmo 07 VDJ Křelov
- tlakové pásmo 08 ČS Senice na Hané

Graficky jsou tlaková pásma (měrné okrsky) znázorněna v přílohách B.2 – Výšková schémata.

Tlakové pásmo 01

Řídícím objektem pro toto pásmo je ČS Litovel – Chudobín, pomocí které je voda dopravována do VDJ Chudobín. Tento přiváděcí výtlačný řad je z AC DN400. V širším areálu ČS Litovel se nachází MO Nové zámky, kde je realizováno odbočení od hlavního řadu – LT DN100 zásobující Nové Zámky a spadající do tohoto tlakového pásma.

Dopravní výška H_{dopr} ČS Litovel – Chudobín je 72.5 m a celé tlakové pásmo se nachází v rozmezí 232.40 (MO Nové Zámky) až 303.50 m n.m. (VDJ Chudobín max. hladina).

Tlakové pásmo 02

Řídícím vodojemem pro toto pásmo je VDJ Chudobín, ze kterého je pásmo gravitačně zásobeno. VDJ Chudobín je zásoben výtlačným přiváděcím řadem AC DN400 z ČS Litovel – Chudobín. Akumulace je tvořena třemi komorami o objemu 855 m³ a jednou komorou 1235 m³.

Dno se nachází na kótě 298.60 m n.m., max. hladina 303.50 m n.m., bezpečnostní přepad 303.95 m n.m.

Z VDJ Chudobín je voda distribuována dvěma směry:

- směr MO Myslechovice;
- směr MO Litovel.

Gravitační řad ve směru na MO Myslechovice je z PVC d315. Přibližně 50 m (jižně) od VDJ Chudobín se nachází MO Měrotín, odkud je veden vedlejší zásobovací řad do obce Měrotín. Hlavní řad potom pokračuje do obce Chudobín, kde jsou z MO Chudobín realizovány odběry pro obce Chudobín a Nová Ves. Dalším objektem je MO Haňovice pro odběr obce Haňovice a MO Myslechovice, který je konečným prvkem této větve. V MO Myslechovice je realizován odběr vody pro obec Myslechovice a také vodovod Pomoraví 2 – SV Cholína.

Ve druhém směru je gravitační řad AC DN400 veden východně k místní části Mladeč-Sobáčov, kde je ve stejnojmenném MO realizován odběr pro tyto dvě spotřebiště. Poté řad podchází železnici a dálnici a vstupuje do MO průmyslová zóna Litovel, odkud je zřízen odběr pro průmyslové podniky. Odtud pokračuje řad TLT DN400 do MO Nasobůrky, kde jsou napojeny obce Víška a Nasobůrky. Tlakové pásmo končí v MO Litovel, kam je veden řad AC DN400 a kde je realizována redukce tlaku.

Tlakové pásmo 03

Řídícím objektem tohoto tlakového pásma je ČS Litovel – Křelov a jedná se vlastně o výtlačný přiváděcí řad z ČS Litovel směrem na VDJ Křelov. Řad je zhotoven z OC DN800, prochází MO Litovel a je veden k ÚV Příkazy, kde je napojen na tamní výtlač z ČS Příkazy.

Na této trase překonává řad vodní toky Morava, Stružka Malá voda (všechny východně od města Litovel). A následně je veden souběžně s komunikací ve směru Litovel – Olomouc.

Dopravní výška H_{dopr} ČS Litovel – Křelov je 54.5 m.

Tlakové pásmo 04

Řídícím objektem pro toto pásmo je ČS Příkazy s dopravní výškou H_{dopr} 58.6 m. Z ní je dopravována upravená voda z ÚV Příkazy na VDJ Křelov výtlačným přiváděcím řadem OC DN500 a po napojení řadu z ČS Litovel – Křelov pokračuje řad jako OC DN900. Jiné objekty s v tomto pásmu nevyskytují.

Tlakové pásmo 05

Toto tlakové pásmo začíná pro redukci tlaku v MO Litovel, kde je přiváděcí řad DN400 redukován na DN200 a je na něm osazena turbína na bázi čerpadla META 21. Obtok je realizován potrubím DN200. Jmenovitý průtok turbínou se pohybuje mezi 25-32.5 l/s, tlaková redukce $H = 18-26$ m.

Z MO Litovel je řad veden nejdříve jako AC, poté LT DN300 směrem k obci Rozvadovice, na trase dvakrát podchází železnici. V MO Rozvadovice je napojen zásobovací řad pro obec Rozvadovice. V extravilánu obce Březové se řad dělí na dva směry:

- jižním směrem je veden řad PVC d225 k obci Unčovice, která je napojena v MO Unčovice a dále k obci Mezice, jež je napojena prostřednictvím odbočení z hlavního řadu do vodoměrné šachty. RVS obce Mezice tvoří převážně PVC d115. Řad následně prochází obcí Náklo, která je taktéž napojena přes vodoměrnou šachtu a jeho RVS tvoří převážně PVC d160 a PE d110. Hlavní řad PVC d225 pak končí v MO Příkazy, kde je realizován odběr pro obec Příkazy;
- v severním směru je řad veden jako LT DN300, prochází MO a obcí Březové a dále Lhotou nad Moravou, kde je přímo z řadu větvena RVS (na trase Březové – Lhota n. M. se nachází VŠ). Po průchodu obcí je z řadu vedena vedlejší větev do obce Hynkov. Hlavní směr pokračuje jako LT DN300 směrem do obce Střeň, kde se větví do RVS. Na konci obce je umístěn MO Střeň, ve kterém je napojen zásobovací řad do obce Pňovice.

Tlakové pásmo 07

Řídícím vodojemem tohoto pásma je VDJ Křelov, jehož akumulace se skládá ze dvou komor o objemu $5237 m^3$ a dalších dvou komor o objemu $5338 m^3$ a $5296 m^3$. Maximální hladina se nachází na kótě $282.85 m n.m.$, dno $278.05 m n.m.$

VDJ Křelov je zásoben z čerpacích stanic Litovel, Příkazy a Senice na Hané.

Z VDJ Křelov jsou vedeny tyto odběry:

- vodovod Pomoraví 1 – SV Náměšť na Hané;
- směr Tabulový vrch;
- směr Svatoplukova.

Ve směru na Tabulový vrch je veden zásobovací řad OC DN800. Prvním objektem je MO Třída Míru, kde je realizováno odbočení řadu OC DN300 do spotřebiště Neředín. Z hlavního řadu jsou potom provedeny tyto odbočky:

- MO Pomoraví III – Retail park, RVS Nedvězí, Slavonín, Nemilany (mimo majetek a provoz VHS).
- MO Tabulový vrch 2 – OC DN500, napojení Neředín.
- MO Tabulový vrch – před vstupem do VDJ Tabulový vrch.

V MO Tabulový vrch je osazena (za redukci 300/200 – obtoku hlavního potrubí po redukcí 800/300) turbína na bázi čerpadla T META -35. Tlaková redukce $H = 25.5 m$, jmenovitý průtok $Q = 0.097 m^3/s$.

Ve směru na MO Svatoplukova je veden gravitační zásobovací řad OC DN700, na kterém se nachází následující napojení:

- MO Břuchotín – TLT DN200 – odběr obce Břuchotín.
- MO Křelov – PVC d225 – odběr obce Křelov a Horka nad Moravou (následně Skrbeň a Chomoutov).
- MO Svatoplukova – konec tlakového pásma.

V MO Svatoplukova je na za redukci obtoku 300/200 osazena turbína na bázi čerpadla DET -250 se jmenovitým průtokem $Q = 0.14 m^3/s$ a tlakovou redukcí $H = 6.11 m$. Hlavní potrubí je v objektu redukováno na 700/300.

Tlakové pásmo 08

Toto tlakové pásmo zahrnuje přiváděcí výtlačný řad z ČS Senice na Hané do VDJ Křelov. Čerpání je realizováno mezi výškami cca 231.50 a $282.90 m n.m.$

Přiváděč je zhotoven z OC DN300 a vede z prameniště Senice na Hané – východně od obce západním směrem do VDJ Křelov.

4.1.3 PŘEHLED VODÁRENSKÝCH OBJEKTŮ

Akumulace

Tabulka 2 - Přehled objektů akumulace - podskupina Litovel

Název	Tlakové pásmo	Akumulace	Nadmořská výška
VDJ Chudobín	02	3×855 m ³ 1×1235 m ³	303.50 / 298.60 m n.m.
VDJ Křelov	07	2×5237 m ³ 1×5338 m ³ 1×5296 m ³	282.85 / 277.50 m n.m.
Akumulace ČS Litovel - Chudobín	01	2×270 m ³	237.69 / 232.80 m n.m.
Akumulace ČS Litovel - Křelov	03		
Akumulace ČS Příkazy	04	1×1500 m ³	236.35 / 233.35 m n.m.
Akumulace ČS Senice na Hané	08	2×150 m ³	231.50 / 223.35 m n.m.

Čerpací stanice

Tabulka 3 - Přehled čerpacích stanic - podskupina Litovel

Název	Umístění	Parametry čerpadel	
ČS Litovel - Chudobín	ČS Litovel	H _{dopr} = 72.5 m	Q = 100 l/s
ČS Litovel - Křelov	ČS Litovel	H _{dopr} = 54.5 m	Q = 180 l/s
ČS Příkazy	ÚV Příkazy	H _{dopr} = 58.6 m	Q = 160 l/s
ČS Senice na Hané	ČS Senice na Hané (prameniště)		Q = 50 l/s

Redukce tlaku

Tabulka 4 - Přehled prvků redukce tlaku - podskupina Litovel

Název	Umístění	Tlaková redukce, vstup. / výstup. tlak
MVE 2	MO Tabulový Vrch	25.5 m
MVE 3	MO Svatoplukova	6.11 m
MVE 4	MO Litovel	18-26 m
Red. ventil	RŠ Hynkov	-

4.2 POPIS SV OLOMOUC – PODSKUPINA OLOMOUC – HLUBOČKY

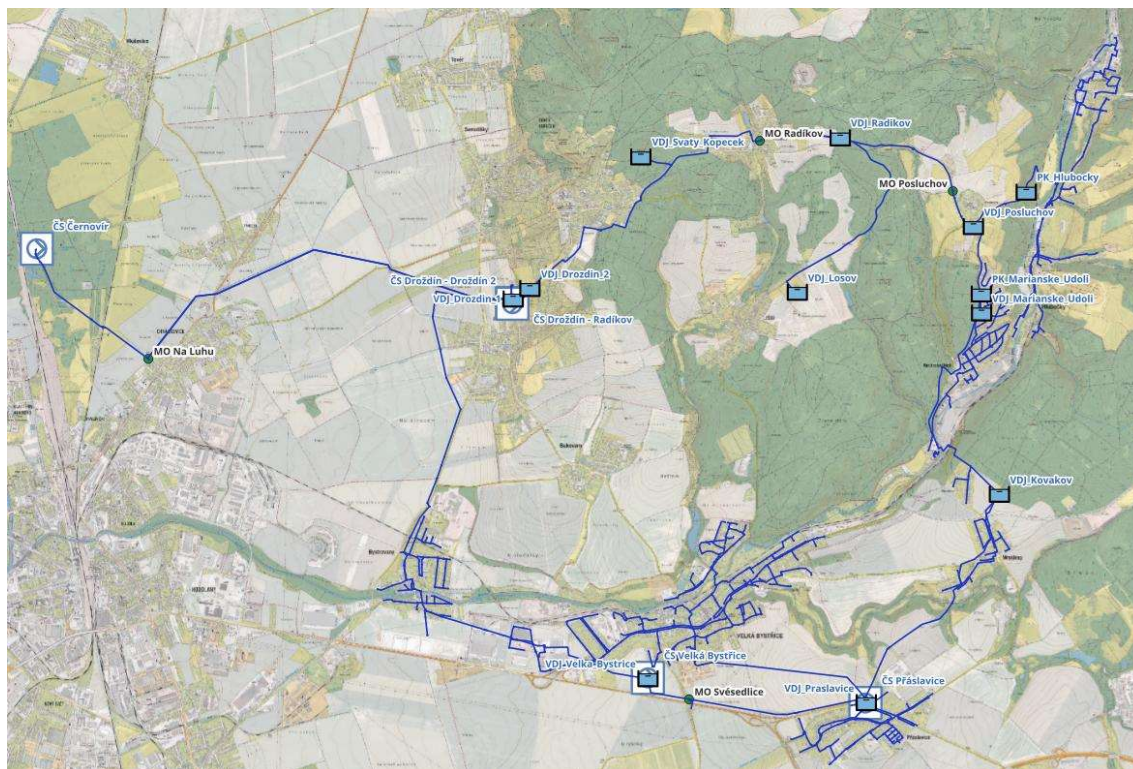
Podskupina Olomouc – Hlubočky je situována na východ od města Olomouc. Výškově je výrazně členitější než podskupina Litovel. Začíná na severu Olomouce, kde se nachází úpravná vody Černovír, do které je přiváděna surová voda ze zdrojů Štěpánov, Moravská Huzová, Chomoutov a Černovír. Odtud je potom upravená voda čerpána do severní větve této podskupiny – směrem na VDJ Droždín (VDJ Droždín 1 a následně 2).

Z VDJ Droždín 1 je pak souběžně s přivaděčem veden gravitační zásobovací řad zpět směrem k Olomouci, kde z MO Na Luhu (městská část Chválkovice) je realizováno napojení východních městských částí (mimo majetek a provoz VHS Olomoc). Severní a jižní větev celého systému je u Olomouce propojena gravitačním řadem z VDJ Droždín 1, který je veden jižním směrem – do obce Bystrovany a města Velká Bystřice, kde se pomyslný okruh se severní větví uzavírá.

Severní část zásobuje vodou obce Droždín, Svatý Kopeček, Radíkov a další (mimo vlastnictví a provoz VHS Olomouc). Objekty a spotřebišťe v této oblasti jsou zároveň nejvýše položenými z celé podskupiny.

Z VDJ Droždín 1 je voda čerpána do VDJ Droždín 2, VDJ Sv. Kopeček a VDJ Radíkov, z nich jsou pak zásobovány výše položená spotřebišťe a tlaková pásma. Severní větev pokračuje z VDJ Radíkov dvěma směry – přivaděcím řadem na VDJ Lošov a hlavním směrem – Na VDJ Posluchov a dále do Hluboček a Mariánského údolí. Z důvodu velkého převýšení v této lokalitě je distribuční síť opatřena přerušovacími komorami (PK Hlubočky a PK Mariánské údolí) a VDJ Mariánské Údolí.

Z PK Mariánské Údolí pak pokračuje hlavní větev systému na VDJ Kovákov – tedy již jižním směrem, odkud je následně voda dopravována na VDJ a ČS Přeaslavice. Sem je voda čerpána také ze západního směru – jižní větve, z ČS Velká Bystřice. Samotné město Velká Bystřice je zásobována ze dvou směrů – z VDJ Droždín 1 a VDJ Přeaslavice.



Obrázek č. 15: Situace širších vztahů - podskupina Olomouc - Hlubočky

4.2.1 ZDROJE VODY

Systém disponuje těmito zdroji vody:

- prameniště Štěpánov – podzemní voda, přivaděč surové vody do ÚV Černovír;
- prameniště Moravská Huzová – podzemní voda, přivaděč surové vody do ÚV Černovír;
- prameniště Chomoutov – podzemní voda, přivaděč surové vody do ÚV Černovír;
- prameniště Černovír – podzemní voda, přivaděč surové vody do ÚV Černovír;

Dle dostupných dat z dispečinku byla provedena analýza průtoků (jímané vody) z jednotlivých zdrojů:

Tabulka 5 - Výsledky analýzy průtoků - jímací území - podskupina Olomouc - Hlubočky

Název zdroje / označení jímacího zařízení	Q _p		Q _d	
	[m ³ /d]	[l/s]	[m ³ /d]	[l/s]
Prameniště Štěpánov	1 926.8	22.3	2 825.4	32.7
<i>JÚ Štěpánov - ČS</i>	1 926.8	22.3	2 825.4	32.7
Prameniště Moravská Huzová	563.9	6.5	1 139.8	13.2
<i>JÚ Moravská Huzová - vrt A</i>	366.9	4.2	718.2	8.3
<i>JÚ Moravská Huzová - vrt B</i>	197.0	2.3	421.7	4.9
Prameniště Chomoutov	966.2	11.2	1 752.0	20.3
<i>JÚ Chomoutov - vrt HV21</i>	318.0	3.7	452.3	5.2
<i>JÚ Chomoutov - vrt HV22</i>	166.7	1.9	428.2	5.0
<i>JÚ Chomoutov - vrt HV23</i>	235.4	2.7	397.2	4.6
<i>JÚ Chomoutov - vrt HV24</i>	246.1	2.8	474.3	5.5
Prameniště Černovír	6 344.2	73.4	9 891.5	114.5
<i>JÚ Černovír - studna H1</i>	-	-	-	-
<i>JÚ Černovír - studna H2</i>	-	-	-	-
<i>JÚ Černovír - studna H3</i>	498.6	5.8	928.8	10.7
<i>JÚ Černovír - studna H4</i>	755.6	8.7	1 060.2	12.3
<i>JÚ Černovír - studna A0</i>	1 096.5	12.7	1 895.1	21.9
<i>JÚ Černovír - studna C16</i>	693.3	8.0	959.6	11.1
<i>JÚ Černovír - studna E0 - výtlač 1</i>	2 292.0	26.5	3 317.5	38.4
<i>JÚ Černovír - studna E0 - výtlač 2</i>	1 008.2	11.7	1 730.4	20.0

Jelikož je surová voda z těchto zdrojů dopravována do ÚV Černovír jsou pro model relevantní průtoky na výstupu z ÚV:

- ČS Černovír – výtlač V1: $Q_p = 5214.98 \text{ m}^3/\text{d} = 60.36 \text{ l/s}$; $Q_d = 11729 \text{ m}^3/\text{d} = 135.8 \text{ l/s}$
- ČS Černovír – výtlač V2: $Q_p = 2797.13 \text{ m}^3/\text{d} = 32.37 \text{ l/s}$; $Q_d = 12751 \text{ m}^3/\text{d} = 147.6 \text{ l/s}$

4.2.2 DISTRIBUČNÍ SÍŤ

Podskupina Olomouc - Hlubočky se ve své jižní části nachází v rovinatém území (Bystrovany, Velká Bystřice a Přáslavice), avšak severní část je značně členitá. Výškové rozmezí celého systému se pohybuje mezi 211 – 426.90 *m n.m.*, kdy nadmořská výška sítě stoupá směrem od Olomouce k lokalitám Droždín, Svatý Kopeček a Radíkov, odkud opět klesá směrem na Posluchov a Mariánské Údolí. Zástavba v celé oblasti vyjma Olomouce je převážně vesnického charakteru, dalšími výjimkami mohou být části obcí Velká Bystřice, Mariánské Údolí a Hlubočky, kde má část zástavby sídlištní charakter. V blízkosti města Velká Bystřice se nachází průmyslová zóna – její spotřeba je měřena v příslušné VŠ Průmyslová zóna.

Celý systém je rozdělen do čtrnácti tlakových pásem. Ve výškových schématech jsou tlaková pásma vyznačena na řadech, objektech a spotřebištích, které jsou majetkem a provozovány VHS Olomouc a.s. (u spotřebišť se jedná o rozvodnou síť).

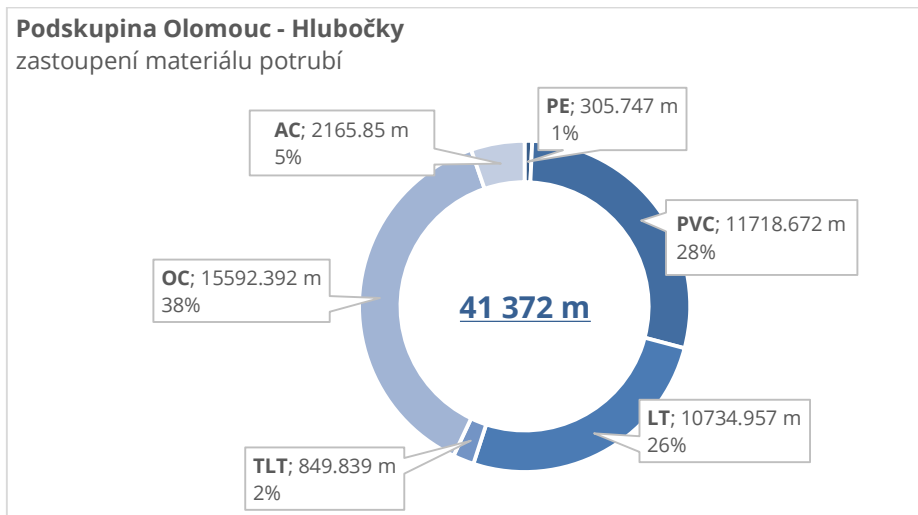
Podskupina Olomouc - Hlubočky disponuje výrazně vyšším počtem vodojemů a dalších objektů, jež jsou řídicími prvky jednotlivých tlakových pásem. Hlavními vodojemy pro systém jsou VDJ Droždín 1, VDJ Radíkov, VDJ Posluchov, VDJ Mariánské Údolí, VDJ Kovákov, VDJ Přáslavice a VDJ Velká Bystřice. Ty však nejsou jediné, ovšem jejich relevance je z hlediska funkce systému (a modelu) vyšší.

Dalšími objekty, jež plní řídicí funkci pro dotyčná tlaková pásma jsou ČS Černovír, ČS Droždín – VDJ Droždín 2, ČS Přáslavice a ČS Velká Bystřice. Z přerušovacích komor to jsou PK Mariánské Údolí a PK Hlubočky.

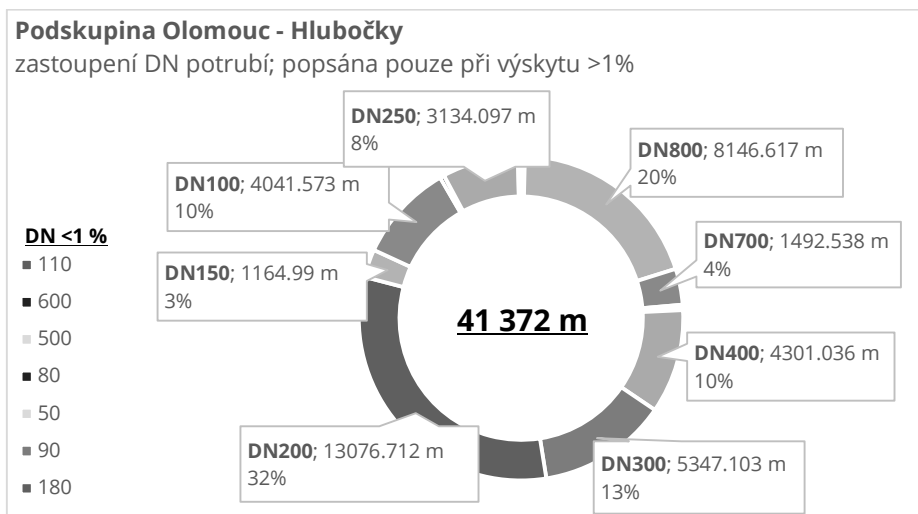
Provozovaná tlaková pásma:

- tlakové pásmo 06 ČS Černovír;
- tlakové pásmo 09 VDJ Droždín 1;
- tlakové pásmo 10 ČS Droždín – Radíkov;
- tlakové pásmo 11 VDJ Radíkov;
- tlakové pásmo 12 VDJ Posluchov;
- tlakové pásmo 13 PK Hlubočky;
- tlakové pásmo 14 AŠ 86 Hlubočky – Dukla;
- tlakové pásmo 15 PK Mariánské Údolí;
- tlakové pásmo 16 VDJ Mariánské Údolí;
- tlakové pásmo 17 VDJ Kovákov;
- tlakové pásmo 18 VDJ Přáslavice;
- tlakové pásmo 19 ČS Přáslavice;
- tlakové pásmo 20 AŠ 469 Velká Bystřice;
- tlakové pásmo 21 ČS Velká Bystřice.

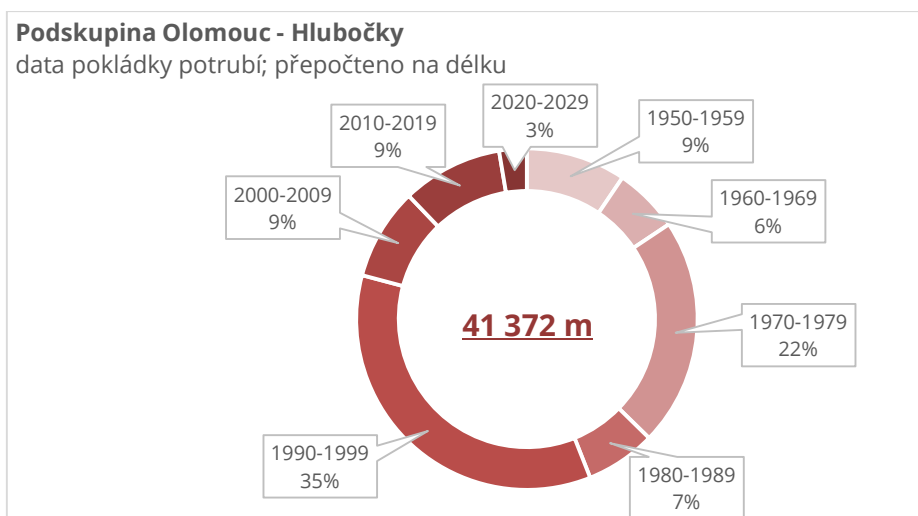
Graficky jsou tlaková pásma (měrné okrsky) znázorněna v přílohách B.2 – Výšková schémata.



Graf č. 4: Zastoupení materiálu potrubí - podskupina Olomouc - Hlubočky



Graf č. 5: Zastoupení DN potrubí - podskupina Olomouc - Hlubočky



Graf č. 6: Data pokládky potrubí - podskupina Olomouc - Hlubočky

Tlakové pásmo 06

Řídícím objektem tohoto pásma je ČS Černovír, která čerpá upravenou vodu z ÚV na VDJ Droždín 1. Z ČS jsou vedeny dva výtlačné řady LT DN600, které se v AŠ 2163 spojují do jednoho LT DN700. Pro průchodu MO Na Luhu je přiváděcí řad OC DN800 veden severovýchodním směrem na VDJ Droždín 1.

Čerpací stanice disponuje dvojicí akumulčních nádrží o objemu $2 \times 200 \text{ m}^3$, jejichž max. hladina se nachází na kótě 214.50 m n.m. a dno 210.95 m n.m. , blok. hladina je 212.30 m n.m. – výkon čerpací stanice $Q = 300 \text{ l/s}$ a dopravní výška $H_{\text{dopr}} = 73.8 \text{ m}$.

Tlakové pásmo 09

Řídícím vodojemem pro toto tlakové pásmo je VDJ Droždín 1, který je zásobován z ČS Černovír. Akumulace vodojemu se skládá ze čtyř omor o objemu 4500 m^3 . Maximální hladina vodojemu je 282.90 a dno 278.40 m n.m.

Odběr je realizován třemi směry:

- směr MO Na Luhu;
- směr Bystrovany a Velká Bystřice;
- směr ČS Droždín – VDJ Droždín 2 a ČS Droždín – Radíkov.

Do MO Na Luhu je veden gravitační zásobovací řad OC DN800, kterým je voda přiváděna do distribuční sítě města Olomouce. V samotném MO je instalována turbína na bázi čerpadla DET 250, ta se nachází za redukcí 300/200, její jmenovitý průtok je $Q = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ a tlaková redukce $H = 6.11 \text{ m}$.

Ve směru na Bystrovany a Velkou Bystřici je jižně veden zásobovací řad OC DN300 a později AC DN 300, který prochází intravilánem obce Bystrovany a větví se z něho RVS Bystrovany. Směrem na Velkou Bystřici pokračuje řad LT DN250, na který je ve VŠ připojena průmyslová zóna Velká Bystřice. Poté se řad rozděluje do spotřebišť Velká Bystřice – PVC d160 a směrem na VDJ Velká Bystřice – LT DN250.

Třetím odběrem je propoj pro ČS Droždín – VDJ Droždín 2 a ČS Droždín – Radíkov. První zmíněná čerpá vodu do VDJ Droždín 2 ($2 \times 500 \text{ m}^3$), odkud je distribuována do spotřebišť Droždín DTP, Samotišky DTP, Tověř a Dolany. Tyto sítě však nejsou v majetku a provozování VHS Olomouc. ČS Droždín – Radíkov pak čerpá vodu směrem na VDJ Radíkov.

Tlakové pásmo 10

Řídícím prvkem tohoto pásma je ČS Droždín – Radíkov, která dopravuje vodu z VDJ Droždín 1 do VDJ Radíkov. Její výkon je $Q = 20 \text{ l/s}$ a dopravní výška $H_{\text{dopr}} = 146.5 \text{ m}$. Přiváděcí výtlačný řad je z OC DN400 a vede severovýchodním směrem k městské části Svatý Kopeček, kde je realizováno odbočení PVC d160 pro zásobování VDJ Svatý Kopeček. Ten poté zásobuje vodou vyšší tlaková pásma v lokalitě, která však nejsou předmětem modelu (majetkem a v provozování VHS Olomouc).

Hlavní řad prochází obcí Radíkov a poté je veden do VDJ Radíkov. Výškový rozdíl po trase je cca 145 m .

Tlakové pásmo 11

Řídícím vodojemem pro toto pásmo je VDJ Radíkov, jehož akumulace se skládá ze dvou komor o objemu $2 \times 252 \text{ m}^3$. Maximální hladina leží na kótě 426.90 a dno 422.5 *m n.m.*

Odběr je realizován třemi směry:

- směr spotřebiště Radíkov – řad PVC d110 vedený souběžně s přiváděcím výtlačkem zpět do obce Radíkov, resp. MO Radíkov, před MO se nachází redukční ventil 6.8/5 *bar*;
- řad pro zásobování VDJ Lošov – PVC d160.
- hlavní směr – VDJ Posluхов – řad PVC d315 směřuje východně do obce Posluхов, kde je v MO Posluхов realizován odběr pro VDJ Hlubočky a RVS Posluхов (není provozováno VHS Olomouc). Následně je voda dopravena na VDJ Posluхов.

Tlakové pásmo 12

Řídícím vodojemem je VDJ Posluхов jež je tvořen dvěma akumulacemi $2 \times 2135 \text{ m}^3$. Maximální hladina je 393.24 a dno 389.50 *m n.m.* Z vodojemu je voda gravitačně dopravována těmito směry:

- směr PK Hlubočky – řad PVC d225 veden severovýchodně nad intravilán obce Hlubočky, kde dochází k regulaci tlaku;
- odběr směrem na Mariánské Údolí, kam je veden zásobovací řad PVC d225, na který je ve VŠ připojeno 3. tlakové pásmo Mariánské Údolí (PVC d110). Řad potom dále pokračuje do PK Mariánské údolí, kde dochází ke korekci tlaku;
- Odběr pro zásobení VDJ Mariánské údolí, který se odděluje od zmiňovaného řadu vedoucího na PK (PVC d225).

Tlakové pásmo 13

Řídícím prvem tohoto tlakového pásma je PK Hlubočky. Ta je situovaná na nezastavěném území mezi Posluховem - Hlubočkami, 670 *m* níže od vodojemu Posluхов. Účelem komory je redukce tlaku vody dodávané z vodojemu Posluхов. Na komoru je napojeno zásobní pásmo VTP 1 Hlubočky a VTP 2 Hlubočky. Přerušovací komora Hlubočky má obdelníkový tvar o objemu nádrže 50 m^3 a velikosti 3.60×5.10 *m* s maximální hladinou ve výšce 2.75 *m*.

Za vstupem přírodního potrubí DN 200 do AK je provedena jeho redukce na DN 150. Za ní je na přívodu osazeno uzavírací šoupátko, trubní filtr a vodoměr se snímačem impulsů. Za vodoměrem je osazen redukční ventil DN80 za propojem s odtokem a šoupátko s elektro pohonem. Za ním přírodní potrubí přechází na DN 250, v tomto profilu vstupuje do akumulační nádrže PK.

Odtok do spotřebiště Hlubočky je veden řadem PVC d225, na který je napojeno odbočení pro 2. tlakové pásmo – Hlubočky-Dukla, kde se ve VŠ nachází redukční ventil pro další korekci tlaku. Řad dále pokračuje do 1. tlakového pásma – Hlubočky.

Tlakové pásmo 14

Toto tlakové pásmo zahrnuje pouze spotřebišťe Hlubočky-Dukla, nachází se za VŠ Dukla osazenou redukčním ventilem v ulici Na Orátě. Vstupní tlak je 6.5 bar a výstupní tlak za ventilem je 5.5 bar. Za VŠ se rozvětňuje RVS Hlubočky-Dukla.

Tlakové pásmo 15

Řídícím objektem tohoto pásma je PK Mariánské Údolí, do které je voda přiváděna gravitačně z VDJ Posluchoy. Je situovaná západně nad zástavbou Mariánském Údolí, asi 700 m směrem jižním pod vodojemem Posluchoy. Účelem komory o objemu 50 m³ je redukce tlaku vody přitékající z VDJ Posluchoy. Voda z PK je dodávána do VDJ Mariánské Údolí a do VDJ Kovákov.

V současnosti je provozováno tak, že za uzavíracím šoupátkem je provedena odbočka DN 100 s uzavíracím šoupátkem, která propojuje přívod vody DN 100 do PK s odběrem vody do II.tl. pásma RVS Mariánské Údolí- přes uzavírací šoupátko, trubní filtr, šroubový vodoměr se snímačem impulsů, redukční ventil a uzavírací šoupátko.

Voda je z PK dopravována těmito směry:

- odběr pro 2. tlakové pásmo Mariánské Údolí – řad PVC d225;
- odběr pro zásobování VDJ Kovákov – LT DN200 veden jižním směrem do obce Mrsklesy-Kovákov.

Tlakové pásmo 16

Řídícím vodojemem pro toto pásmo je VDJ Mariánské Údolí o akumulaci 1×152.6 m³. Slouží pro potřeby zájmové oblasti Mariánské Údolí. VDJ je zásoben gravitačním řadem PVC d225 z VDJ Posluchoy. Maximální hladina se nachází na kótě 333.39 m n.m. a dno 331.00 m n.m.

Jedná se o zemní jednokomorový vodojem kruhového půdorysu o průměru 7,0 m a konstrukční výšce 4,20 m.

Z VDJ je veden zásobovací řad LT DN200 do 1. tlakového pásma spotřebišťe Mariánské Údolí.

Tlakové pásmo 17

Řídícím vodojemem tohoto pásma je VDJ Kovákov, jehož akumulace se skládá ze dvou komor 2×245 m³. Maximální hladina se nachází na kótě 341.54 m n.m. a dno 339.20 m n.m.

Vodojem Kovákov je situován severovýchodně od obce Mrsklesy, v části Kovákov a slouží k zásobování obce Mrsklesy a dopravě vody do VDJ Přáslavice.

Pitná voda do VDJ Kovákov je přiváděna z PK Mariánské Údolí gravitačním řadem LT DN200. Pro odběr do spotřebišťe Mrsklesy je veden zásobovací řad PVC d110. Směrem na VDJ Přáslavice vede řad TLT DN200.

Tlakové pásmo 18

Řídícím vodojemem pro toto pásmo je VDJ Přeaslavice, jehož akumulace je tvořena třemi komorami: $1 \times 442 \text{ m}^3$, $1 \times 473 \text{ m}^3$ a $1 \times 332 \text{ m}^3$. Maximální hladina je ve 316.46 m n.m. a dno 312.70 m n.m.

Zajišťuje akumulaci vody pro obec Přeaslavice, obec Kovákov, část obce Velká Bystřice – Kopaniny a vojenský újezd.

Do VDJ Přeaslavice natéká pitná voda ze dvou směrů:

- VDJ a ČS Velká Bystřice;
- VDJ Kovákov, (možnost obrácení toku, tj výtlač z ČS Přeaslavice).

Odběry z VDJ Přeaslavice:

- obec Velká Bystřice, část Kopaniny – gravitačně, LT DN200;
- obec Přeaslavice, přes ČS Přeaslavice, TLT DN150, (tlak pásmo: ČS Přeaslavice);
- Vojsko, výtlač ČS Přeaslavice, PE d160, (tlak pásmo: ČS Přeaslavice);
- VDJ Kovákov, výtlač ČS Přeaslavice (obrácení toku v přivaděči), (tlak pásmo: nezařazeno).

Tlakové pásmo 19

Řídícím objektem tohoto pásma je ČS Přeaslavice. Její výkon je $Q = 20 \text{ l/s}$ a dopravní výška $H_{\text{dopr}} = 58.5 \text{ m}$. ČS je situována severně v střední části obce Přeaslavice, u krajské komunikace II/437, cca 60 m od okraje intravilánu obce.

Zajišťuje dodávku vody pro obec Přeaslavice, obec Kovákov, část obce Velká Bystřice – Kopaniny a Vojenský újezd Libavá. Sání ČS Přeaslavice je realizováno z VDJ Přeaslavice.

Výtlač z ČS Přeaslavice je veden do těchto spotřebišť. Kdy každý má příslušnou VŠ:

- obec Přeaslavice, TLT DN150;
- vojsko, PE d160;
- VDJ Kovákov, TLT DN200 (obrácení toku v přivaděči), (tlak pásmo: nezařazeno);
- SSÚD Kocourovec – přípojka, PE d90.

Tlakové pásmo 20

Toto tlakové pásmo je tvořeno částí spotřebiště města Velká Bystřice – Zámecké nám., ulice Týnecká, U Vodárny a část ulice ČSA (po křížení s ulicí Kozinova).

VŠ s redukčními ventily se nachází východním směrem od Zámeckého náměstí – na Ulici 8. května a v západním směru na ulici ČSA. Obě šachty jsou nezaměřené a vstupní/výstupní tlak u ventilů není zaznamenán.

Tlakové pásmo sousedí s pásmo 18 – východní směr, jež je zásobováno z VDJ Přáslavice a pásmem 9 jež je zásobeno z VDJ Droždín 1.

Tlakové pásmo 21

Řídícím prvkem tohoto pásma je ČS Velká Bystřice, jejíž výkon je $Q = 25$ l/s a dopravní výška $H_{dopr} = 89.20$ m. VDJ Velká Bystřice zajišťuje akumulaci vody (sací jímku) pro ČS Velká Bystřice, tj. není napojen na žádnou RVS.

Objekt VDJ - ČS Velká Bystřice je tvořen následujícími stavebními objekty:

- vodoměrná šachta na přívodu do objektu VDJ;
- armaturní šachta VDJ;
- jednokomorová akumulární komora 250 m³;
- čerpací stanice;
- vodoměrná šachta na výtlačku ČS.

Výtlačk na VDJ Přáslavice je v celé délce veden podél komunikace, tvoří jej řad LT DN200. Po podchodu mostního objektu (směr Velká Bystřice – Svěsedlice/ V. Týnec) je na zásobovací řad v MO Svěsedlice připojen odběr pro obec Svěsedlice.

4.2.3 PŘEHLED VODÁRENSKÝCH OBJEKTŮ

Akumulace

Tabulka 6 - Přehled objektů akumulace - podskupina Olomouc - Hlubočky

Název	Tlakové pásmo	Akumulace	Nadmořská výška
VDJ Droždín 1	09	4×4500 m ³	282.90 / 278.40 m n.m.
VDJ Droždín 2		2×500 m ³	310.00 / 305.00 m n.m.
VDJ Sv. Kopeček		2×150 m ³	411.50 / 408.00 m n.m.
VDJ Radíkov	10	2×525 m ³	426.90 / 422.50 m n.m.
VDJ Lošov		1×100 m ³	380.65 / 376.65 m n.m.
VDJ Posluchov	12	2×2135 m ³	393.24 / 389.50 m n.m.
VDJ Mariánské Údolí	15	1×152.6 m ³	333.39 / 331.00 m n.m.
VDJ Kovákov	17	2×245 m ³	341.54 / 339.20 m n.m.
VDJ Příkladice	18	1×442 m ³ , 1×473 m ³ , 1×332 m ³	316.46 / 312.70 m n.m.
VDJ Velká Bystřice		1×250 m ³	256.18 / 252.50 m n.m.
Akumulace ČS Čenovír	06	2×200 m ³	212.30 / 210.95 m n.m.
PK Hlubočky	13	1×50 m ³	351.64 / 348.50 m n.m.
PK Mariánské Údolí	15	1×50 m ³	354.48 / 351.50 m n.m.

Čerpací stanice

Tabulka 7 - Přehled čerpacích stanic - podskupina Olomouc - Hlubočky

Název	Umístění	Parametry čerpadel	
ČS Čenovír	ÚV Čenovír	H _{dopr} = 73.8 m	Q = 300 l/s
ČS Droždín - VDJ Droždín 2	ČS Droždín	H _{dopr} = 40.7 m	Q = 30 l/s
ČS Droždín - VDJ Radíkov	ČS Droždín	H _{dopr} = 146.5 m	Q = 20 l/s
ČS Příkladice	ČS a VDJ Příkladice	H _{dopr} = 58.5 m	Q = 20 l/s
ČS Velká Bystřice	ČS a VDJ Velká Bystřice	H _{dopr} = 85.3 m	Q = 25 l/s

Redukce tlaku

Tabulka 8 - Přehled prvků redukce tlaku - podskupina Olomouc - Hlubočky

Název	Umístění	Tlaková redukce, vstup. / výstup. tlak
MVE 1	MO Na Luhu	6.11 m
RV Radíkov	AŠ Radíkov	6.8 / 5 bar
PK Hlubočky	-	-
RV Dukla	VŠ Dukla	6.5 / 5.5 bar
PK Mariánské Údolí	-	-

Pozn.: Z důvodu nezaměřených VŠ a nevidovaných vstupních/výstupních tlaků nejsou uvedeny redukční ventily v lokalitě Velká Bystřice (3 ks).

4.3 ANALÝZA SPOTŘEBY VODY

Pro tvorbu hydraulického modelu bylo potřeba zpracovat analýzu spotřeby vody pro všechna spotřebišť. V rámci analýzy byly zpracovány průtoky za období 2024-2025 s časovým krokem 5 min. Surová data byla poskytnuta provozovatelem vodovodní sítě. Provozovatel provádí pravidelné měření na důležitých místech vodovodní sítě, tato data jsou ukládána na centrálním dispečinku, odkud byla pro potřeby tvorby modelu exportována. Surová data byla zpracována do podoby hodinových průměrů.

Výsledkem této analýzy jsou odběrové křivky, které charakterizují časový průběh spotřeby vody během jednoho dne – 24 hodinových kroků. Do modelu byla vložena křivka reprezentující průměrnou nerovnoměrnost odběru konkrétního spotřebišť/objektu za analyzované období. V kombinaci se zatížením maximální denní spotřebou vody bylo možné stanovit maximální a minimální hydrodynamický tlak na vodovodní síti, kterého bylo během dne dosaženo. Zároveň byly pro spotřebišť vyhodnoceny základní ukazatele nerovnoměrnosti odběru vody. Do odběrů v rámci spotřebišť je zahrnuta také spotřeba velkoobjektů.

Přehled jednotlivých vypočtených průtoků a koeficientů:

- Qp průměrný denní průtok byl vyhodnocen průměrem hodinových průtoků;
- Qd maximální denní průtok byl stanoven z denních průtoků, které byly stanoveny jako součet hodinových průtoků v jednotlivých dnech;
- Qh výsledný maximální hodinový průtok byl určen na základě dílčích naměřených hodinových průtoků v jednotlivých dnech;
- kd koeficient denní nerovnoměrnosti;
- kh koeficient hodinové nerovnoměrnosti.

V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny vodoměry z jejichž dat byla analýza spotřeby vody provedena.

V některých případech nebylo dané spotřebišť jednoznačně měřeno a bylo nutné danou spotřebu získat odečtením dat ze dvou nebo více vodoměrů. Nutno poznamenat, že takto získané údaje jsou zatíženy chybou a je třeba je brát s rezervou. Čím více vodoměrů, tím větší chyba a nepřesnost.

Všechna zpracovaná data a výsledky analýzy jsou pro svou obsáhlost uvedeny v samostatné příloze A.3 - Analýza spotřeby vody.

Přehled použitých vodoměrů pro analýzu

Tabulka 9 - Přehled použitých vodoměrů - podskupina Litovel

Objekt	ID	Popis	Odečet
ČS Litovel	S36F11	směr VDJ Chudobín	Dispečink, (5 min)
ČS Litovel	S36F12	směr VDJ Křelov	Dispečink, (5 min)
ČS Senice na Hané	S31F7	výtlačk VDJ Křelov	Dispečink, (5 min)
ČS Tabulový Vrch	S02F1	výtlačk VDJ Nová Ulice	Dispečink, (5 min)
MO Březové		odběr	Měsíční odečty
MO Břuchotín		odběr	Měsíční odečty
MO Haňovice		odběr	Měsíční odečty
MO Chomoutov		odběr	Měsíční odečty
MO Chudobín		odběr Chudobín	Měsíční odečty
MO Chudobín		odběr Nová Ves	Měsíční odečty
MO Křelov		odběr Křelov	Měsíční odečty
MO Křelov		směr Horka	Měsíční odečty
MO Litovel	S37F1	odběr Litovel	Dispečink, (5 min)
MO Litovel	S37F2	směr Náklo/Střeň	Dispečink, (5 min)
MO Měrotín		odběr	Měsíční odečty
MO Mladeč-Sobáčov		odběr	Měsíční odečty
MO Myslechovice		odběr Myslechovice	Měsíční odečty
MO Myslechovice		odběr Pomoraví II	Měsíční odečty
MO Nasobůrky		odběr Nasobůrky	Měsíční odečty
MO Nasobůrky		odběr Víška	Měsíční odečty
MO Nové Zámky	S36F13	odběr	Dispečink, (5 min)
MO prům. z. Litovel		odběr	Měsíční odečty
MO Příkazy		odběr	Měsíční odečty
MO Rozvadovice		odběr	Měsíční odečty
MO Střeň	S28F1	odběr	Dispečink, (5 min)
MO Svatoplukova	S06F1	odběr	Dispečink, (5 min)
MO Tabulový Vrch 1	S04F1	průtok	Dispečink, (5 min)
MO Tabulový Vrch 2	S04F2	odběr	Dispečink, (5 min)
MO Tabulový Vrch 3		MO Pomoraví (odběr)	Měsíční odečty
MO Třída Míru	S07F1	odběr	Dispečink, (5 min)
MO Unčovice		odběr	Měsíční odečty
ÚV Příkazy	S29F2	výtlačk	Dispečink, (5 min)
VDJ Chudobín	S38F2	odběr	Dispečink, (5 min)
VDJ Křelov	S30F2	odběr Pomoraví II	Dispečink, (5 min)
VDJ Křelov	S30F1	odběr směr Svatoplukova	Dispečink, (5 min)
VDJ Křelov	S30F3	odběr směr Tabulový Vrch	Dispečink, (5 min)
VŠ Březové		směr Lhota nad Moravou	Měsíční odečty
VŠ Hynkov		odběr	Měsíční odečty
VŠ Mezice		odběr	Měsíční odečty
VŠ Náklo		odběr	Měsíční odečty
VŠ Skrbeň		odběr	Měsíční odečty

Tabulka 10 - Přehled použitých vodoměrů - podskupina Olomouc - Hlubočky

Objekt	ID	Popis	Odečet
ČS Droždín	S09F2	výtlač VDJ Droždín 2	Dispečink, (5 min)
ČS Droždín	S09F1	výtlač VDJ Radíkov	Dispečink, (5 min)
ČS Přáslavice	S18F7	odběr obec Přáslavice	Dispečink, (5 min)
ČS Přáslavice	S18F4	VŠ vojsko	Dispečink, (5 min)
ČS Přáslavice	S18F6	výtlač VDJ Kovákov	Dispečink, (5 min)
ČS Velká Bystřice	S16F1	výtlač	Dispečink, (5 min)
MO Kocourovce		odběr	Měsíční odečty
MO Na Luhu	S05F1	průtok	Dispečink, (5 min)
MO Radíkov		odběr	Měsíční odečty
MO Svěsedlice		odběr	Měsíční odečty
PK Hlubočky	S24F2	odběr	Dispečink, (5 min)
PK Mariánské Údolí	S20F3	odběr Mariánské Údolí STP	Dispečink, (5 min)
PK Mariánské Údolí	S20F2	odběr směr VDJ Kovákov	Dispečink, (5 min)
ÚV Černovír	S46F111	výtlač 1	Dispečink, (5 min)
ÚV Černovír	S46F112	výtlač 2	Dispečink, (5 min)
VDJ Droždín 1	S09F3	směr Bystrovany	Dispečink, (5 min)
VDJ Droždín 2	S11F2	odběr Droždín (NTP)	Dispečink, (5 min)
VDJ Droždín 2	S11F1	odběr Samotišky	Dispečink, (5 min)
VDJ Droždín 2	S11F3	odběr Dolany (+Toveř)	Dispečink, (5 min)
VDJ Kovákov	S22F3	směr Mrsksesy	Dispečink, (5 min)
VDJ Kovákov	S22F1	směr Přáslavice	Dispečink, (5 min)
VDJ Lošov		odběr	Měsíční odečty
VDJ Mariánské Údolí	S21F1	nátok	Dispečink, (5 min)
VDJ Mariánské Údolí	S21F2	odběr Mariánské Údolí NTP	Dispečink, (5 min)
VDJ Posluhov	S23F2	odběr Hlubočky	Dispečink, (5 min)
VDJ Posluhov	S23F3	odběr směr Mariánské Údolí	Dispečink, (5 min)
VDJ Přáslavice	S18F3	směr V. Bystřice	Dispečink, (5 min)
VDJ Radíkov	S13F2	oběr Posluhov	Dispečink, (5 min)
VDJ Radíkov	S13F4	odběr Lošov	Dispečink, (5 min)
VDJ Radíkov	S13F3	odběr Radíkov	Dispečink, (5 min)
VDJ Svaty Kopecek		nátok	Měsíční odečty
VŠ Hlubočky - Dukla		odběr	Měsíční odečty
VŠ Hlubočky - Obec		odběr	Měsíční odečty
VŠ Velká Bystřice - prům. z.		odběr	Měsíční odečty

5 TVORBA HYDRAULICKÉHO MODELU

Při tvorbě hydraulického modelu bylo jedním z hlavních cílů za kompromisu schematizace co nejpřesněji ztvárnit reálnou předlohu vodovodní sítě. Hydraulický model SV vznikl na základě podkladů poskytnutých provozovatelem vodárenské infrastruktury. Samotný model byl na základě poskytnutých dat vytvořen v prostředí EPANET, resp. pluginu QGISRed v prostředí QGIS.

Kalibrován byl naměřenými daty během měrné kampaně. Uzly v hydraulickém modelu byly umísťovány vždy v místě napojování řadu na jiný, na koncích řadů, v místě existence hydrantu, při změně materiálu potrubí nebo dimenze. Jednotlivé uzly jsou propojeny úseky, tyto úseky reprezentují potrubní řady, nesmí být příliš dlouhé, proto je bylo nutné v některých případech rozdělit pomocí vloženého uzlu.

Do modelu bylo nutné zadat vnitřní průměry potrubí a jim odpovídající hydraulickou drsnot a uzlové odběry.

V modelu nejsou zahrnuty vodovodní přípojky, jedná se o kvazi-dynamický model, který popisuje chování vodovodní sítě během jednoho dne, tedy 24 - hodinových kroků.

5.1 TOPOLOGIE, VÝŠKOPIS

Topologie byla vytvořena na základě GIS podkladů provozovatele. Ty obsahovaly také informace o profilech, materiálech a stáří jednotlivých řadů. Nadmořské výšky jednotlivých uzlů byly v prostředí QGIS převzaty z digitálního modelu terénu 5. generace.

5.2 HYDRAULICKÁ DRSNOST POTRUBÍ

Hydraulické ztráty třením po délce jsou v modelu počítány dle vztahu Darcy-Weisbach. Absolutní hydraulická drsnost potrubí „k“ byla stanovena pro každý trubní úsek na základě jeho materiálu.

Teoretické (vstupní) a reálné drsnosti (po kalibraci) jsou uvedeny v příloze A.2 Kalibrace.

5.3 VNITŘNÍ PROFILY, MATERIÁL

Vnitřní profily trubních úseků a materiál byly převzaty z GIS podkladů provozovatele. Vnitřní profily mohly být následně upraveny (sníženy) na základě výsledků kalibrace. Délky nezahrnují vodovodní přípojky.

5.4 OBJEKTY NA VODOVODNÍ SÍTI

Přehled všech objektů obsažených v modelu je uvedený v kapitole 3.1.3 a 3.2.3 Přehled vodárenských objektů. Parametry jednotlivých objektů vstupující do modelu jsou vypsány níže.

vodojemy se všemi svými parametry:

- objemy akumulací;
- nadmořské výšky dna a max hladiny;
- principy řízení (plnění), dle podkladů od provozovatele;

všechny čerpací stanice se všemi svými parametry:

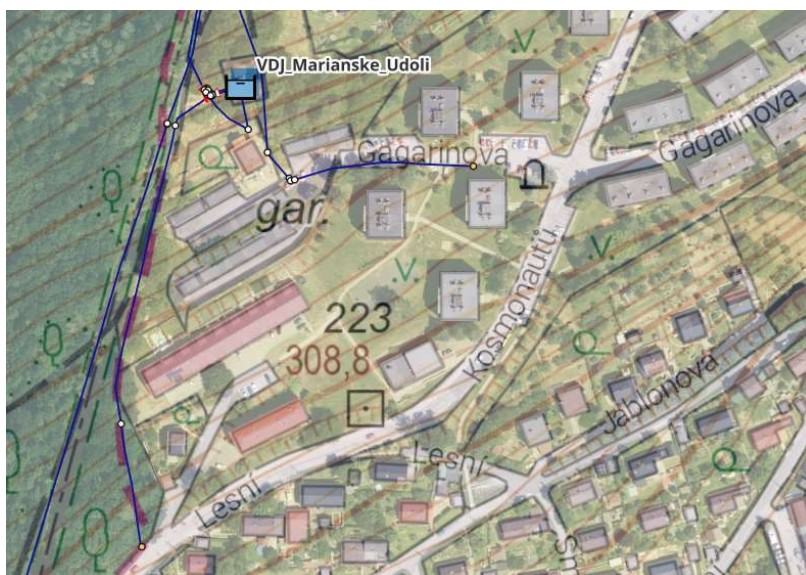
- Q, H čerpadel;
- principy chodu čerpadel, z pravidla spjaté s hladinami vodojemů;

redukční ventily s parametry:

- DN;
- Vstupní/výstupní tlak.

5.5 UZLOVÉ ODBĚRY

Jelikož v modelu nejsou zahrnuty přípojky a RVS, z důvodu nutné schematizace sítě, bylo třeba naměřený odběr ze spotřebišť přiřadit k odpovídajícímu úseku vodovodního potrubí. Jednotlivé odběry na vodovodní síti byly tedy schematizovány jako bodové.



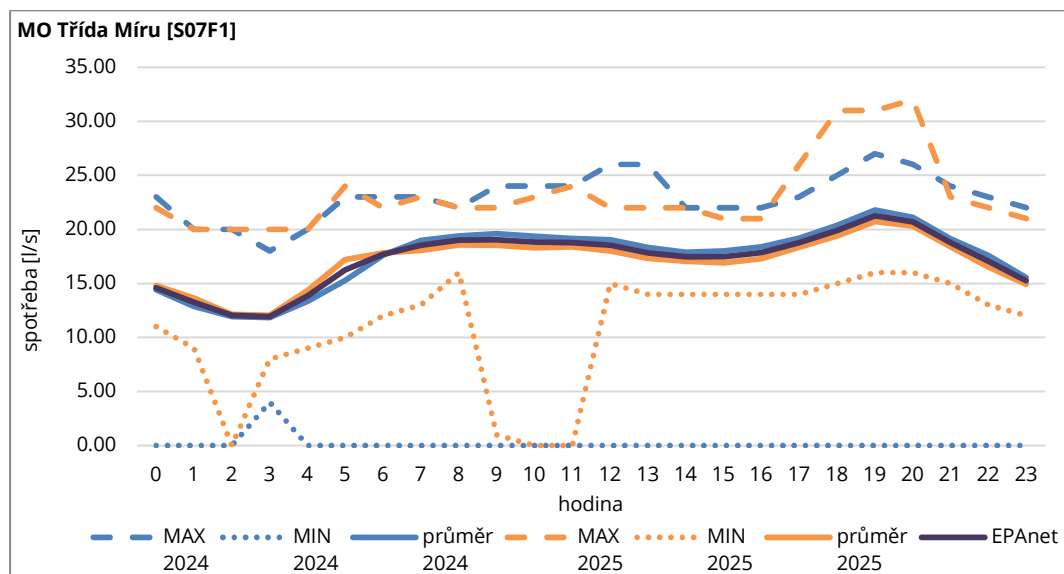
Obrázek č. 16: Schematizace bodových odběrů (oranžové body)

Návrhové potřeby jednotlivých tlakových pásem a uzlových odběrů na páteřních vodovodech jsou uvedeny v příloze A.3. Pro Výpočet minimálních tlaků a maximálních rychlostí byly použity maximální denní potřeby Q_d , pro výpočet maximálních tlaků byl simulován stav s minimálními odběry.

5.6 KOEFICIENTY NEROVNOMĚRNOSTI ODBĚRU VODY

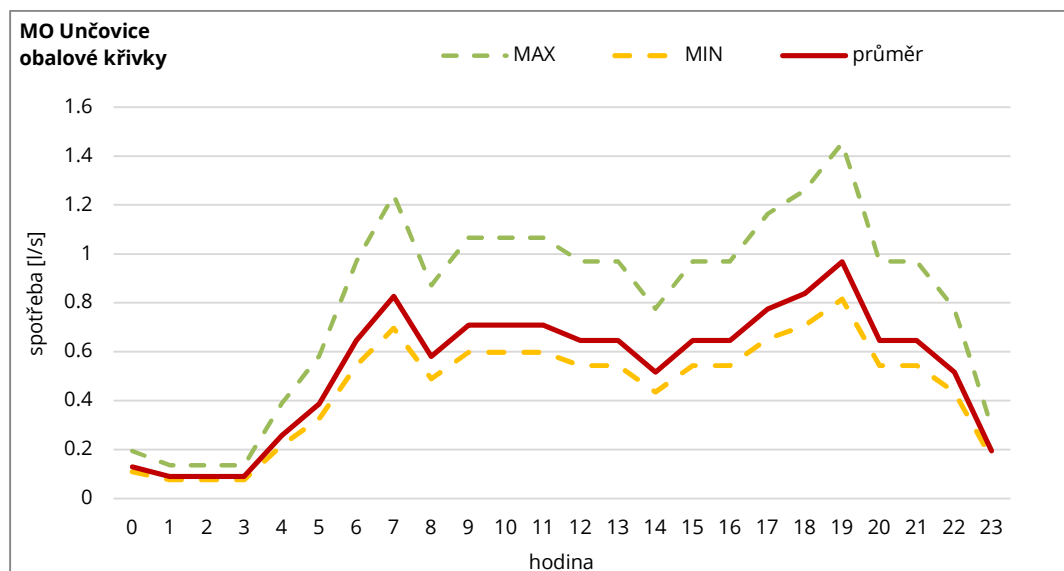
Grafy vyobrazující koeficienty hodinové nerovnoměrnosti odběru vody pro objekty a spotřebišť jsou uvedeny v příloze A.3 Analýza spotřeby vody.

Do modelu byly zadány křivky charakterizující průměrný průběh spotřeby během dne, jež byly přepočítány na koeficienty hodinové nerovnoměrnosti – těmi byla následně multiplikována hodnota maximální denní potřeby vody.



Graf č. 7: Graf denní nerovnoměrnosti spotřeby vody

Pro syntetické odběry byla obdobně použita křivka průměrné spotřeby během dne – vycházející z níže uvedené tabulky. Vzhledem k charakteru spotřebišť byla volena hodnota součinitele hodinové nerovnoměrnosti kh 1.8.

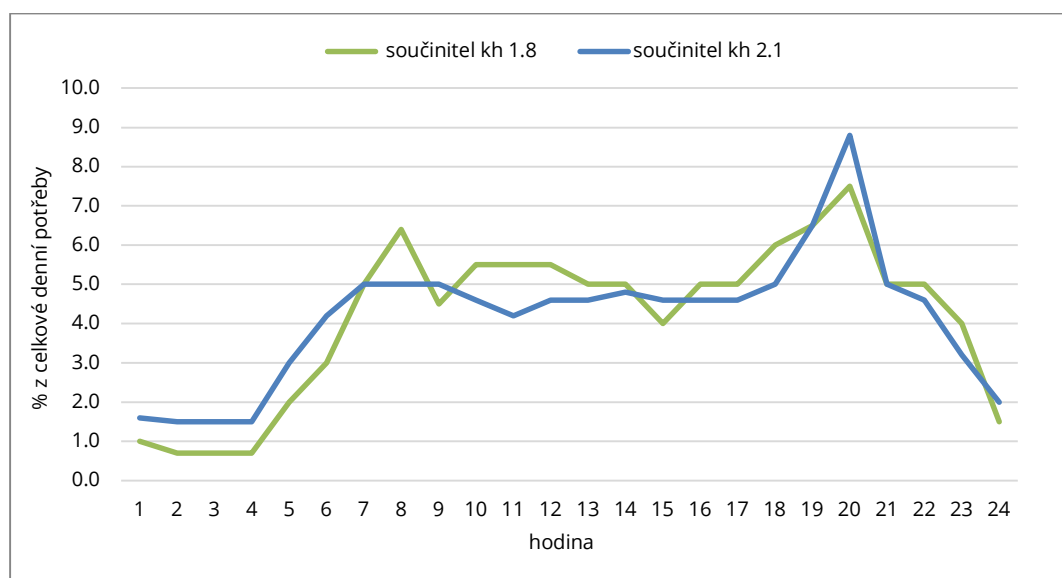


Graf č. 8: Graf syntetické denní nerovnoměrnosti spotřeby vody

Tabulka 11 - Průběh potřeby vody v procentech potřeby celodenní, převzato: [23]

ID	Hodina	Součinitel kh		ID	Hodina	Součinitel kh	
		1.8	2.1			1.8	2.1
1	0-1	1.0	1.6	13	12-13	5	4.6
2	1-2	0.7	1.5	14	13-14	5	4.8
3	2-3	0.7	1.5	15	14-15	4	4.6
4	3-4	0.7	1.5	16	15-16	5	4.6
5	4-5	2.0	3.0	17	16-17	5	4.6
6	5-6	3.0	4.2	18	17-18	6	5
7	6-7	5.0	5.0	19	18-19	6.5	6.5
8	7-8	6.4	5.0	20	19-20	7.5	8.8
9	8-9	4.5	5.0	21	20-21	5	5
10	9-10	5.5	4.6	22	21-22	5	4.6
11	10-11	5.5	4.2	23	22-23	4	3.2
12	11-12	5.5	4.6	24	23-24	1.5	2

Z měsíčních odečtů spotřeby vody byly pro syntetické odběry sestaveny křivky denní nerovnoměrnosti – průběh je zobrazen na níže uvedeném grafu.



Graf č. 9: Průběh potřeby vody v procentech potřeby celodenní

5.7 MĚRNÁ KAMPAŇ

Před zahájením výpočtů konkrétních provozních stavů bylo nutné provést na modelu kalibraci. Za tímto účelem byla zorganizována a zpracována měrná kampaň na vodovodní síti spolu s prohlídkou objektů vodovodu. Na vybraných místech byly osazeny datalogery pro měření tlaku v potrubí v průběhu 48 hodin. Tato kampaň probíhala ve dvou termínech:

- od 06.11.2025 11:00 do 08.11.2025 11:00;
- od 21.11.2025 11:00 do 23.11.2025 11:00.

Za tuto dobu byl snímám tlak pomocí šesti dataloggerů, které byly v prvním termínu osazeny na podskupině Litovel a následně na podskupině Olomouc – Hlubočky. Výsledky měrné kampaně jsou popsány v příloze A.2 Kalibrace.



Obrázek č. 17: Napojení dataloggeru na potrubí



Obrázek č. 18: Umístění dataloggeru v AŠ



Obrázek č. 19: ČS Příklad



Obrázek č. 20: ČS Příklad

5.8 KALIBRACE HYDRAULICKÉHO MODELU

Princip a průběh kalibrace je popsán v samostatné příloze A.2 Kalibrace. Do této kapitoly je uveden pouze závěr:

Ve většině profilů se podařilo nastavit model tak, že změřené a spočítané tlaky se od sebe příliš neliší. Na gravitačních řadech je shoda velmi uspokojivá, stejně tak u většiny výtlačných řadů – výjimkou jsou ČS Droždín - Radíkov a ČS Přáslavice, pro které bude potřeba blíže specifikovat režim řízení a toto chování pak schematizovat v modelu.

Jelikož však dodávané průtoky odpovídají provedené analýze spotřeby vody, lze model považovat za zkalibrovaný.

Ke korekci byly použity řídicí prvky – ventily kontrolující průtok či tlak a také úprava charakteristik čerpadel. V dalších případech byla zvýšena hydraulická drsnost potrubí.

Pro potřeby dalších výpočtů a využití modelu bude zapotřebí provést podrobnou měrnou kampaň s hustějším osazením dataloggerů v daných lokalitách. Výsledkem měření by měla být přesnější lokalizace hydraulických poměrů na síti v reálném čase.

6 VYHODNOCENÍ HYDRAULICKÉ ANALÝZY – STÁVAJÍCÍ STAV

6.1 POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ

Posouzení tlakových poměrů vodovodní sítě spotřebiště Blanska bylo provedeno na základě vyhlášky 428/2001 Sb., tato vyhláška provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, vydaná Ministerstvem zemědělství.

Minimální hydrodynamický tlak by měl být alespoň 0.15 MPa (15.3 m v. sl.) pro jednopodlažní a dvoupodlažní budovy, 0.25 MPa (25.5 m v. sl.) pro budovy, které mají více než dvě podlaží. Maximální tlak na vodovodní síti by neměl přesahovat 0.6 MPa (61.2 m v.sl.), ojediněle je přípustných 0.7 MPa (71.3 m v.sl.).

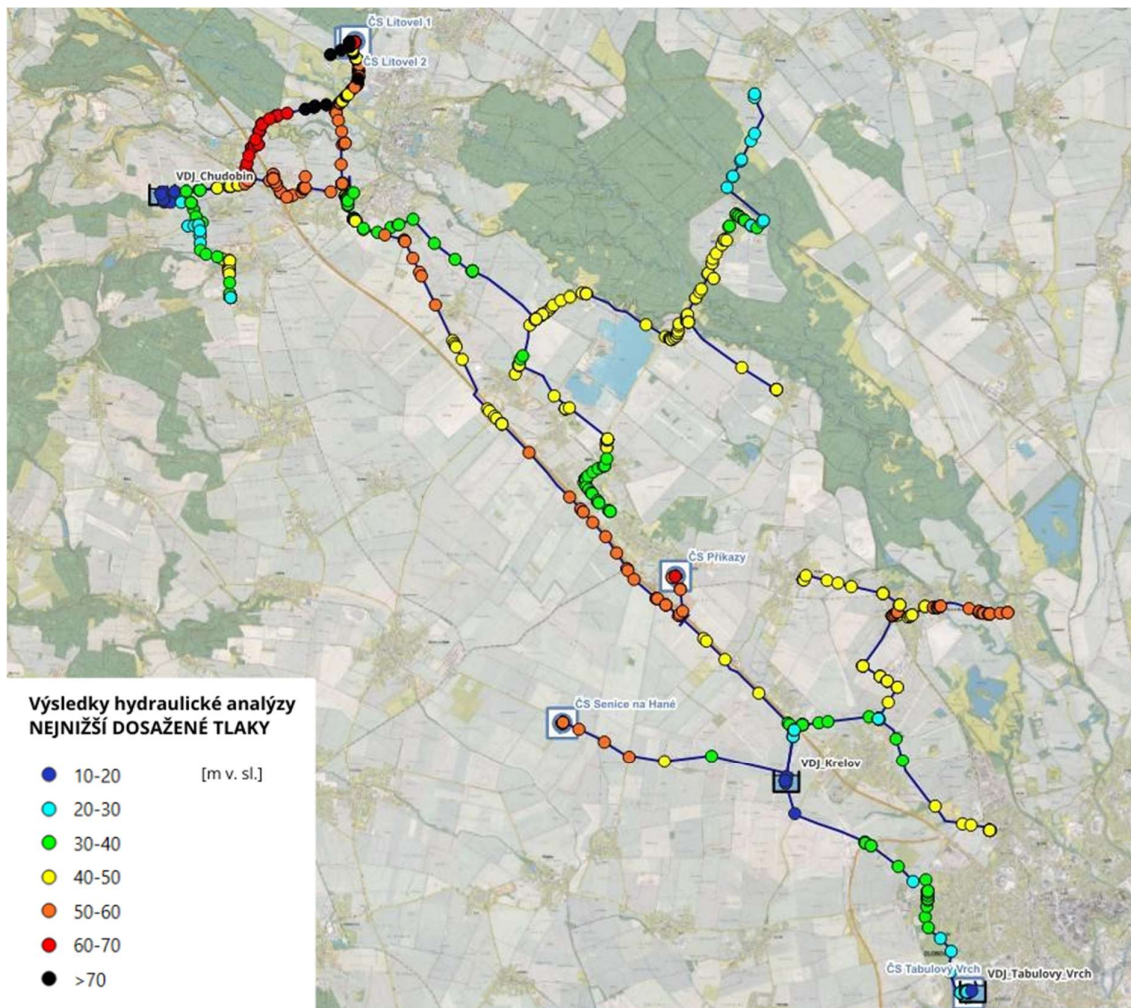
6.1.1 MINIMÁLNÍ HYDRODYNAMICKÝ TLAK

K minimálnímu hydrodynamickému tlaku na vodovodní síti dochází během dne v časech s nejvyššími odběry. Vzhledem k tomu, že každé modelové spotřebiště mělo odběrovou špičku v jiný čas, posuzovaly se tlaky napříč celým návrhovým dnem – přesto bylo nejnižších tlaků dosaženo v předpokládatelných hodinách denních špiček – 7:00 a 20:00 (±1 hodina).

Minimální spočítané tlaky pro všechny uzly jsou patrné z výkresových příloh B.5.1 – Minimální hydrodynamický tlak.

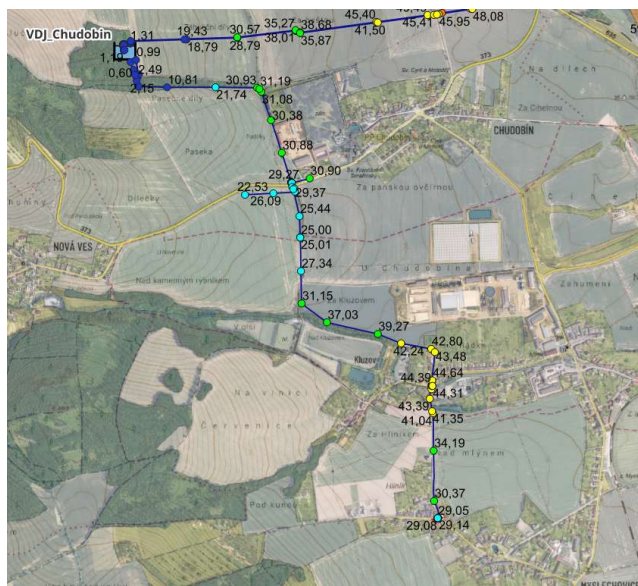
Podskupina Litovel

Lokality s nižším tlakem (myšleno pod 2,5 bar) se na podskupině Litovel téměř nevyskytují, případné lokální poklesy nejsou relevantní pro zásobování a jsou vyvolány topologií sítě či řídicími prvky.



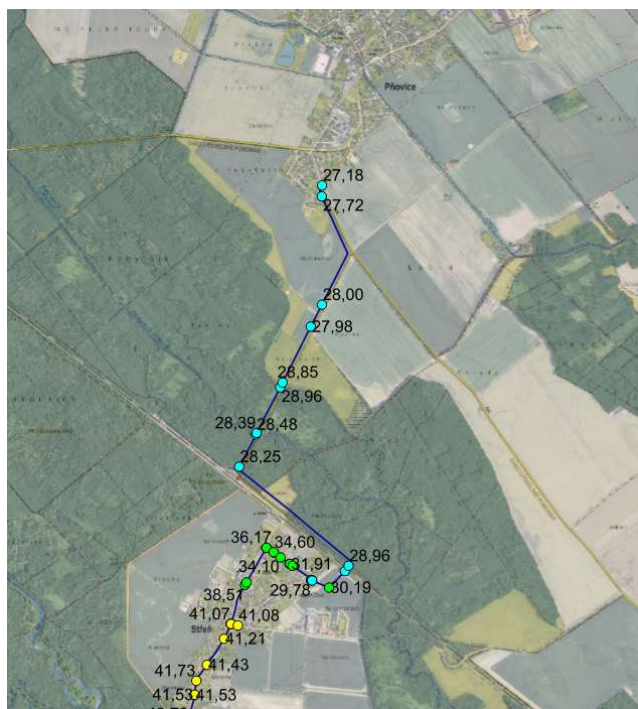
Obrázek č. 21: Minimální hydrodynamický tlak - podskupina Litovel

Níže uvedené příklady jsou koncové větve sítě při zmíněných odběrových špičkách.



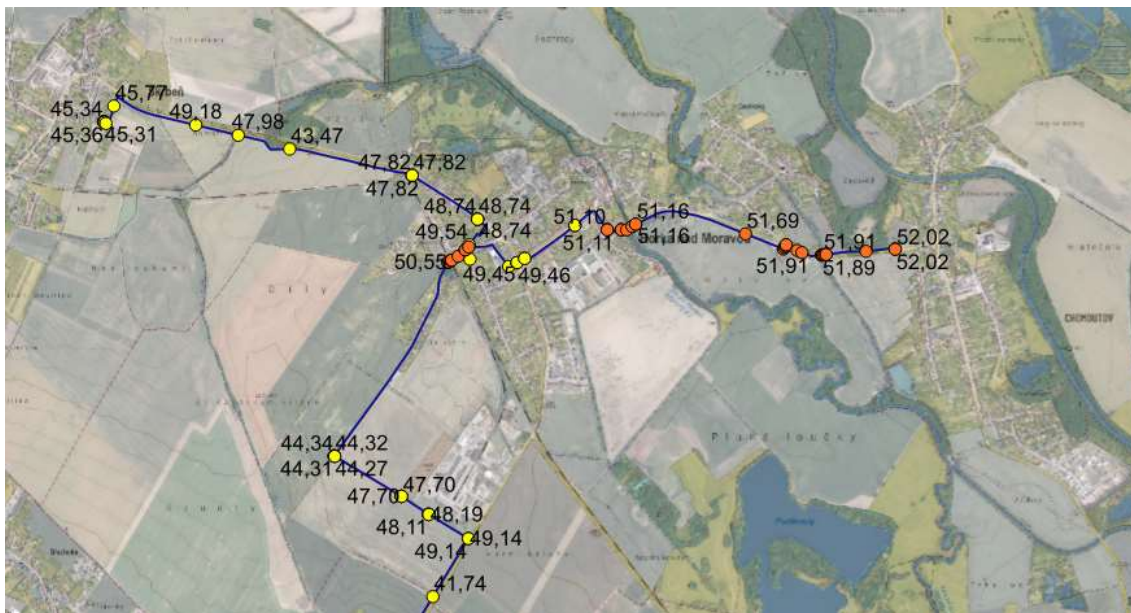
Obrázek č. 22: Větev VDJ Chudobín směr Myslechovice (čas 20:00)

Nejnižších tlaků na větvi VDJ Chudobín – Myslechovice bylo dosaženo ve 20:00, tlaky uvedené v *m v. sl.* Jsou dostačující. Lokální minimum – odbočení zásobovacího řadu pro obec Nová Ves není relevantní, jelikož řad do obce dále výškově klesá.



Obrázek č. 23: Větev MO Litovel směr Střeň, Pňovice (čas 19:00)

Nejnižších tlaků na větvi MO Litovel - Pňovice bylo dosaženo v 19:00, tlaky uvedené v *m v. sl.* Jsou dostačující, jelikož zástavba ve spotřebišti je složena z jedno/dvou-podlažních objektů.



Obrázek č. 24: Větev MO Křelov směr Horka nad Moravou (čas 19:00)

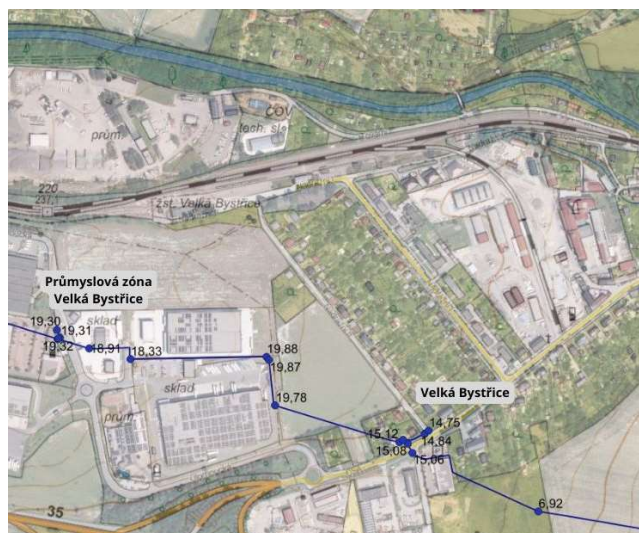
Nejnižších tlaků na větvi MO Křelov – Horka nad Moravou bylo dosaženo ve 19:00 (tlaky uvedeny v *m v. sl.*). Obecně lze říci, že tato větev je spíše přetlakovaná – viz maximální hydrodynamický tlak.



Obrázek č. 25: Zásobovací řady VDJ Křelov směr město Olomouc (čas 20:00)

Tlaky (*m v. sl.*) v odběrných místech MO Třída Míru a Svatoplukova dosahují minima ve 20:00. Jak je patrné z výše uvedeného obrázku – hodnoty jsou dostatečné.

Uvedených tlaků ($m\ v.sl.$) je na větvi VDJ Droždín 1 – směr Bystrovany dosaženo v čase 19:00. Tlaky jsou dostatečné, jelikož zástavba ve spotřebišti je tvořena rodinnými domy.



Obrázek č. 28: Větev VDJ Droždín 1 směr Bystrovany, Velká Bystřice (čas 21:00)

Nejnižších tlaků ($m\ v.sl.$) na zásobovacím řádu pro spotřebišť Průmyslová zóna a město Velká Bystřice je dosaženo ve 21:00. V případě průmyslové zóny jsou tlaky dostatečné – jedná se o jednopodlažní výrobní a prodejní haly. Jihovýchodní okraj města Velká Bystřice však vykazuje v tento čas nedostatečný přetlak (14,75 $m\ v.sl.$). To může mít dvě příčiny:

- časová nevyváženost odběrů – Presbeton (Bystrovany) a Průmyslová zóna Velká Bystřice, kdy pro velkoodběratele byla ponechána konstantní křivka odběru, což nekoresponduje s reálným stavem;
- odchylka modelu – řízení odtoku z VDJ Droždín 1.

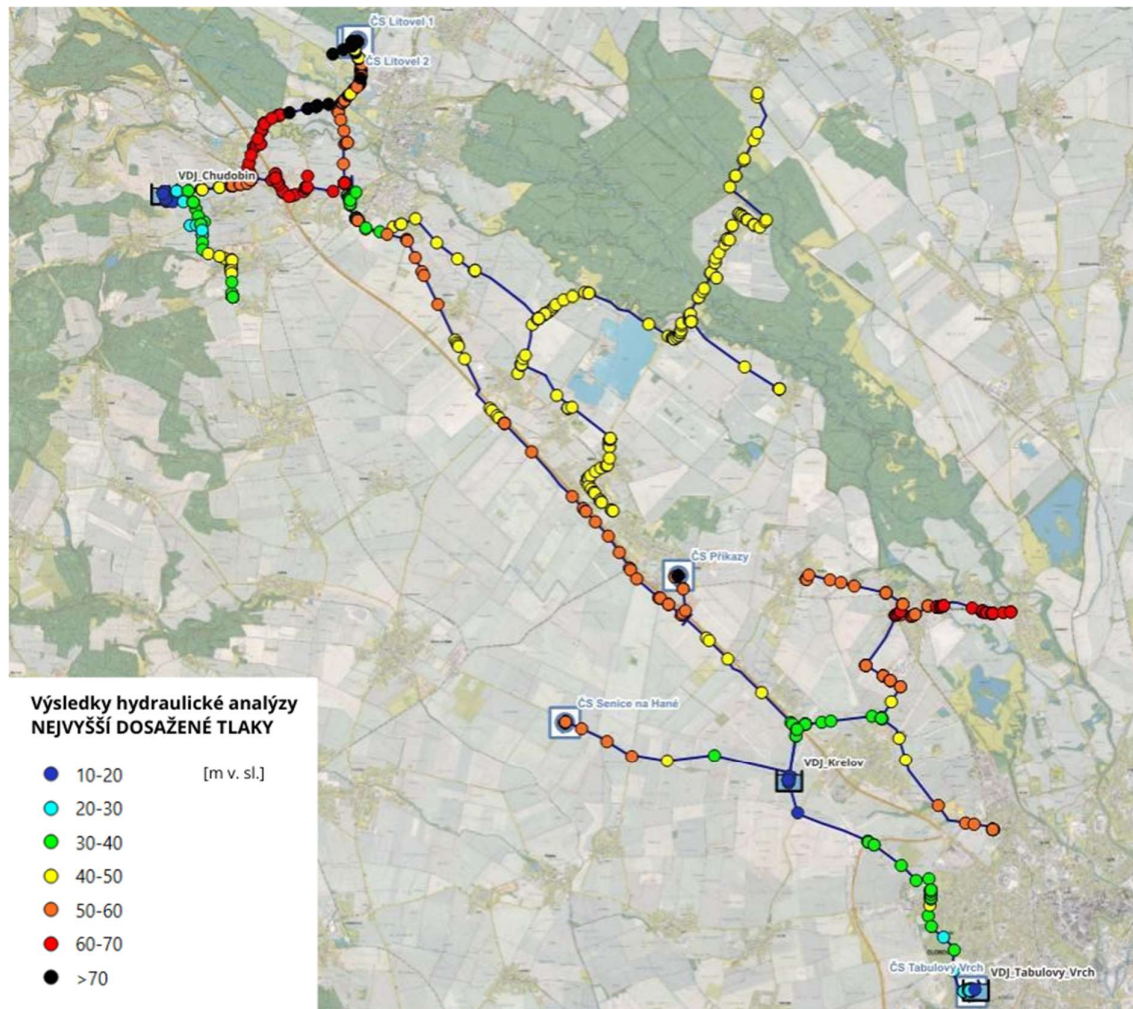
Nicméně po vstupu do RVS Velká Bystřice je síť okruhová – s druhým zásobovacím řádem ze směru VDJ Přáslavice, který je na vstupu do RVS spíše přetlakovaný (ve stejném čase 53.44 $m\ v.sl.$). V kombinaci s ojedinělostí tohoto poklesu pod mez 0.15 Mpa nebyly v tomto ohledu provedeny další korekce.

6.1.2 MAXIMÁLNÍ HYDRODYNAMICKÝ TLAK

K maximálnímu hydrodynamickému tlaku na vodovodní síti dochází během dne v časech s nejnižšími odběry. Vzhledem k tomu, že každé modelové tlakové pásmo mělo odběrovou špičku v jiný čas, posuzovaly se tlaky napříč celým návrhovým dnem (ne v konkrétní čas). Je však na místě podotknout, že vyhláška hovoří o maximálním hydrostatickém tlaku. Maximálního hydrostatického tlaku by bylo dosaženo při maximální hladině ve vodojemu a s nulovými odběry na síti. Tento stav však v provozu nenastává, ale lze říci, že noční odběry jsou tak malé, že se jimi dosažené hydrodynamické tlaky velmi blíží těm hydrostatickým.

Maximální spočítané tlaky pro všechny uzly jsou patrné z výkresových příloh B.5.2 – Maximální hydrodynamický tlak.

Podskupina Litovel



Obrázek č. 29: Maximální hydrodynamický tlak - podskupina Litovel

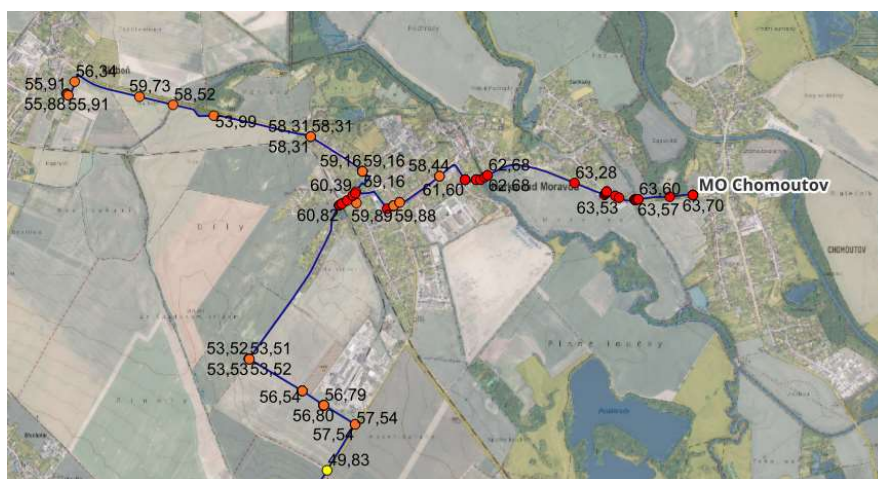
Lokality s vyššími tlaky (myšleno nad 6 *bar*) se na podskupině Litovel vyskytují tři, jeden případ je výtlačný řad z ČS Litovel – směr VDJ Chudobín, zde tlaky dosahují hodnot až 7.11 *bar*. Další dvě místa se nacházejí na gravitačních řadech – větev VDJ Chudobín směrem k MO Litovel a dále větev MO Křelov směrem Horka nad Moravou a dále Chomoutov. Níže jsou uvedeny právě tyto dva případy.



Obrázek č. 30: Větev VDJ Chudobín směr MO Litovel (čas 02:00)

Tyto vysoké tlaky se logicky vyskytují v nejnižších místech tlakového pásma – nadmořská výška uzlů v okolí MO průmyslová zóna Litovel a MO Nasobůrky se pohybuje v rozmezí od 230 až 235 *m n.m.* Když vezmeme v potaz výšku hladiny VDJ Chudobín (303.5 *m n.m.*) vychází rozmezí cca 68.5 až 73.5 *m v.s.l.* hydrostatického tlaku. V MO Litovel jsou poté tlaky redukovány prostřednictvím MVE – redukce v rozmezí 18 až 26 *m v.s.l.*

Pro optimalizaci tlakových poměrů by bylo nutné např. umístit redukční ventil do MO Mladeč-Sobáčov, čímž by se hodnoty dostaly do limitu stanoveného vyhláškou č. 48/2014 Sb.

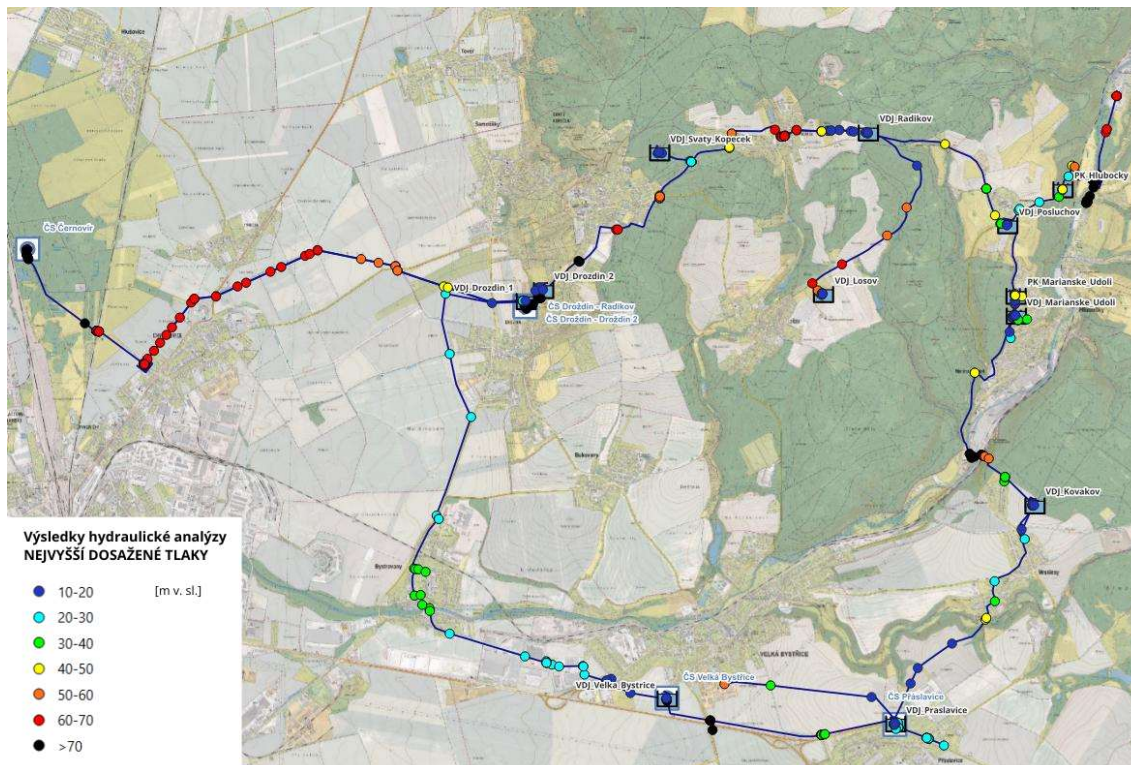


Obrázek č. 31: Větev MO Křelov směr Horka nad Moravou, Chomoutov (čas 02:00)

Na větvi VDJ Křelov – směr MO Křelov a dále Horka nad Moravou a Chomoutov se vyskytují tlaky 60 až 63.7 *m v.s.l.* V případě spotřebiště Horka nad Moravou jde o ojedinělý výkyv nad hranici 0.6 *Mpa*. Celé spotřebiště se nachází v rozmezí 212 – 226 *m n.m.* Vezmeme-li v potaz výšku provozní hladiny VDJ Křelov (282.5 *m n.m.*) vychází hydrostatický tlak 56.5 až 70.5 *m v.s.l.*

Spotřebiště Chomoutov se nachází v rozmezí 214 – 217 *m n.m.* Hydrostatický tlak tedy vychází 65.5 *m* až 68.5 *m v.s.l.* V současné době je plánováno umístění redukčního ventilu v MO Chomoutov.

Podskupina Olomouc – Hlubočky



Obrázek č. 32: Maximální hydrodynamický tlak - podskupina Olomouc - Hlubočky

Lokalit s vyššími tlaky (myšleno nad 6 bar) se na podskupině vyskytuje celkem šest, kdy tři z toho se nacházejí na výtlačných řadech:

- výtlak ČS Černovír – VDJ Droždín 1, kde hodnoty tlaku na výstupu z ČS nabývají hodnoty 70.03 m v. sl. (čas 02:00);
- výtlak ČS Droždín – VDJ Radíkov, zde tlak vystupuje na 147.63 m v. sl. (čas 02:00);
- výtlak ČS Velká Bystřice – VDJ Práslavice, kde byl nejvyšší tlak vypočten na 79 m v. sl. (čas 02:00).

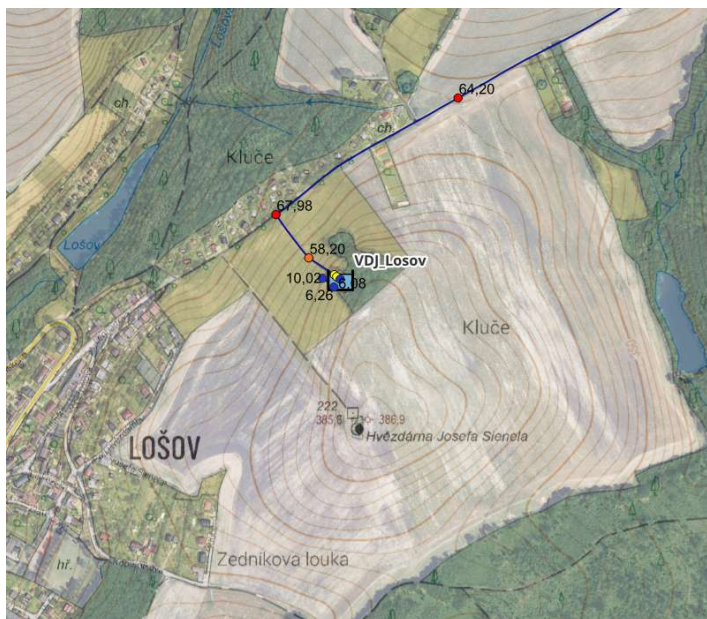
Další čtyři místa na gravitačních řadech a převážně ve spotřebištích jsou uvedena níže.



Obrázek č. 33: Větev VDJ Radíkov směr obec Radíkov (čas 02:00)

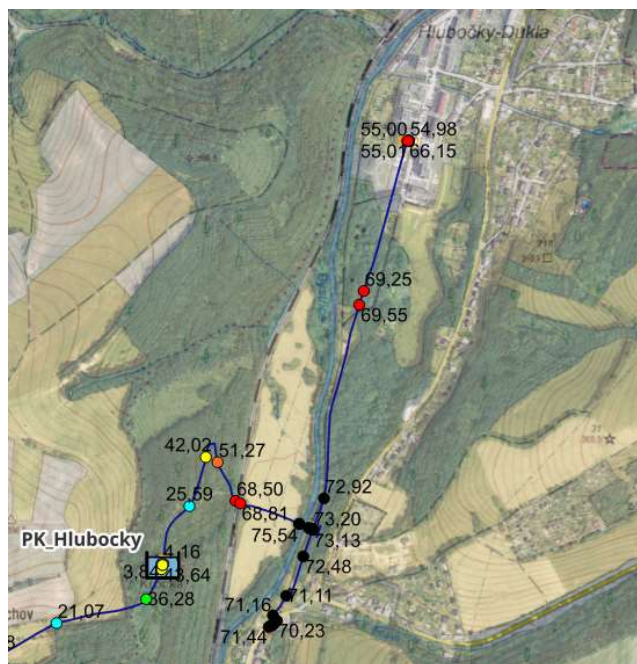
Na vstupu do spotřebiště Radíkov dosahují tlaky nejvyšší hodnoty 66.63 *m v.s.l.* V měrném objektu je poté umístěn redukční ventil, který tlak redukuje na 50 *m v.s.l.*

Výškový rozsah spotřebiště je cca 356 až 400 *m n.m.* Celá RVS Radíkov je zásobena z výše uvedeného měrného objektu.



Obrázek č. 34: Větev VDJ Radíkov - VDJ Lošov (čas 02:00)

Tlaky na přivaděči do VDJ Lošov se severovýchodně od obce Lošov stabilně pohybují 65 až 70 *m v.s.l.* – pro nejnižší místo přivaděče (cca 354 *m n.m.*) vychází hydrostatický tlak 72.1 *m v.s.l.* Modelovaná provozní hladina VDJ Radíkov je 426.1 *m n.m.*



Obrázek č. 35: Větev PK Hlubočky směr Hlubočky (čas 02:00)

Na přiváděcím řadu z PK Hlubočky směrem do spotřebišť Hlubočky obec a Hlubočky Dukla dosahují tlaky nad 70 *m v.s.l.* což je zapříčiněno topologií terénu a křížením řeky Bystřice. Před spotřebišťem Hlubočky-Dukla je umístěna VŠ s redukčním ventilem, který upravuje hodnoty tlaku na 5.5 *bar*. Pro spotřebišť Hlubočky obec by obdobné opatření také bylo řešením nevyhovujících tlakových poměrů. Dalším vhodným místem pro umístění redukce tlaku by byla PK Hlubočky – resp. odtok směrem RVS Hlubočky – tím by se zamezilo nevyhovujícím tlakovým poměrům v místech křížení železnice, řeky Bystřice a také samotné RVS Hlubočky.

6.1.3 ANALÝZA STÁŘÍ VODY

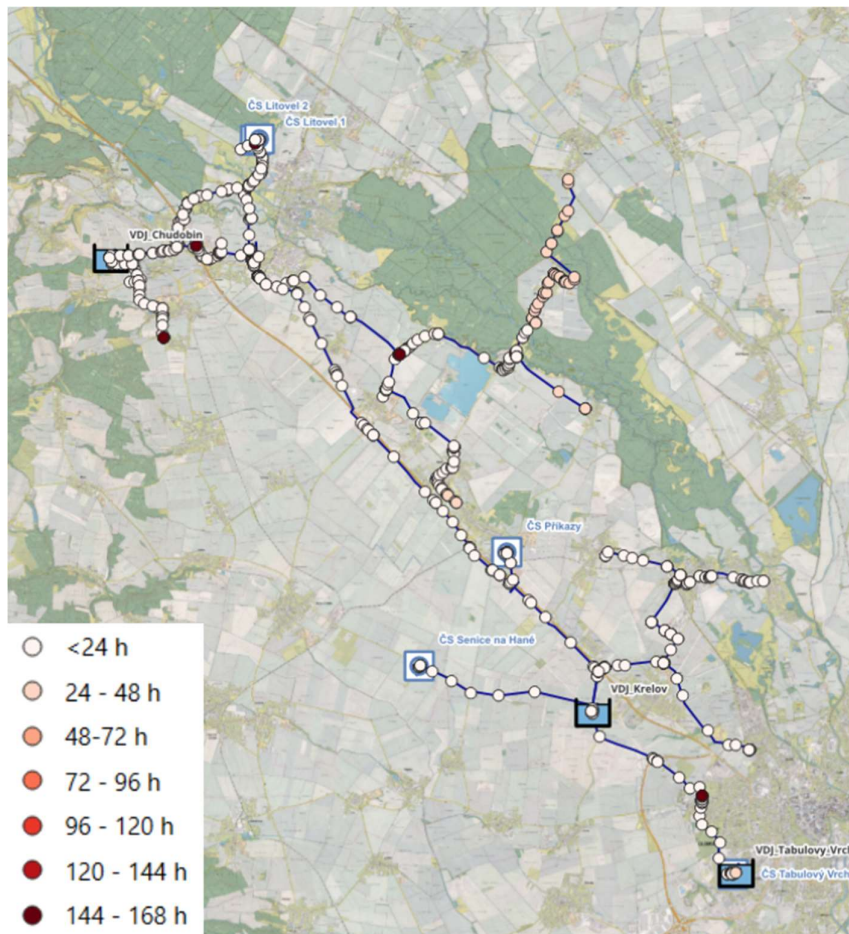
V rámci hydraulického modelu byla pro obě podskupiny SV Olomouc provedena také analýza stáří vody. Síť byla obdobně jako u analýzy tlakových poměrů zatížena maximální denní spotřebou vody po dobu 24 hodin. Nastavený časový úsek analýzy byl 168 hodin.

Z výsledků je patrné, že podskupina Olomouc -Hlubočky dosahuje výrazně vyššího stáří vody (zejména na východních větvích systému) než podskupina Litovel. Je to dáno hlavně počtem vodojemů, které se na trase mezi zdrojem a spotřebišťem nacházejí.

Pro správnou interpretaci je nutné pochopit, že stáří vody simuluje čas od vstupu vody do sítě po dosažení daného uzlu. Vodojem (zejména ty s velkým objemem a poměrně malým odtokem), předimenzované řady a relativně nízké odběry tedy zapříčiňují stagnaci vody v síti. Pro všechny vodojemy byl při analýze použit míscí model FIFO – first in, first out. Díky tomu voda konkrétním vodojemem prochází stále chronologicky podle toho, v jakém pořadí přitekla. Přerušovací komorám byl z důvodu nízkého objemu přiřazen model MIXED – ten předpokládá, že voda je v nádrži dokonale promíchána a její stáří tedy průměruje.

Grafické zpracování analýzy stáří vody je patrné ze situačních výkresů B.5.3 Stáří vody ve vodovodní síti.

Podskupina Litovel



Obrázek č. 36: Analýza stáří vody - podskupina Litovel

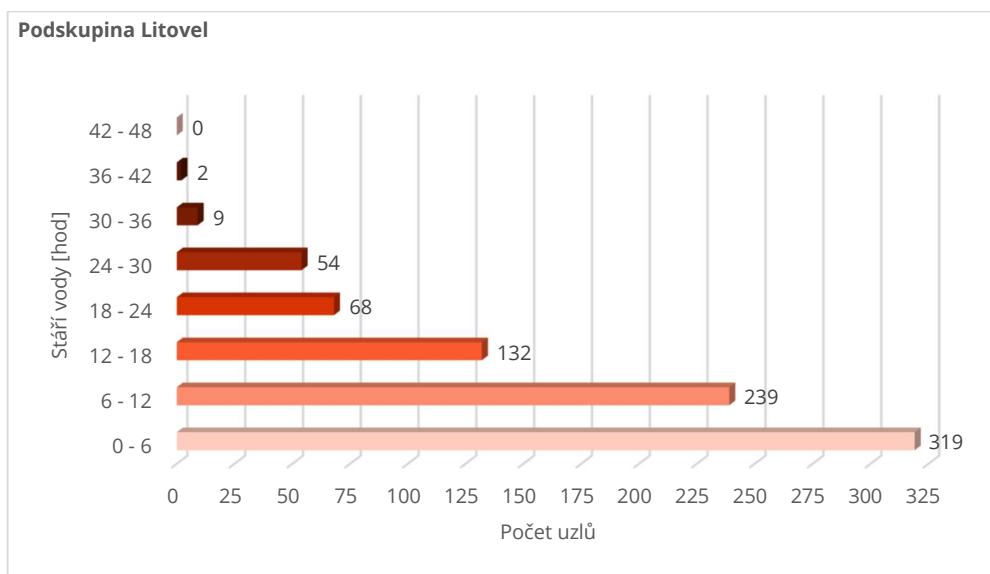
Již na první pohled je patrné, že stáří vody v podskupině Litovel je relativně nízké. Ve většině nepřesahuje ani 24 hodin. Sporadické tmavé body s vysokou hodnotou stáří vody jsou uzavřené obtoky například v měrných objektech, kde software aktuální stáří nedopočítává.

Nejvyššího stáří vody v této podskupině je dosahována na koncových větvích celého systému. Větev VDJ Chudobín směr Myslechovice vykazuje stáří vody v nejzazším místě cca 10 hodin.

Na větvi VDJ Křelov směr Horka nad Moravou, Skrbeň a Chomoutov dosahuje stáří vody maxima ve Skrbeni – cca 22 hodin.

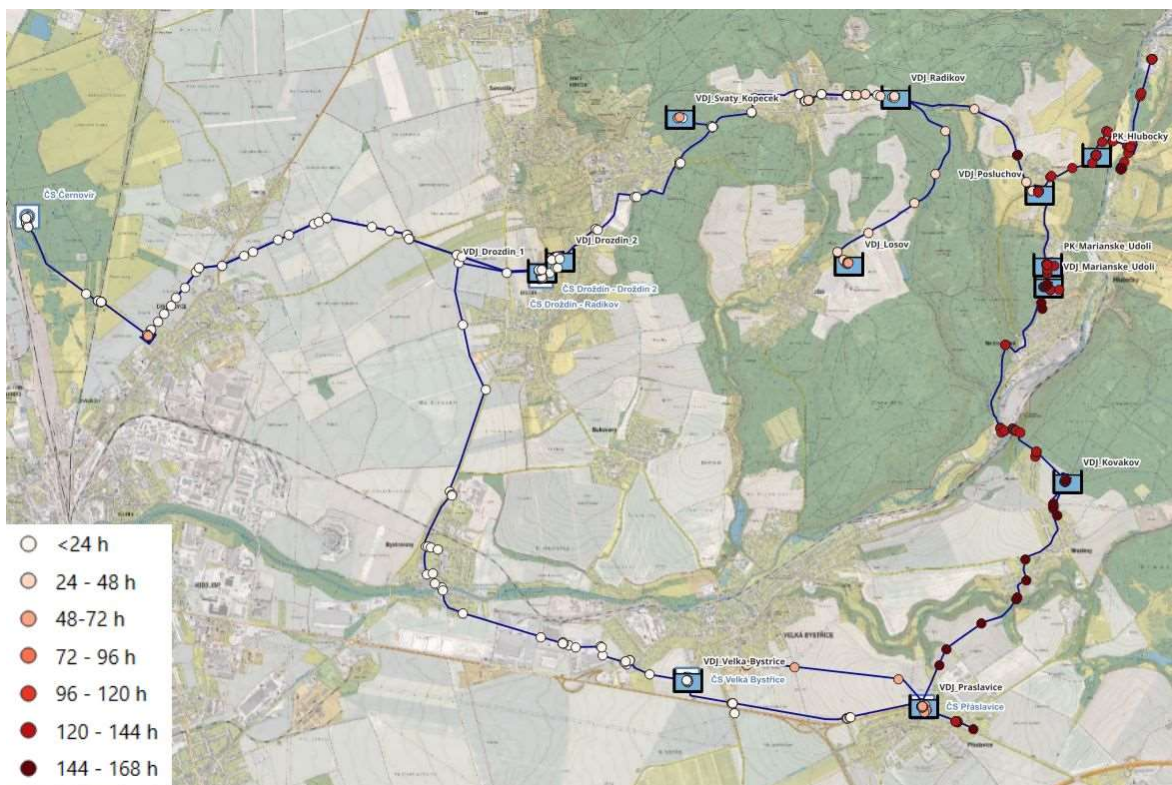
Větev MO Litovel směr Březové, Lhota n. M. (odbočení Hynkov), Střeň a Pňovice vykazuje z celé podskupiny nejvyšší stáří – Hynkov 27.5 hodiny, Střeň až 28 hodin a Pňovice 34 hodin.

Maximální hodnota stáří vody se pohybuje mezi 36 a 42 hodinami. Průměrná hodnota je potom cca 9 hodin. Na grafu níže je uvedeno zastoupení uzlů dle stáří vody.



Graf č. 10: Graf rozdělení počtu uzlů podle stáří vody – podskupina Litovel

Podskupina Olomouc – Hlubočky



Obrázek č. 37: Stáří vody - podskupina Olomouc – Hlubočky

Výše uvedený obrázek ilustruje stáří vody v jednotlivých uzlech vodovodní sítě. Je patrné, že ve východní části systému je stáří vody výrazně vyšší. To je zapříčiněno hlavně severní větví, kdy voda putuje nejdříve do VDJ Droždín 1, dále VDJ Radíkov a VDJ Posluchov, před kterým je průměrná doba dotoku cca 31 hodin. Ovšem vlivem velkého objemu a relativně nízkých odběrů dochází ve vodojemu k dlouhé době zdržení – odtok vykazuje stáří vody cca 130 hodin.

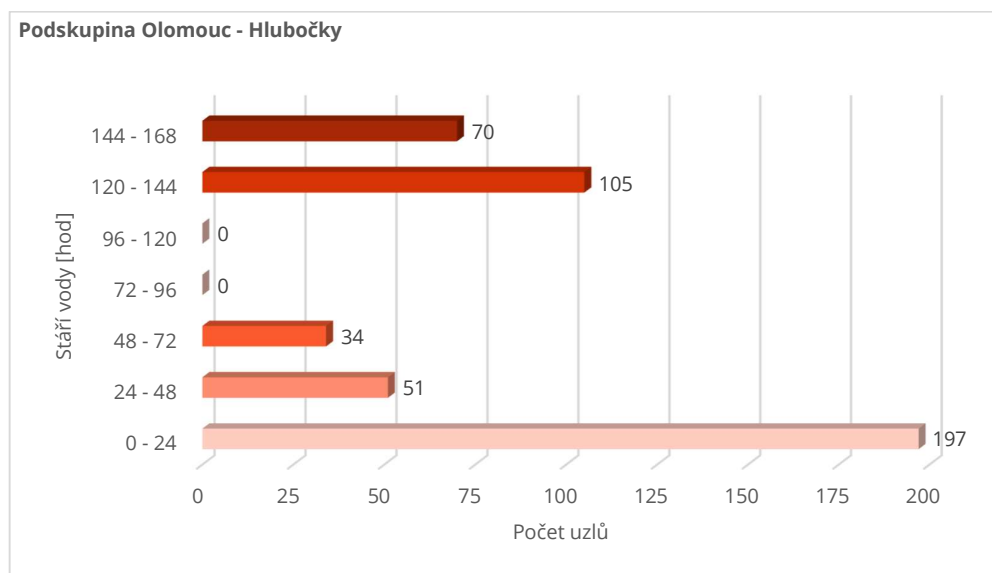
Provozním řešením tohoto stavu by bylo snížení provozní hladiny vodojemu, čímž by se recirkulace vody v akumulační komoře úměrně zvýšila. Objekt je vybaven chlorovnou, tudíž vysoké stáří vody nemusí mít nutně za následek špatné hygienické či senzorké vlastnosti v zásobených spotřebištích – ovlivňuje však potřebnou dávku chemikálií potřebnou pro hygienické zabezpečení.

Stáří vody ve spotřebištích Hlubočky a Hlubočky-Dukla je pak ovlivněno ještě přerušovací komorou PK Hlubočky, jejíž odtok vykazuje hodnotu stáří 135 hodin. Na vstupu do samotných spotřebišť je pak tato hodnota cca 142 hodin.

Spotřebiště Mariánské Údolí, respektive jeho tři tlaková pásma jsou zásobena z PK Mariánské Údolí a VDJ Mariánské Údolí. Rozmezí stáří vody se zde pohybuje mezi 130 a 147 hodinami.

Vysoké stáří vody v přivaděcích řadech na VDJ Kovákov je potom dáno nízkým odběrem z tohoto vodojemu, a tudíž dlouhou dobou recirkulace vody. Ze směru PK Mariánské Údolí – VDJ Kovákov bylo dosaženo stáří cca 144 hodin. Hodnoty na přivaděči z ČS Přáslavice pak nejsou příliš relevantní, jelikož stav po 168 hodinách nezohledňuje diskontinuální režim čerpání do vodojemu.

Maximální hodnota stáří vody se pohybuje mezi 144 a 168 hodinami. Průměrná hodnota je potom cca 70 hodin. Na grafu níže je uvedeno zastoupení uzlů dle stáří vody.



Graf č. 11: Graf rozdělení počtu uzlů podle stáří vody – podskupina Olomouc – Hlubočky

7 ZÁVĚR

V rámci hydraulické analýzy skupinového vodovodu Olomouc byl vytvořen matematický model páteřní vodovodní sítě (tedy výtlačů, přiváděcích a hlavních zásobovacích řadů). Model skupinového vodovodu je rozvodnou vodovodní sítí města Olomouc (která není předmětem tohoto projektu) rozdělen na dvě funkčně oddělené podskupiny – Litovel a Olomouc–Hlubočky.

Podskupina Litovel byla rozdělena na celkem osm tlakových pásem (měrných okrsků), které jsou od sebe hydraulicky odděleny a nátoky do nich jsou spolu s odběry v měrných objektech měřeny vodoměry s přenosy na dispečink. Podskupina disponuje třemi vodojemy a trojicí čerpacích stanic (ČS Tabulový Vrch nebyla modelována z důvodu absence navazující sítě – spotřeba je simulována bodovým odběrem z VDJ Tabulový Vrch).

Podskupina Olomouc–Hlubočky byla obdobně rozdělena do třinácti tlakových pásem (měrných okrsků), mezi kterými je prováděno kontinuální měření průtoků. Podskupina disponuje pěti čerpacími stanicemi, deseti vodojemy a dvěma přerušovacími komorami.

Navazující vodárenské soustavy a spotřebišťe byly v celém modelu schematizovány do bodových odběrů ze sítě.

Zatížení modelu bylo provedeno na základě analýzy spotřeby vody z let 2024 a 2025, tato podrobná data pak byla doplněna o syntetické spotřeby vody u spotřebišť, pro která jsou evidovány pouze měsíční odečty.

Model byl kalibrován na základě dat získaných během proběhlé měrné kampaně – měření tlaků. Po realizovaných korekcích reprezentuje chování vodovodního systému.

Po vyhodnocení tlakových poměrů lze konstatovat, že většina provozních tlaků na vodovodní síti SV Olomouc je v souladu s vyhláškou č.428/2001 Sb. ve znění Vyhlášky č. 48/2014 Sb.: Hodnoty hydrostatického tlaku na síti nepřesahují 60 m v.sl. (v opodstatněných případech 70 m v.sl.) a hodnoty hydrodynamického tlaku nejsou nižší než 25 m v.sl. (požadavek pro více podlažní zástavbu), resp. 15 m v.sl. (pro jedno a dvoupodlažní zástavbu). Přesto se na síti vyskytují lokality, které tyto limity nespĺňují, jedná se především o případy vysokých tlaků popsanych v kapitole 5.1.2 – Maximální hydrodynamický tlak.

Analýza stáří vody zejména na podskupině Olomouc – Hlubočky indikuje vysoké hodnoty stáří vody spjaté s provozním režimem této podskupiny.

Jednotlivá doporučení na základě závěrů analýzy stávajícího stavu byla popsána v dotyčných kapitolách – 6.1.1, 6.1.2 a 6.1.3.

Cílem práce bylo vytvořit hydraulický model skupinového vodovodu Olomouc, který provozovateli vodovodní sítě pomůže k zefektivnění jeho provozu a dalších navazujících činností. Na základě dalšího terénního měření a bližších specifikací jednotlivých prvků sítě či jejich funkce může být dále rozvíjen tak, aby se minimalizovaly vlivy schematizace a model tak lépe reprezentoval reálné provozní stavy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TUHOVČÁK, Ladislav; ADLER, Pavel; KUČERA, Tomáš a RAČLAVSKÝ, Jaroslav. *Vodárenství - Doprava vody, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006.
- [2] BERÁNEK, Josef a kolektiv. *Inženýrské sítě, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [3] JOLLY, Matthew D.; LOTHES, Amanda D.; BRYSON, L. Sebastian a ORMSBEE, Lindell. Research Database of Water Distribution System Models. Online. *Journal of Water Resources Planning and Management*. No. 140, s. 410-412. Dostupné z: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000352](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000352). [cit. 2025-09-25].
- [4] DRABINOVÁ, Silvie; KYNCL, Miroslav; LÁHNER, Pavel a VALOVÁ, Barbora. *Multimediální učební texty předmětu „Zásobování vodou“*. Online. 2019. Dostupné z: <https://zasobovanivodou.vsb.cz/index.php/osnova-prednasek/9-rozvodne-vodovodni-site>. [cit. 2025-09-25].
- [5] Vyhláška č. 146/2024 Sb.: Vyhláška o požadavcích na výstavbu. In: . 2024, 146/2024. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2024-146#f7897523>.
- [6] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 73 0873, *Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou*. 2003.
- [7] AVK VOD-KA A.S. *Výhody řízení tlaku v distribuční síti*. Online. Avkvodka.cz. Dostupné z: <https://www.avkvodka.cz/cs-cz/v%C3%ADce-informac%C3%AD/technologie-vody/v%C3%BDhody-%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-tlaku-ve-vod%C3%A1rensk%C3%A9-s%C3%ADti>. [cit. 2025-09-26].
- [8] NOVÁK, Josef a kol. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR. Líbeznice u Prahy: Medim, 2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [9] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Effects of Water Age on Distribution System Water Quality*. Online. Washington DC, 2002. Dostupné z: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/2007_05_18_disinfection_tcr_whitepaper_tcr_waterdistribution.pdf. [cit. 2025-09-28].
- [10] MONTEIRO, Laura; ALGARVIO, Ricardo a COVAS, Dídia. Enhanced Water Age Performance Assessment in Distribution Networks. Online. *Water*. 2021, vol. 13, no. 2574, s. 1-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w13182574>. [cit. 2025-09-28].
- [11] INGEDULD, Petr. *How to understand water age within your water distribution network*. Online. DHI GROUP. Blog.dhigroup.com. Dostupné z: <https://blog.dhigroup.com/understand-water-age-within-water-distribution-network/>. [cit. 2025-09-28].

- [12] RAJNOCHOVÁ, Markéta; RUČKA, Jan a SUCHÁČEK, Tomáš. Význam a dlouhodobý účinek řízeného proplachu na vodovodní síť. Online. *Vodovod.info*. 2019. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <https://vodovod.info/en/water-supply/423-vyznam-a-dlouhodoby-ucinek-rizeneho-proplachu-na-vodovodni-sit>. [cit. 2025-09-28].
- [13] VREEBURG, J.H.G. *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*. Disertační práce, vedoucí J.C. van Dijk. Delft: Technische Universiteit Delft, 2007. ISBN 978-90-74741-91-0. Dostupné také z: <https://resolver.tudelft.nl/uuid:20db1587-3383-4dd3-81a4-2a0ef276e127>.
- [14] KUČERA, Tomáš. Hydraulická analýza vodovodních sítí. Online. *Vodovod.info - vodárenský informační portál*. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <http://www.vodovod.info>. [cit. 2025-10-17].
- [15] PALUSZCZYSZYN, Daniel; SKWORCOW, Piotr a ULANICKI, Bogumil. Modelling and Simulation of Water Distribution Systems with Quantised State System Methods. Online. *Procedia Engineering*. 2015, roč. 119, s. 554-563. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.908>. [cit. 2025-10-19].
- [16] ROSSMAN, Lewis. *EPANET2.2 User Manual*. Online. EPA/600/R-00/057. Water Supply and Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati Ohio, 45268 USA: U.S. Environmental Protection Agency, 2000. [cit. 2025-10-19].
- [17] *QGISRed*. Online. QGIS. Plugins.qgis.org. 2022. Dostupné z: <https://plugins.qgis.org/plugins/QGISRed/>. [cit. 2025-10-21].
- [18] SARISEN, Dondu; KOUKORAVAS, Vasilis; FARMANI, Raziye; KAPELAN, Zoran a MEMON, Fayyaz Ali. Review of hydraulic modelling approaches for intermittent water supply systems. Online. *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*. 2022, vol. 71, no. 12, s. 1291-1310. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.028>. [cit. 2025-10-19].
- [19] BRAUN, Mathias; PILLER, Olivier; DEUERLEIN, Jochen a MORTAZAVI, Iraj. Limitations of demand- and pressure-driven modeling for large deficient networks. Online. *Drinking Water Engineering and Science*. 2017, vol. 10, no. 2, s. 93-98. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/dwes-10-93-2017>. [cit. 2025-10-19].
- [20] BURKHART, Ben a JANKE, Robert. Understanding Water Age in Distribution Systems With EPANET. Online. *JOURNAL AWWA*. 2023, vol. 115, s. 26-34. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/awwa.2052>. [cit. 2025-10-20].
- [21] KORDER, Kristina; CAO, Hao; SALOMONS, Elad; OSTFELD, Avi a LI, Pu. Simultaneous Minimization of Water Age and Pressure in Water Distribution Systems by Pressure Reducing Valves. Online. *Water Resources Management*. 2024, vol. 38, s. 3562-3576. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03828-6>. [cit. 2025-10-20].
- [22] VODOHOSPODÁŘSKÁ SPOLEČNOST OLOMOUC, A.S. *PROVOZNÍ ŘÁD: Skupinový vodovod Olomouc*. Pdf. Zpracovatel: VODIS Olomouc, 2017. [cit. 2025-10-25].
- [23] HERLE, Jaromír. *Výpočet potřeby vody: Směrnice a komentář*. Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1975. Příloha C.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Schéma větvené vodovodní sítě, převzato: [3]	12
Obrázek č. 2: Schéma okružové vodovodní sítě, převzato: [3]	12
Obrázek č. 3: Schéma gravitačního vodovodu – vodojem před spotřebišťem, zdroj: autor	13
Obrázek č. 4: Umístění vodojemu vzhledem ke spotřebišti, převzato: [2]	14
Obrázek č. 5: Tlaky na síti v průběhu dne se vstupní regulací tlaků a bez ní, převzato: [7]	15
Obrázek č. 6: Řez regulačním ventilem, převzato: [9]	16
Obrázek č. 7: Časová regulace tlaků na síti v průběhu dne, převzato: [7]	16
Obrázek č. 8: Procesy pohybu částic v potrubí, převzato: [13]	18
Obrázek č. 9: Orientace tlakových ztrát v okruhu, zdroj: autor	23
Obrázek č. 10: Pracovní prostředí QGIS s pluginem QGISRed, zdroj: autor	24
Obrázek č. 11: Modely promíchání vody ve VDJ v programu EPANET, převzato: [22]	26
Obrázek č. 12: Modelování stáří vody v pluginu QGISRed, zdroj: autor	27
Obrázek č. 13: Situace širších vztahů - distribuční síť SV Olomouc	30
Obrázek č. 14: Situace širších vztahů - podskupina Litovel	32
Obrázek č. 15: Situace širších vztahů - podskupina Olomouc – Hlubočky	39
Obrázek č. 16: Schematizace bodových odběrů (oranžové body)	53
Obrázek č. 17: Napojení dataloggeru na potrubí	56
Obrázek č. 18: Umístění dataloggeru v AŠ	56
Obrázek č. 19: ČS Příkazy	56
Obrázek č. 20: ČS Přáslavice	56
Obrázek č. 21: Minimální hydrodynamický tlak - podskupina Litovel	58
Obrázek č. 22: Větev VDJ Chudobín směr Myslechovice (čas 20:00)	59
Obrázek č. 23: Větev MO Litovel směr Střeň, Pňovice (čas 19:00)	59
Obrázek č. 24: Větev MO Křelov směr Horka nad Moravou (čas 19:00)	60
Obrázek č. 25: Zásobovací řady VDJ Křelov směr město Olomouc (čas 20:00)	60
Obrázek č. 26: Minimální hydrodynamický tlak - podskupina Olomouc - Hlubočky	61
Obrázek č. 27: Větev VDJ Droždín 1 směr Bystrovany (čas 19:00)	61
Obrázek č. 28: Větev VDJ Droždín 1 směr Bystrovany, Velká Bystřice (čas 21:00)	62
Obrázek č. 29: Maximální hydrodynamický tlak - podskupina Litovel	63
Obrázek č. 30: Větev VDJ Chudobín směr MO Litovel (čas 02:00)	64
Obrázek č. 31: Větev MO Křelov směr Horka nad Moravou, Chomoutov (čas 02:00)	64
Obrázek č. 32: Maximální hydrodynamický tlak - podskupina Olomouc - Hlubočky	65
Obrázek č. 33: Větev VDJ Radíkov směr obec Radíkov (čas 02:00)	66
Obrázek č. 34: Větev VDJ Radíkov - VDJ Lošov (čas 02:00)	66
Obrázek č. 35: Větev PK Hlubočky směr Hlubočky (čas 02:00)	67
Obrázek č. 36: Analýza stáří vody - podskupina Litovel	68
Obrázek č. 37: Stáří vody - podskupina Olomouc – Hlubočky	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Výsledky analýzy průtoků – jímací území – podskupina Litovel	33
Tabulka 2 - Přehled objektů akumulace - podskupina Litovel	38
Tabulka 3 - Přehled čerpacích stanic - podskupina Litovel.....	38
Tabulka 4 - Přehled prvků redukce tlaku - podskupina Litovel.....	38
Tabulka 5 - Výsledky analýzy průtoků - jímací území - podskupina Olomouc - Hlubočky	40
Tabulka 6 - Přehled objektů akumulace - podskupina Olomouc - Hlubočky.....	48
Tabulka 7 - Přehled čerpacích stanic - podskupina Olomouc - Hlubočky	48
Tabulka 8 - Přehled prvků redukce tlaku - podskupina Olomouc - Hlubočky.....	48
Tabulka 9 - Přehled použitých vodoměrů - podskupina Litovel.....	50
Tabulka 10 - Přehled použitých vodoměrů - podskupina Olomouc - Hlubočky	51
Tabulka 11 - Průběh potřeby vody v procentech potřeby celodenní, převzato: [23].....	55

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Zastoupení materiálu potrubí - podskupina Litovel	34
Graf č. 2: Zastoupení DN potrubí - podskupina Litovel	34
Graf č. 3: Data pokládky potrubí - podskupina Litovel	34
Graf č. 4: Zastoupení materiálu potrubí - podskupina Olomouc - Hlubočky.....	42
Graf č. 5: Zastoupení DN potrubí - podskupina Olomouc - Hlubočky.....	42
Graf č. 6: Data pokládky potrubí - podskupina Olomouc - Hlubočky	42
Graf č. 7: Graf denní nerovnoměrnosti spotřeby vody.....	54
Graf č. 8: Graf syntetické denní nerovnoměrnosti spotřeby vody.....	54
Graf č. 9: Průběh potřeby vody v procentech potřeby celodenní.....	55
Graf č. 10: Graf rozdělení počtu uzlů podle stáří vody – podskupina Litovel	69
Graf č. 11: Graf rozdělení počtu uzlů podle stáří vody – podskupina Olomouc – Hlubočky	70

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC	azbestocement;
ČS	čerpací stanice;
ČSN	česká technická norma;
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální;
DDM	Demand Driven Model (analýza řízená odběrem);
DN	jmenovitá světlost potrubí (diameter nominal);
EPS	Extended Period Simulation (dlouhodobá simulace v EPANET);
EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí Spojených států amerických;
EPANET	softwarový nástroj pro hydraulické a kvalitativní modelování vodovodních sítí;
FIFO	first in, first out (model promíchání vody ve vodojemu);
GIS	geografický informační systém;
Hdopr	dopravní výška čerpací stanice;
LIFO	last in, first out (model promíchání vody ve vodojemu)
MINLP	Mixed-Integer Nonlinear Programming (smíšené celočíselné nelineární programování)
MO	měrný objekt
OC	ocel
PDA	Pressure Driven Analysis (analýza řízená tlakem)
PE	polyethylen
PVC	polyvinylchlorid
Qd	maximální denní průtok
Qi	odběr v konkrétním úseku
Qp	průměrný denní průtok
QGIS	open-source geografický informační systém
QGISRed	plugin QGIS pro tvorbu hydraulických modelů na bázi EPANET
RVS	rozvodná vodovodní síť
SV	skupinový vodovod
TLT	tvárná litina
ÚV	úpravna vody
VDJ	vodojem
VHS	Vodohospodářská společnost (Olomouc a.s.)

SEZNAM PŘÍLOH

A **Textová část**

- A.1 Průvodní a technická zpráva - součást tohoto dokumentu
- A.2 Kalibrace
- A.3 Analýza spotřeby vody

B **Výkresová část**

- B.1 Bilanční schémata
 - B.1.1 Bilanční schéma - podskupina Litovel
 - B.1.2 Bilanční schéma - podskupina Olomouc-Hlubočky
- B.2 Výšková schémata
 - B.2.1 Výškové schéma - podskupina Litovel
 - B.2.2 Výškové schéma - podskupina Olomouc-Hlubočky
- B.3 Situační výkresy vodovodní sítě
 - B.3.1 Situační výkres vodovodní sítě - podskupina Litovel
 - B.3.2 Situační výkres vodovodní sítě - podskupina Olomouc-Hlubočky
- B.4 Situační výkresy měrné kampaně
 - B.4.1 Situační výkres měrné kampaně - podskupina Litovel
 - B.4.2 Situační výkres měrné kampaně - podskupina Olomouc-Hlubočky
- B.5 Výsledky hydraulické analýzy
 - B.5.1 Minimální hydrodynamický tlak
 - B.5.1.1 Situace - minimální hydrodynamický tlak - podskupina Litovel
 - B.5.1.2 Situace - minimální hydrodynamický tlak - podskupina Olomouc-Hlubočky
 - B.5.2 Maximální hydrodynamický tlak
 - B.5.2.1 Situace - maximální hydrodynamický tlak - podskupina Litovel
 - B.5.2.2 Situace - maximální hydrodynamický tlak - podskupina Olomouc-Hlubočky
 - B.5.3 Stáří vody ve vodovodní síti
 - B.5.3.1 Situace - stáří vody ve vodovodní síti - podskupina Litovel
 - B.5.3.2 Situace - stáří vody ve vodovodní síti - podskupina Olomouc-Hlubočky