



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

OPTIMALIZACE TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI OBCE STŘELNÁ

PRESSURE OPTIMISATION IN THE WATER-SUPPLY SYSTEM OF THE STŘELNÁ VILLAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. TOMÁŠ SUCHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Tomáš Sucháček
Název	Optimalizace tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Střelná
Vedoucí diplomové práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

[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 Enviromental 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

Zásady pro vypracování

V rámci diplomové práce bude vytvořen podrobný kvazidynamický hydraulický model celé vodovodní sítě obce Střelná, okr. Vsetín, který bude následně kalibrován a verifikován na základě měření hydraulických veličin na vodovodní síti. Student provede simulaci charakteristických provozních stavů vodovodu a následně také posouzení tlakových poměrů s ohledem na stávající i výhledový rozsah zástavby. V modelu bude simulováno opatření, které umožní dosažení optimálních tlakových poměrů v celé vodovodní síti, zejména s ohledem na novou plánovanou výstavbu. V úvodu prací bude proveden podrobný terénní průzkum spotřebišť.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Tento dokument je zaměřen na použití sofistikovaných softwarových prostředků k provedení hydraulické analýzy reálného systému, návrhu a optimalizace opatření pro zlepšení tlakových poměrů ve vodovodní síti.

V této práci je uveden výčet a popis softwarových prostředků umožňujících provádět statickou či kvazi-dynamickou hydraulickou analýzu sítě, přičemž nejpoužívanějšímu programu EPANET 2.0 byla věnována větší pozornost a bylo popsáno jeho fungování, možnosti použití a principy, na nichž je založen.

Při realizaci hydraulické analýzy reálného systému bylo poté použito programu EPANET 2.0. Za pomoci tohoto programu byla zpracována hydraulická analýza vybraného vodovodního systému malého spotřebiště pro stávající a výhledový stav zástavby. Na základě výsledků analýzy tlakových poměrů bylo navrženo a optimalizováno opatření ke zlepšení poměrů ve vodovodní síti.

Klíčová slova

Matematické modelování, vodovodní síť, hydraulická analýza, tlaková optimalizace, Pareto optimalita

Abstract

This document aims on application of sophisticated software programs to accomplish hydraulic analysis of real water supply, design and optimization measures for improvement of pressure conditions in water network.

In this work is stated a list and description of software enabling to accomplish static or long-term hydraulic analysis of water supply when the most world used program EPANET 2.0 is described more deeply. There is described working of a EPANET and his algorithm also there are explain principles on which EPANET is based.

During the hydraulic analysis of real system was used sophisticated software EPANET 2.0. With this program was processed hydraulic analysis of chosen water supply system of small consumption area. Based on the results of analysis pressure conditions has been designed and optimized measure to improve pressure conditions in the water network.

Keywords

Mathematical modelling, water supply system, hydraulic analysis, pressure optimisation, Pareto optimality

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Tomáš Sucháček *Optimalizace tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Střelná*. Brno, 2015. 103 s., 23 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem bych chtěl poděkovat za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení při zpracování bakalářské práce, zejména panu Ing. Janu Ručkovi, Ph.D., který byl vedoucím této bakalářské práce.

Tato diplomová práce byla zpracována v rámci řešení projektu TAČR ALFA II č. TA 02020604 „Nástroje pro prevenci vzniku zákalu ve vodovodních sítích.“

OBSAH

1	ÚVOD	9
1.1	STÁVAJÍCÍ STAV ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU V OBCI STŘELNÁ.....	9
1.2	POPIS, POSTUP A ROZSAH PRACÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ.....	9
1.3	CÍLE PRÁCE.....	12
2	LEGISLATIVNÍ A TEORETICKÝ RÁMEC ÚLOHY	13
2.1	LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA TLAKOVÉ POMĚRY VE VODOVODNÍCH SÍTÍCH v ČR 13	
2.2	ZÁKLADNÍ TEORIE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ TRUBNÍCH SÍTÍ	16
2.2.1	ZÁKON ZACHOVÁNÍ HMOTNOSTI – ROVNICE KONTINUITY	17
2.2.2	ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI – ROVNICE HYBNOSTI.....	18
2.2.3	STAVOVÉ ROVNICE	18
2.2.4	NAVIER – STOKESOVY A EULEROVY ROVNICE.....	19
2.2.5	BERNOULLIHO ROVNICE	20
2.2.6	ZTRÁTY MECHANICKÉ ENERGIE V POTRUBÍ	21
2.2.7	PŘEDPOKLADY A ZJEDNODUŠENÍ.....	24
2.2.8	VSTUPNÍ DATA	25
2.2.9	SNÍŽENÍ POČTU ODBĚRNÝCH MÍST.....	26
2.2.10	PODMÍNKY PRO VÝPOČET OKRUHOVÝCH SÍTÍ	29
2.2.11	METODY VÝPOČTU SOUSTAVY ROVNIC PRO OKRUHOVÉ SÍTĚ.....	31
2.3	PŘÍKLADY TLAKOVÉ OPTIMALIZACE V ZAHRANIČÍ.....	31
3	SOFTWAREVÉ NÁSTROJE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ	34
3.1	MIKENET	34
3.2	MIKE URBAN	34
3.3	KYPIPE, PIPE 2014	35
3.4	SITEFLOW	35
3.5	EPANET 2.0	35
3.5.1	VÝPOČETNÍ METODA	36
3.5.2	ŘÍZENÍ MODELU	39
3.5.3	HYDRAULICKÁ ANALÝZA	40
3.5.4	NADSTAVBY PRO EPANET 2.0.....	42
4	POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VODOVODNÍ SÍTĚ OBCE STŘELNÁ..	45
4.1	ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ.....	45
4.1.1	CHARAKTERISTIKA SPOTŘEBIŠTĚ	46
4.1.2	SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU	47
4.1.3	PROVOZOVATEL VODOVODNÍ SÍTĚ.....	50
4.1.4	ANALÝZA SPOTŘEBY VODY	50
4.2	HYDRAULICKÝ SIMULAČNÍ MODEL VODOVODNÍ SÍTĚ.....	53

4.2.1	VSTUPNÍ PODKLADY.....	53
4.2.2	STAVBA MODELU	54
4.2.3	HYDRAULICKÁ ANALÝZA VODOVODNÍ SÍŤE	55
4.3	MĚRNÁ KAMPAŇ	55
4.4	STÁVAJÍCÍ STAV	58
4.4.1	ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU.....	59
4.4.2	ZÁSOBOVÁNÍ POŽÁRNÍ VODOU	62
4.5	VÝHLEDOVÝ STAV	66
4.5.1	ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU.....	67
4.5.2	ZÁSOBOVÁNÍ POŽÁRNÍ VODOU	69
4.6	ZÁVĚR	69
5	NÁVRH OPATŘENÍ PRO OPTIMALIZACI TLAKOVÝCH POMĚRŮ	71
5.1	OPATŘENÍ PRO ZLEPŠENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI	72
5.1.1	VARIANTA 1 – POSILOVACÍ ČERPACÍ STANICE; TLAKOVĚ REDUKČNÍ VENTIL.....	72
5.1.2	VARIANTA 2 – VĚŽOVÝ VODOJEM; ČERPACÍ STANICE; TLAKOVĚ REDUKČNÍ VENTIL	75
5.1.3	VARIANTA 3 – POSILOVACÍ ČERPACÍ STANICE	78
5.2	PRVNÍ STUPEŇ ROZHODOVACÍHO PROCESU	80
5.3	OPTIMALIZACE PARAMETRŮ VYBRANÉHO OPATŘENÍ PRO ZLEPŠENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI	82
5.3.1	ÚČELOVÉ FUNKCE OPTIMALIZACE	82
5.3.2	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	83
5.3.3	DISKRETIZACE OPTIMALIZAČNÍ ÚLOHY	84
5.3.4	METODA ŘEŠENÍ OPTIMALIZAČNÍ ÚLOHY	84
5.3.5	NALEZENÍ PARETO OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ.....	85
6	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ	90
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	94
	SEZNAM TABULEK	97
	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	99
	SEZNAM PŘÍLOH.....	102
	SUMMARY	103

1 ÚVOD

V úvodní kapitole této diplomové práce bude objasněno, čím se práce zabývá, jakým postupem byla vypracována a jaké jsou její cíle. Díky tomu, že se tato práce zabývá reálným systémem, bude zde také uveden stručný popis stávajícího reálného systému, kterým se tato práce zabývá.

1.1 STÁVAJÍCÍ STAV ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU V OBCI STŘELNÁ

Vodovodní síť v obci Střelná byla budována v letech 1996 až 1998, do provozu byla uvedena počátkem roku 1999. V době plánování výstavby vodovodní sítě se nenacházel žádný dostatečně vydatný zdroj surové vody, která by mohla být upravena pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Došlo tedy k připojení obce na vodárenskou soustavu Luhačovice-Stanovnice-Syrákov-Vlára-Bojkovice, konkrétně na skupinový vodovod Stanovnice. Hlavním zdrojem vody je tedy vodní dílo Stanovnice. Obec je zásobována z vodojemu Horní Lideč – Stráň v jednom tlakovém pásmu. Délka vodovodních řadů v obci je cca 6,8 km, je zde zahrnuta také délka 1 km zásobovacího řadu z vodojemu Horní Lideč – Stráň, který končí v armaturní šachtě Střelná. Trubní materiál vodovodních řadů je bez výjimky PVC. Dimenze potrubí se pohybuje v rozmezí od DN 80 po DN 150. Vodovodní infrastrukturní majetek je ve vlastnictví obce a provozovatelem vodovodu jsou Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.

1.2 POPIS, POSTUP A ROZSAH PRACÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ

V rámci této diplomové práce bylo provedeno posouzení tlakových poměrů a jejich vyhodnocení v obci Střelná pomocí počítačové simulace hydraulickým modelem, jehož přesnost byla kalibrována na základě měření tlaků na síti. Pro potřeby studie byl sestaven hydraulický simulační model celé distribuční vodovodní sítě obce Střelná v jejím stávajícím rozsahu cca 6,8 km. Dále bylo taktéž navrženo variantní řešení pro zlepšení tlakových poměrů ve vodovodní síti. Pro co možná nejefektivnější návrh jednotlivých variantních řešení bylo použito dvoustupňového rozhodovacího procesu. Prvním stupněm bylo rozhodnutí pro jednu z variant a ve druhém stupni byl optimalizován návrh varianty zvolené v prvním stupni. Nežli

bylo možné tyto závěry a návrhy provést, bylo potřeba učinit určitý sled činností, které jsou ve stručnosti popsány níže, podrobněji se jim práce věnuje v následujících kapitolách.

Úplně na začátku řetězce událostí, které vedly k návrhům opatření pro zlepšení tlakových poměrů, stojí stížnosti připojených obyvatel v obci ohledně kolísání tlaku. Vedení obce Střelná se rozhodlo těmito stížnostmi zabývat a rozhodlo o tom, že bude vypracována studie s cílem posoudit tlakové poměry ve vodovodní síti popřípadě identifikovat kritická místa a navrhnout řešení ke zlepšení tlakových poměrů v síti. Dalším cílem bylo posoudit, zda lokality dle územního plánu určené k výstavbě, bude možno připojit k vodovodní síti. Tímto byly prakticky definovány cíle studie, což je hlavní věc, od níž se odvíjí všechny další činnosti.

První fází studie byl sběr a konsolidace dat. Tato fáze v sobě skrývá sběr dat jako topologii sítě, údaje o dimenzích, výškopis a polohopis obce, zpracování dat z dispečinku – analýza spotřeby vody atd.

Jakmile byly konsolidovány a získány všechny podklady, bylo možné provést první terénní průzkum, který byl spojen s průzkumem charakteru spotřebišť. V první fázi v rámci topologie byly získány údaje o tom, které konkrétní nemovitosti jsou připojeny. Podrobným terénním průzkumem byl zjištěn typ a velikost nemovitostí připojených na vodovodní síť obce. Tímto byly získány velmi přesné údaje o počtu připojených obyvatel v jednotlivých úsecích sítě.

Díky dříve nasbíraným datům a informacím z terénního průzkumu bylo možno přistoupit k tvorbě hydraulického modelu vodovodní sítě. Klíčovou část tvorby modelu tvoří rozdělení známého nátoky do sítě do jednotlivých částí modelu tak, aby hodnoty vypočtené v hydraulickém modelu co nejvíce odpovídaly skutečnosti. K tomuto rozdělení byly použity právě údaje z podrobného terénního průzkumu.

Jelikož je potřeba zjistit, co se v síti děje a ověřit míru shody mezi vypočtenými hodnotami a skutečností je nutné provést měření přímo na síti. Tato fáze se označuje jako měrná kampaň. K tomuto účelu byla použita tlaková čidla, jenž byla naistalována do vytipovaných hydrantů. Výběr těchto hydrantů neovlivňuje jen hydraulika sítě, poloha hydrantu, ale také jeho dobrý technický stav. V rámci vystižení hydrauliky sítě bylo potřeba zvolit hydranty, které dobře reprezentovaly jednotlivé části sítě a zachycovaly kolísání tlaků v daném místě. Rovněž byly vytipovány kritická místa vzhledem k nízkému či vysokému tlaku a takovéto hydranty byly také zvoleny pro měrnou kampaň. Měřicí místa byly vybrány tak, aby poskytovaly informace

o celé síti, to znamená, že byly rovnoměrně v síti tak, jak jenom bylo možné k výše zmíněnému. Bylo potřeba také respektovat technický stav hydrantu. Pokud je totiž hydrant ve špatném technickém stavu, nelze jej pro měření použít. Špatným technickým stavem je myšleno například nefunkční hydrantové šoupě, které nelze otevřít. Dalším problémem může být vyosení litinového hrnce tak, že není možné použít hydrantový klíč pro otevření hydrantového šoupěte. Častým problémem je taktéž velká nerovnost dosedací hrany pro měřicí tlakové čidlo, tím je buď znemožněna montáž čidla. Mohlo by taktéž docházet k příliš velkému úniku vody, při kterém by pronikala voda až na povrch a navíc by mohlo být ovlivněno také měření tlaků. Proto jsou hydranty ve špatném technickém stavu nevhodné pro osazení měřicí techniky. Měrnou kampaň je potřeba vyhodnotit, to znamená, že bylo provedeno porovnání naměřených hodnot s hodnotami vypočtenými za známých nátoků do sítě. Pokud by se naměřené a vypočtené hodnoty neshodovaly, proběhla by ještě kalibrace hydraulického modelu, avšak to v tomto případě jí nebylo potřeba.

Po vyhodnocení měrné kampaně bylo možné provést verifikaci hydraulického modelu. Bylo tak učiněno pro dva charakteristické zatěžovací stavy. Prvním byl maximální hodinový odběr ze sítě, který v síti způsobuje nejnižší hydrodynamické tlaky. Druhým byla noční doba, při které jsou nejnižší odběry z vodovodní sítě, což je doprovázeno nejvyššími hydrodynamickými tlaky, jejichž hodnota se přibližuje tlaku hydrostatickému.

Verifikovaný hydraulický model celé vodovodní sítě posloužil jako nástroj k posouzení, zda bude možno v budoucnu připojit lokality určené k výstavbě v územním plánu obce. Prokázalo se, že všechny lokality bude možno bez omezení připojit. Dále byl verifikovaný model použit k identifikaci problémových míst z hlediska tlakových poměrů a to jak odběrů pitné vody, tak z hlediska tlakových požadavků pro požární vodu.

V této fázi bylo možno konstatovat důležité zjištění a to, že stížnosti na kolísání tlaku se ukázaly jako nepodložené. Bylo zjištěno, že tlak v síti nijak výrazně nekolísá. Avšak podrobnou analýzou tlakových poměrů ve stávající vodovodní síti byly nalezeny některé části sítě, jenž nevyhovují legislativním požadavkům na hodnoty hydrostatických a hydrodynamických tlaků pro zásobování pitnou a požární vodou. V těchto částech sítě byly jednoznačně identifikovány připojené nemovitosti, jichž se problémy s nedostatečným tlakem týkají.

Teprve nyní bylo možno přistoupit k návrhu opatření zlepšujících tlakové poměry v síti. Byly navrženy tři technicky proveditelné varianty. Jedna z těchto variant byla optimalizována

tak, aby byl jejich návrh co nejefektivnější. Tato práce poskytuje konečné rozhodnutí pro jednu z variant. Také zde nejsou tyto řešení detailně rozebrány z ekonomické stránky věci. Optimalizace se týká především technické stránky. Ekonomický aspekt je obsažen v návrhu také, ovšem jenom při koncepčním rozhodování, která technická řešení jsou ekonomicky únosná.

Ve zkratce lze tedy říci, že posouzením tlakových poměrů v obci Střelná byly jednoznačně označeny problémové části vodovodní sítě, ve kterých by mělo dojít k opatřením zlepšujícím tlakové poměry v síti. Bylo prokázáno, že lokality určené pro výstavbu v územním plánu je možno v budoucnu připojit na vodovodní síť. Dále byly navrženy tři varianty opatření, které by zlepšily tlakové poměry v síti.

1.3 CÍLE PRÁCE

Cílem práce bylo vytvoření podrobného kvazidynamického matematického modelu vodovodní sítě zájmového území, kterým byla obec Střelná nacházející se v okrese Vsetín. Tento model byl kalibrován a následně verifikován na základě podrobného terénního průzkumu spotřebiště, vodovodního systému a objektů s ním spojených a zejména dle výsledků měrné kampaně, která byla za tímto účelem provedena. Pomocí tohoto modelu byly provedeny simulace charakteristických provozních stavů vodovodu. Následné vyhodnocení tlakových poměrů proběhlo pro současný stav zástavby ale také pro výhledovou zástavbu určenou dle územního plánu. Bylo navrženo opatření, které umožní dosáhnout optimálních tlakových poměrů v síti s ohledem na novou plánovanou výstavbu. Návrh tohoto opatření byl optimalizován tak, aby bylo na základě stanovených kritérií dosaženo optimálního stavu.

2 LEGISLATIVNÍ A TEORETICKÝ RÁMEC ÚLOHY

Tato kapitola se zabývá legislativními požadavky na tlakové poměry v síti, teoretickým základem pro matematické modelování trubních sítí, softwarovými prostředky pro matematické modelování a podrobněji také popisuje nejběžnější program pro hydraulickou analýzu trubní sítě EPANET 2.0.

2.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA TLAKOVÉ POMĚRY VE VODOVODNÍCH SÍTÍCH V ČR

V České republice je 5 hlavních legislativních dokumentů. Těmito dokumenty jsou Zákon č.274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ČSN EN 805 Vodárenství – požadavky na vnější síť a jejich součásti, ČSN 75 54 01 – Navrhování vodovodního potrubí, Vyhláška č.428/2001 Sb. a také norma pro zásobování požární vodou, protože druhotnou funkcí vodovodní sítě je také zásobení požární vodou, ČSN 73 08 73 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou.

Zákon č.274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

Toto je hlavní legislativní dokument v České republice pro obor vodovodů a kanalizací. Je nadřazen níže uvedeným předpisům. Předmět tohoto zákona jasně definuje odst.1 v §1: „*Tento zákon upravuje některé vztahy vznikající při rozvoji, výstavbě a provozu vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě (dále jen "vodovody a kanalizace"), přípojek na ně, jakož i působnost orgánů územních samosprávných celků a správních úřadů na tomto úseku.*“ (Zákon č.274/2001 Sb.)

Tento dokument nestanovuje žádné konkrétní hodnoty tlaků pro zásobování pitnou a požární vodou, kterým se tato práce zabývá. Ovšem obsahuje formulace obecné povahy, do kterých jsou tyto požadavky implementovány a to: „*Vodovody musí být navrženy a provedeny tak, aby bylo zabezpečeno dostatečné množství zdravotně nezávadné pitné vody pro veřejnou potřebu ve vymezeném území a aby byla zabezpečena nepřetržitá dodávka pitné vody pro odběratele. Je-li vodovod jediným zdrojem pro zásobování požární vodou, musí splňovat požadavky požární ochrany na zajištění odběru vody k hašení požáru, je-li to technicky možné.*“ (Zákon č.274/2001 Sb.)

ČSN EN 805 Vodárenství – požadavky na vnější síť a jejich součásti

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 805:2000. Evropská norma EN 805:2000 má status české technické normy.

Pro zásobování pitnou vodou z hlediska tlaků říká toto:

„Projektant, s ohledem na rozhodující průtokové podmínky, stanoví pro rozvodnou síť návrhové provozní přetlaky (DP), nejvyšší výpočtové přetlaky (MDP) a zkušební přetlaky (STP).“ (ČSN EN 805, 2001).

Tyto tři přetlaky norma definuje jako:

Návrhové provozní přetlaky (Design Pressure): *„nejvyšší provozní přetlak v rozvodné síti nebo tlakovém pásmu stanovený projektantem s ohledem na budoucí rozvoj zásobování, avšak bez vodního rázu“.* (ČSN EN 805, 2001)

Nejvyšší návrhový přetlak (Maximum Design Pressure): *„nejvyšší provozní přetlak v rozvodné síti nebo tlakovém pásmu stanovený projektantem s ohledem na budoucí rozvoj zásobování a zahrnující vodní ráz.“* (ČSN EN 805, 2001)

Zkušební přetlak rozvodné sítě (System Test Pressure): *„hydrostatický přetlak, kterým se u nově položeného potrubí zkouší jeho neporušenost a těsnost.“* (ČSN EN 805, 2001)

Je vidět, že zde norma neuvádí žádné konkrétní hodnoty maximálního, minimálního ani doporučeného přetlaku ve vodovodní síti.

Pro zásobování požární vodou uvádí norma tento požadavek:

„Požadavky na zásobování požární vodou je nutno stanovit v souladu s národními právními předpisy nebo místními předpisy. Zajištění možné potřeby vody z rozvodné vodovodní sítě pro účely požární ochrany může značně přesahovat normální požadovanou potřebu. Za těchto okolností, mají hledat orgány zodpovědné za požární ochranu jiné zdroje pro nouzové zásobování vodou.“ (ČSN EN 805, 2001). Jak je tedy patrné, norma nestanovuje žádné konkrétní požadavky pro zásobování požární vodou, ale odkazuje na národní předpisy.

ČSN 75 54 01 – Navrhování vodovodního potrubí

Tato norma platí pouze pro navrhování vodovodního potrubí studené pitné vody od zdroje po napojení vodovodní přípojky. Samotné vodovodní přípojky norma neřeší. Norma doplňuje

ostatní platné dokumenty tam, kde je to možné a v oblastech, kterým se ostatní normy nevěnují.

Norma uvádí konkrétní hodnotu alespoň pro nejvyšší dovolené přetlaky v síti, konkrétně uvádí toto: „*Návrhový přetlak v nejnižších místech nových rozváděcích řadů, budovaných pro zásobování nových budov, nemá převyšovat hodnotu 0,6 MPa a v odůvodněných případech hodnotu 0,7 MPa. Pokud tento přetlak není pro vysoké budovy dostatečný, je v nich nutno zřídít zařízení pro zvýšení tlaku.*“ (ČSN 75 54 01, 2007)

Vyhláška č.428/2001 Sb.

Tato Vyhláška č.428/2001 Sb. Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č.274/2001 o vodovodech a kanalizacích, se zabývá maximálními i nejnižšími dovolenými tlaky. Konkrétně je tato ustanovení možno nalézt v odstavci 4 a 5 v §15. Znění vypadá takto: „*Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa. V odůvodněných případech se může zvýšit na 0,7 MPa. Při zástavbě do dvou nadzemních podlaží hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být v místě napojení vodovodní přípojky nejméně 0,15 MPa. Při zástavbě nad dvě nadzemní podlaží nejméně 0,25 MPa.*“ (Vyhláška č.428/2001 Sb.)

ČSN 73 08 73 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou

Tato norma se věnuje požárnímu zásobování nově budovaných objektů, ale také objektům stávajícím a revizím požárního zásobování vodou budov stávajících. Potřeby přetlaku pro zásobování požární vodou stanovuje norma takto: „*U nejnepříznivěji položeného nadzemního (podzemního) hydrantu má být zajištěn statický (zásobovací) přetlak 0,2 MPa.*“ (ČSN 73 08 73, 2007) Norma neuvádí požadavky na minimální hydrodynamický přetlak. U požárního zásobování vodou je také důležitá velikost odběru a doba odběru. Například hydranty pro zásobování požární vodou v zástavbě rodinných domků musí být napojeny na vodovodní potrubí průměru alespoň DN80 a umožnit požární odběr alespoň $4,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Přičemž doba odběru je stanovena na 30 minut. Pro další typy budov je velikost a doba odběru podrobně stanovena normou.

2.2 ZÁKLADNÍ TEORIE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ TRUBNÍCH SÍTÍ

Matematické modely trubních sítí se dají rozdělit podle několika různých kritérií do určitých skupin. Nejdůležitějším kritériem, které ovlivňuje složitost modelu a jeho náročnost zejména na vstupní data, je časový charakter proudění. V modelování trubních vodovodních sítí rozlišují se tři hlavní typy matematických modelů a to stacionární nebo také statické, dále jsou to modely dynamické a jako poslední jsou to modely kvazi-dynamické.

Stacionární modely uvažují s ustáleným prouděním, které je v celém časovém kroku neměnné. Posuzuje konkrétní okamžitý charakteristický stav odběru vody ze sítě. Ve vodárenské praxi se tento typ modelu hojně používá při posouzení vodovodní sítě na charakteristické zatěžovací stavy, kdy je v podstatě do modelu zadán okamžitý nátok do sítě, uzlové odběry a z nich je vypočítán okamžitý tlak ve výpočtových uzlech, který se posoudí, zda vyhovuje daným požadavkům či nikoliv. (Tuhovčák, 2006)

Dynamické modely pracují s neustáleným prouděním. Toto proudění řeší ve velmi krátkém časovém intervalu, kterým je obvykle sekunda, ale může být v některých případech i kratší. Používají se tam, kde dochází ve velmi krátkém čase k velkým změnám průtokových řad. Nejčastěji se tohoto modelu používá pro analýzu vodního rázu v potrubí. (Tuhovčák, 2006)

Kvazi-dynamické modely jsou jakýmsi přechodným typem mezi stacionárními a dynamickými modely. Tyto modely řeší posloupnost stacionárních modelů. Model pracuje s ustáleným prouděním, to ovšem neznamena, že nemůže dojít ke změně průtoku. Tato změna se však může realizovat jenom na rozhraní dvou časových kroků, což znamená, že po celou dobu časového kroku je proudění konstantní. Tento princip změn, tedy že se mění jenom na rozhraní dvou časových kroků výpočtu, platí i pro fyzikální veličiny (např. poloha hladiny ve vodojemu). Délky časového kroku bývají většinou stejné, ovšem nemusí to tak platit vždy. V nejjednodušší podobě lze kvazi-dynamické modely popsat jako součet jednotlivých stacionárních modelů. Ve vodárenství lze tento model použít pro návrh nového vodojemu, či k posouzení zda ke stávajícímu vodojemu může být připojena nová lokalita. Na rozdíl od stacionárního modelu totiž pracuje model kvazi-dynamický i s časovým krokem. To znamená, že odtok má dobu trvání, za kterou odteče určitý objem z vodojemu. Jednotlivé časové kroky se sčítají a porovnávají s časovými kroky přítoku do vodojemu. Poté je možné stanovit, zda je objem vodojemu dostatečný pro posuzované účely. (Tuhovčák, 2006)

Dalšími kritérii pro rozdělení matematických modelů v dopravě vody jsou režim proudění, rozměrovost úlohy a také se matematické modely dělí na inverzní a přímé.

Režim proudění může být laminární nebo turbulentní, avšak v matematických modelech pro dopravu vody jde většinou o proudění turbulentní. Taktéž rozměrovost úlohy je pro dopravu vody v drtivé většině jednodimenzionální, to znamená, že například vektor rychlosti má pouze x-vou složku. Rozdíl mezi přímým a inverzním modelováním je v tom, co známe a co naopak chceme modelem získat. V přímém modelování se ze známých vstupních údajů a parametrů modelu chceme dostat k výsledkům. Kdežto v inverzním modelování se ze známých výsledků získaných například experimentálně chceme dobrat vstupních parametrů.

Matematické modely v hydrodynamice se opírají o několik základních rovnic mechaniky kapalin, která spadá do obecné mechaniky. Mechanika kapalin studuje rovnováhu sil působících na kapalinu v klidu a pohybu. Důležitým pojmem pro rovnice mechaniky kapalin je „Elementární objem“, to je takový objem, který je velmi malý vzhledem k rozměrům oblasti proudění, ale dostatečně velký v poměru k délce volné dráhy molekul. (Říha, 1997)

2.2.1 ZÁKON ZACHOVÁNÍ HMOTNOSTI – ROVNICE KONTINUITY

Jako první tento zákon formuloval ruský chemik Michail Vasilijevič Lomonosov v roce 1758. Uvědomil si totiž, že hmota respektive hmotnost se nemůže nikam ztratit. Pokud tuto jednoduchou poučku přeneseme na kapalinu a vytkneme si například z průřezu potrubí elementární objem, můžeme říci, že to, co do elementárního objemu natéká, to z něho také vytéká. V hydraulice se tento zákon uvádí jako rovnice kontinuity a její zápis vypadá takto (Mase, 1974):

$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

Jelikož modely v oblasti vodovodních sítí a dopravy vody v nich jsou většinou jednodimenzionální a připouští se určité zjednodušení v tom, že se voda uvažuje jako nestlačitelná ($\rho = \text{konst.}$) nabývá potom rovnice tvaru (Říha, 1997):

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} = 0 \quad (2.2)$$

kde $v_x(x,t)$... je jediná složka vektoru rychlosti v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

$x(t)$... je prostorová souřadnice, která je pouze funkcí času

2.2.2 ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI – ROVNICE HYBNOSTI

Celková hybnost izolované soustavy těles se nemění. Toto je znění zákona zachování hybnosti. Izolovaná soustava je taková, na niž nepůsobí žádné vnější síly. Na izolovanou soustavu mohou působit i vnější síly, přičemž soustava zůstává izolovaná jedině v tom případě, když je výslednice těchto sil nulová. Problémem je, že ve skutečném světě je velmi těžké nalézt dokonale izolovanou soustavu. Proto je potřeba zavést jistou míru zjednodušení. Toto zjednodušení spočívá v tom, že se soustava považuje za izolovanou, jestliže na ni působí vnější síly, které ve sledovaném směru mají zanedbatelnou velikost v poměru k silám uvnitř soustavy. Dále je možno zanedbat účinek sil, který by se projevil až za velmi dlouhou dobu. Rovnice zákona zachování hybnosti se zapisuje takto (Mase, 1974):

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho f_i = \rho \frac{Dv_i}{Dt} \quad (2.3)$$

kde σ_{ij} ... je tenzor napětí

ρ ... je hustota kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

$f_i(x,y,z,t)$... jsou složky vektoru objemového zatížení f vztaženého na jednotku hmotnosti

$v_i(x,y,z,t)$... jsou složky vektoru rychlosti v

2.2.3 STAVOVÉ ROVNICE

Stavové rovnice vyjadřují závislost mezi tenzorem napětí σ_{ij} a tenzorem rychlosti přetvoření (deformační rychlosti) ε_{ij} . Pro newtonskou kapalinu stavové rovnice vyjadřují napětí σ_{ij} v kapalině jako lineární funkci rychlosti přetvoření ε_{ij} a tlaku p (Mase, 1974):

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \lambda(\rho, T)\varepsilon_v + 2\mu(\rho, T)\varepsilon_{ij} \quad (2.4)$$

kde σ_{ij} ... je tenzor napětí

$p(x,y,z,t)$... je tlak

$\lambda(\rho, T)$... je koeficient objemového přetvoření

ε_v ... je tenzor rychlosti objemového přetvoření

δ_{ij} ... je Kroneckerovo delta

Tenzor rychlosti přetvoření ε_{ij} je vyjádřen jako lineární kombinace prvních parciálních derivací složek vektoru rychlosti v_i dle (Říha, 1997):

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.5)$$

kde $v_i(x,y,z,t)$... jsou složky vektoru rychlosti v

$x_i(x,y,z,t)$... jsou prostorové souřadnice

Tenzor rychlosti objemového přetvoření je definován dle (Říha, 1997):

$$\varepsilon_v = \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \quad (2.6)$$

kde $v_i(x,y,z,t)$... jsou složky vektoru rychlosti v

$x_i(x,y,z,t)$... jsou prostorové souřadnice

2.2.4 NAVIER – STOKESOVY A EULEROVY ROVNICE

Je to základní formulace obecného pohybu kapalin. Rovnice nezávisle na sobě odvodili Claude L.M.H. Navier v roce 1827 a v roce 1845 George G. Stokes. Navier-Stokesovy rovnice se obdrží dosazením stavových rovnic (2.4) do rovnice hybnosti (2.3). Užitím rovnice kontinuity pro nestlačitelnou kapalinu (2.2) přejde rovnice do často používaného tvaru v hydrodynamice dle (Říha, 1997):

$$f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j^2} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \quad (2.7)$$

kde $f_i(x,y,z,t)$... jsou složky vektoru objemového zatížení f vztaženého na jednotku hmotnosti

$p(x,y,z,t)$... je tlak

$x_i(x,y,z,t)$... jsou prostorové souřadnice

$v_i(x,y,z,t)$... jsou složky vektoru rychlosti v

Navier – Stokesovy rovnice sice popisují celkový pohyb tekutiny, ovšem problémem je, že jsou analyticky pro složité případy neřešitelné. Analyticky se dají řešit jenom pro případy jednoduchého toku. Rovnice se tedy musí řešit numericky. Analytické řešení těchto rovnic je tak velkým problémem, že ho Clay Mathematics Institute označil za matematický problém

tisíciletí. Není totiž vůbec jisté, zda je možné nalézt řešení pro zadané počáteční podmínky. (www.claymath.org)

2.2.5 BERNOULLIHO ROVNICE

Je to zřejmě nepoužívanější rovnice pro výpočet tlakových trubních sítí, odvodil ji Daniel Bernoulli. Vyjadřuje zákon zachování energie, přičemž je energie v rovnici přepočtena na objemovou jednotku kapaliny. Tuto rovnici lze aplikovat na výpočet ustáleného i neustáleného proudění. Rovnice pro neustálené proudění má tvar (Říha, 1997):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\tau}{\rho g} \frac{dO}{dA} = 0 \quad (2.8)$$

kde z ... je geodetická výška osy potrubí [m]

x ... je prostorová souřadnice ve směru osy potrubí [m]

p ... je tlak [Pa]

ρ ... je hustota kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

v ... je průřezová rychlost kapaliny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

τ ... je tečné napětí kapaliny [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$]

O ... je omočený obvod potrubí [m]

A ... je průtočná plocha [m^2]

α ... je Coriolisovo číslo

Pro matematické modely vodovodních sítí, kde se pracuje se stacionárními a kvazidynamickými modely, se rovnice zjednoduší tím, že z rovnice vypadne složka změny rychlosti v čase, jedná se totiž o ustálené proudění ($\frac{\partial v}{\partial t} = 0$). Pokud se tato rovnice, integruje, dostane tvar Bernoulliho rovnice ve formě výšek:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = konst. \quad (2.9)$$

Tato rovnice se často také používá ve formě tlaku:

$$z\rho g + p + \frac{\alpha\rho v^2}{2} = konst. \quad (2.10)$$

2.2.6 ZTRÁTY MECHANICKÉ ENERGIE V POTRUBÍ

Pokud by se Bernoulliho rovnice (2.9) aplikovala na nějaký úsek potrubí, kde by bylo možno ověřit výpočet měřením. Došlo by se k závěru, že rovnice neplatí. Důvodem této nerovnosti je fakt, že rovnice (2.8), (2.9) i (2.10) jsou pro ideální kapalinu. To je kapalina, která je dokonale nestlačitelná a není v ní žádné vnitřní tření. Voda ani jiné médium těmto kritériím nevyhovují. Při proudění skutečné kapaliny vznikají ztráty mechanické energie třením po délce a také místními singularitami. Máme-li dva profily 1 a 2, mezi kterými proudí skutečná kapalina, vypadá Bernoulliova rovnice pro tyto dva profily takto (Babbitt, 1939):

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_z \quad (2.11)$$

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

$\frac{\alpha v^2}{2g}$... je rychlostní výška [m]

h_z ... je ztrátová výška [m]

Jak je patrné z rovnice (2.11) mezi profily 1 a 2 se realizuje ztráta mechanické energie, která se vyjadřuje v metrech. Tato ztráta se obecně skládá ze dvou složek a to ztrát třením po délce a ze ztrát místními odpory. V obou složkách hraje důležitou roli rychlostní výška, ztráty jsou jakousi její částí či jejím násobkem.

Ztráta mechanické energie třením po délce se vyjadřuje pomocí Darcy-Weisbachovy rovnice (Říha, 1997):

$$h_t = \lambda \frac{L}{D} \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (2.12)$$

kde λ ... je součinitel tření

L ... je délka potrubí [m]

D ... je průměr potrubí [m]

Důležitým členem této rovnice je součinitel tření λ . Pro stanovení součinitele tření je nejprve potřeba vypočítat Reynoldsovo číslo (Jandora, 2006):

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad (2.13)$$

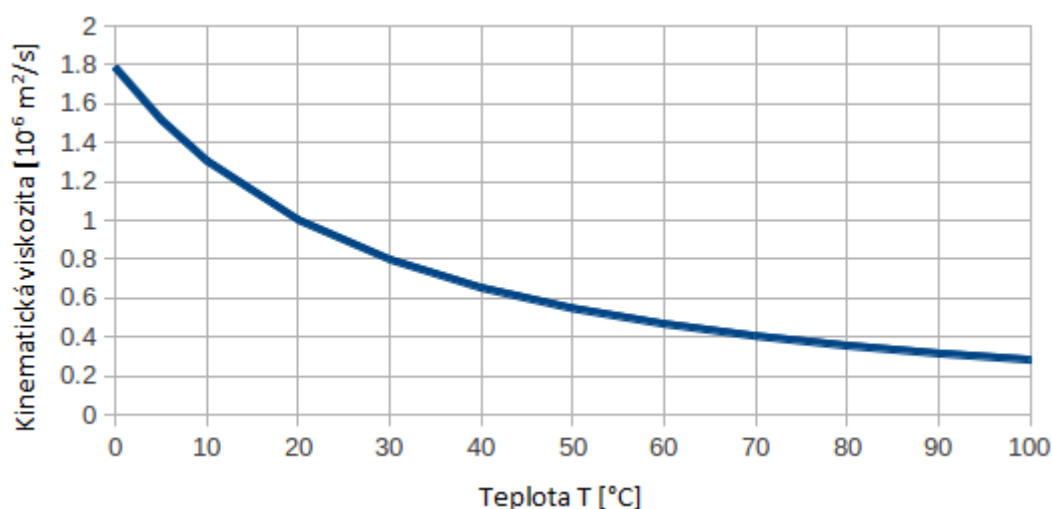
kde v ... je rychlost vody v potrubí [m/s]

ν ... je kinematická viskozita vody [m²/s]

D ... je průměr potrubí [m]

Problémem při stanovení Reynoldsova čísla je kinematická viskozita, ta není konstantní, ale mění se s teplotou. Tato závislost se vyjadřuje graficky nebo rovnicí (Jandora, 2006):

Graf 2.1



$$\nu = \frac{1,79 * 10^{-6}}{1 + 0,0337 * T + 0,000221 * T^2} \quad (2.14)$$

kde T ... je teplota vody [°C]

Po stanovení Reynoldsova čísla je možné přistoupit k výpočtu samotného součinitele tření. Ten se dělí podle toho, jaký je charakter proudění v potrubí. Jsou čtyři různé oblasti proudění a to laminární, hydraulicky hladkého potrubí, hydraulicky drsného potrubí zvaná také oblast přechodová a poslední kvadratická oblast. Pro každou oblast platí jiné zákonitosti pro stanovení součinitele tření. Například v laminární oblasti je součinitel tření závislý pouze na velikosti Reynoldsova čísla. Pro představu je zde pro každou oblast uveden jeden vztah pro výpočet součinitele tření (Jandora, 2006):

Laminární proudění - oblast 1

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.15)$$

kde Re ... je Reynoldsovo číslo [-]

Hydraulicky hladká potrubí – oblast 2 – dle Blasia

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.16)$$

kde Re ... je Reynoldsovo číslo [-]

Hydraulicky drsná potrubí – oblast 3 – dle White – Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{2,51}{\text{Re} * \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 * D}\right) \quad (2.17)$$

kde Re ... je Reynoldsovo číslo [-]

D ... je průměr potrubí [m]

k ... je absolutní drsnost potrubí [m]

Kvadratická oblast – oblast 3 – dle Nikuradse

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\log \frac{3,7 * D}{k}\right)^2} \quad (2.18)$$

kde D ... je průměr potrubí [m]

k ... je absolutní drsnost potrubí [m]

V technické praxi se pro výpočet součinitele uvažují pouze dva typy proudění a to laminární a turbulentní. To znamená, že se rozlišují a také nejčastěji používají dva vztahy pro výpočet součinitele tření. Pro laminární proudění se často používá vzorec (2.15) a pro celou oblast turbulentního proudění ($\text{Re} > 2320$) se povětšinou používá vztah (2.17) dle White – Colebrooka. Protože je v tomto vztahu součinitel tření vyjádřen implicitně a je potřeba na jeho stanovení použít numerických iteračních metod (metoda prosté iterace, Newtonova iterační metoda), provedl doc.Ing.Milan Šerek, CSc. aproximaci vztahu (2.17) a vyjádřil součinitel tření explicitně. Toto explicitní vyjádření má tvar (Jandora, 2006):

$$\lambda = \left[\left(2 \cdot \log \frac{k}{D} - 1,13874 \right)^{-8} + \frac{0,01}{\text{Re}} \right]^{0,25} \quad (2.19)$$

kde $\text{Re} \dots$ je Reynoldsovo číslo [-]

$D \dots$ je průměr potrubí [m]

$k \dots$ je absolutní drsnost potrubí [m]

Ztrátu mechanické energie zapříčiněnou místními odpory nebo také místní ztráty lze vypočítat z rovnice (Jandora, 2006):

$$h_m = \sum \xi \cdot \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (2.20)$$

kde $\sum \xi \dots$ je součet místních odporových součinitelů v jednotlivých úsecích

Výpočet místních ztrát se někdy v praxi může provést připočtením ekvivalentní délky, která nahradí místní odpory.

2.2.7 PŘEDPOKLADY A ZJEDNODUŠENÍ

Při snaze vystihnout reálný svět matematickými formulacemi není možné zcela uspět. Aby bylo možné popsat matematicky reálné děje a co nejvíce se přiblížit skutečnosti, je zapotřebí připustit určitá zjednodušení a tvořit matematické formulace na základě určitých předpokladů. Tato zjednodušení se používají i z praktických důvodů. Často pokud by se vyvinulo obrovské úsilí, aby byly získány všechny data například pro trojdimenzionální model proudění vody, dosáhlo by se jenom o málo lepších výsledků než při vyvinutí mnohem menšího úsilí pro získání dat pro dvojdimenzionální model.

Základními a nejčastějšími zjednodušeními je to, že se kapalina (voda) považuje za nestlačitelnou, předpokládá se její volná pohyblivost a také se považuje za kontinuum. Tohoto se využívá ve všech matematických modelech, v nichž je médiem voda.

Další důležitou věcí v matematickém modelování jsou počáteční a okrajové podmínky. Bez počáteční podmínky by úlohy měly nekonečně mnoho řešení. Je to stav, ve kterém se systém nachází v čase $t = 0$. Okrajové podmínky vymezují oblast, v níž je model řešen a určují hodnoty neznámých na hranici. Jednoduchým příkladem může být matematický model vodovodní sítě. Zaměříme-li se na vodojem, je možné zde vidět počáteční i okrajovou podmínku. Počáteční podmínkou je hladina ve vodojemu, protože výpočet může začít s plným

vodojemem ale také s poloprázdným. Obě řešení pak mají jiné výsledky. Okrajovou podmínkou je rozmezí, ve kterém se může pohybovat hladina ve vodojemu. Voda do vodojemu nemůže přitékat do nekonečna, ale zastaví se, když hladina dosáhne okrajové podmínky.

Časová nezávislost

Obecně při matematickém modelování se zavádí zjednodušení, které říká, že některé parametry modelu či okrajové podmínky jsou neměnné v čase. Toto zjednodušení se používá tam, kde jsou změny parametrů velmi malé, a nebo tam, kde i větší změny mají minimální vliv na výstupy z modelu. Bohužel je potřeba někdy tento předpoklad stacionarity použít tam, kde není dostatečné množství vstupních dat.

V technické praxi matematického modelování vodovodních sítí je tento zjednodušující předpoklad použit prakticky v každém modelu. Pokud by hypoteticky bylo možné měřit velikost odběru například každou sekundu v každém odběrném místě, objem dat by nabyl obrovských rozměrů a velmi pravděpodobně by takováto přesnost a rozsah vstupních dat nebyl hybatelem, který by zásadně zvýšil přesnost modelu. Prakticky toto ale není možné, bylo by to neuvěřitelně nákladné a technicky složité. V praxi se proto přistupuje k metodice zatěžovacích stacionárních stavů a popřípadě ke kvazi-dynamické analýze.

Dimenzionalita úlohy

Ve skutečnosti je každé proudění, se kterým se v hydrodynamice pracujeme, trojdimenzionální. Ovšem je nutno dodat, že můžou nastat případy, kde jsou dvě složky proudění oproti té třetí obrovské, tudíž je třetí složka zanedbatelná. Podobně se může stát, že jsou dvě složky ze tří v poměru ke třetí zcela zanedbatelné. V těchto případech je tedy možné zanedbat složky proudění, které mají nepatrný vliv.

Při modelování vodovodních sítí je vždy dostatečný jednodimenzionální model a také to tak v praxi funguje. Vektor rychlosti ve směru proudění je vždy mnohonásobně vyšší než vektor rychlosti na směr proudění kolmý.

2.2.8 VSTUPNÍ DATA

Vstupní data jsou alfou a omegou celého modelu. Jak říká známá anglická poučka pro modelování „garbage in – garbage out“. Po definici cílů čeho má být dosaženo modelem, je

konsolidace a získávání dat nejdůležitější činností. Bez správných vstupních dat není možné postavit správný model, ať už se jedná o model proudění vody v korytě nebo proudění vody ve vodovodní síti. Je velmi důležité na začátku rozhodnout, v jaké úrovni je potřeba vstupní data získávat. Musí být brán ohled na to, pro jaký model budou vstupy sloužit. Například pro koncepční model pro celé vodárenské soustavy nemá význam získávat počty přípojek v jednotlivých úsecích, nebo třeba získávat výškopisné údaje, jejichž přesnost bude na milimetry atd.

Vstupní data je možné rozdělit do několika základních skupin:

- Geometrie – topologie sítě, výškopis
- Hydraulické parametry – dimenze potrubí, použitý materiál – drsnost potrubí
- Objekty na síti – objekty mají zásadní vliv na fungování celé sítě, mají řídicí funkci, je potřeba znát jejich geometrii, funkci, fungování v čase atd.
- Údaje o nátocích do sítě – analýza spotřeba vody
- Měřené hodnoty na síti – nátoky do sítě, průtok a tlak ve vybraných místech

2.2.9 SNÍŽENÍ POČTU ODBĚRNÝCH MÍST

Odběrné místo je místo v síti, kde dochází k odběru vody ze sítě. V drtivé většině je to vodovodní přípojka, ovšem může to být také hydrant. Pokud by nedošlo ke snížení počtu odběrných míst, musel by v každém tomto odběrném místě být výpočtový uzel, kterému by musel být definován odběr. Toto by bylo teoreticky možné v nějakých velmi malých spotřebištích, ovšem ve velkých městech je to nerealizovatelné. Je tedy potřeba sdružit tyto jednotlivé odběry do jednoho. Tyto odběry se sdružují a posléze rozdělují do výpočtových uzlů. K tomu je správně rozdělit celou síť na úseky. Na koncích každého úseku je uzel.

Úsek je část sítě, ve které je konstantní průtok, dimenze potrubí a hydraulická drsnost. Úsek nemusí být nutně jen potrubí, ale za úsek lze označit také čerpadlo nebo třeba armaturu, ke které je přiřazena ekvivalentní délka potrubí.

Uzel je krajní bod úseku, pomocí nichž jsou úseky propojeny. Veškeré odběry a nátoky do systému se realizují v uzlech. Uzlem může být taktéž vodojem.

Z výše uvedené definice už je patrné zjednodušení ve formě snížení odběrných míst. Protože, sdružíme-li jednotlivé odběrné místa v jednom úseku do koncových uzlů úseku, je

jasné, že model neodpovídá realitě. Ve skutečnosti bude průtok v úseku klesat směrem ve směru proudění. Je tedy potřeba správně nadělit na jednotlivé úseky. Primární rozdělení na úseky proběhne tím, že uzel musí být v místě větvení či spojení jednotlivých větví sítě, dále potom v každém místě změny dimenze a také v místě významnějších uzlových odběrů například v místě vodovodní přípojky velkoodběratele. Pokud po tomto dělení nemají úseky správnou délku, je potřeba přistoupit k dalšímu dělení. Nejde přesně říci, jakou by měl mít úsek správnou délku. Protože pokud je dlouhý úsek bez odběrů, změny dimenze či větvení řadu například přiváděcí řad, je možné, aby délka úseku dosáhla i několika set metrů i více. Naopak jedná-li se o úsek v centru města, kde jsou větší bodové odběry na krátké vzdálenosti, měly by být úseky kratší. V takovýchto místech dochází k větším změnám průtoků. Mohla by tak nastat situace, že dva sousední úseky by měly velký skok v rychlostech proudění. Pokud se rozdělují dlouhé úseky, je výhodné umísťovat uzly do míst, kde se nacházejí hydranty. Potom je totiž v hydrantech přesně ověřit shodu mezi modelem a reálnými tlaky v síti. Celkově je však obtížné obecně přesně stanovit správnou délku úseku, jsou k tomu zapotřebí také předcházející zkušenosti operátora.

Metody pro snížení odběrných míst:

1. Metoda redukovaných délek:

Pro tuto metodu je potřeba znát hustotu zástavby, výšku a charakter zástavby. Na základě těchto údajů, je každý úsek ohodnocen součinitelem C_1 . Po stanovení součinitele C_1 se přistoupí k výpočtu redukované délky (Tuhovčák, 2006):

$$L_r = C_1 \cdot L \quad (2.21)$$

kde L_r ... je redukovaná délka [m]

L ... je skutečná délka úseku [m]

Nyní je potřeba vypočítat celkovou redukovanou délku posuzované sítě, jenž se použije ke stanovení specifické potřeby vody dle následujících vztahů (Tuhovčák, 2006):

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{ir} \quad (2.22)$$

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (2.23)$$

kde S_r ... je celková redukovaná délka [m]

Q_c ... je celková spotřeba sledované sítě [$m^3 \cdot s^{-1}$]

q_r ... je specifická spotřeba sledované sítě [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Ze specifické spotřeby a redukované délky úseku se nyní stanoví průtok ve vyšetřovaném úseku Q_i (Tuhovčák,2006):

$$Q_i = q_r \cdot L_{ir} \quad (2.24)$$

Následně se rozdělí odběry v jednotlivých úsecích do koncových uzlů a to tak, že do obou koncových uzlů se přiřadí polovina odběrů realizujících se na daném úseku.

Zvláštním případem této metody je stav, kdybychom chtěli rozdělit nátok do sítě čistě jenom podle délek úseků (hodnota součinitele je všude konstantní $C = 1$). Toto použití metody jednoho součinitele je poměrně rychlé a výhodné například v satelitech velkých měst. V těchto oblastech je drtivá převaha rodinných domů nad jakoukoliv jinou zástavbou, přičemž navíc bývá tato zástavba na obou stranách vodovodního potrubí stejná.

Metoda jednoho součinitele ani její mutace v podobě rozdělení podle délek není dostatečně přesná, a proto se pro přesnější modely používá metoda dvou součinitelů.

2. Metoda dvou součinitelů

Tato metoda má výhodu v přesnosti, ale poměrně velkou nevýhodu v tom, že je velmi pracná a náročná na podklady. Ke každé přípojce je potřeba přiřadit počet osob a stanovit specifickou potřebu vody pro první součinitel. Výpočet pak vypadá následovně (Tuhovčák, 2006):

$$P_i = C1 \cdot C2 \quad (2.25)$$

kde $C1$... je součinitel vyjadřující počet obyvatel, typ zástavby, plochu zástavby

$C2$... je součinitel vyjadřující specifickou potřebu pro součinitel $C1$

P_i ... je redukovaná délka [m]

Dále je nutno stanovit (Tuhovčák,2006):

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i \quad (2.26)$$

Nyní už se jenom stanoví specifická potřeba vody dle (2.17) a vypočte se množství dopravované vody v i -tém úseku (Tuhovčák,2006):

$$Q_i = q_r \cdot P_i \quad (2.27)$$

Rozdělení odběrů v úseku do uzlů je stejné jako u metody č.1. Tedy tak že do uzlů na konci úseků se přiřadí polovina odběru realizovaného v daném úseku.

2.2.10 PODMÍNKY PRO VÝPOČET OKRUHOVÝCH SÍTÍ

Výpočet okruhových sítí není tak jednoduchý jako sítí větvených. Ve větvených sítích je jednoznačně určen směr proudění za každé situace a je také jednoznačné kolik jednotlivými úseky proudí vody. To u okruhových sítí neplatí, může totiž nastat situace, že v některých úsecích sítě se může směru toku změnit i několikrát denně, podle toho jak se mění odběry v různých místech sítě. Pro výpočet hydrauliky okruhové sítě jsou stanoveny tři podmínky, díky kterým je možné v těchto okruhových sítích vypočítat průtoky jednotlivými úseky. Tyto podmínky jsou tři a to okruhová podmínka, uzlová podmínka a hydraulická podmínka.

Uzlová podmínka

Tato podmínka vyplývá ze zákona zachování hmotnosti, pro výpočtový uzel bez možné akumulace platí stejná poučka jako pro elementární objem – hmota, která do elementu vtéká z elementu současně vytéká. Matematický zápis uzlové podmínky vypadá následovně (Říha, 1997):

$$\sum Q_i = \sum O_j \quad (2.28)$$

kde Q_i ... je přítok z i-tého úseku

O_j ... je odtok do j-tého úseku nebo odběr

Okruhová podmínka

Vyjadřuje zákon zachování energie a říká, že součet tlakových ztrát přes všechny úseky nezávislého okruhu při zvolené orientaci je roven nule. Matematický zápis vypadá (Říha, 1997) takto:

$$\sum h_{z_i} = 0 \quad (2.29)$$

kde h_{z_i} ... je ztrátová výška v i-tém úseku

Hydraulická podmínka

Vyjadřuje vztah mezi průtokem a ztrátovou výškou v daném úseku, je odvozena ze stavových rovnic. Ztrátová výška se vypočte dle vztahu (2.12) a (2.20) (Říha, 1997):

$$h_{zi} = \kappa_i \cdot Q_i^n \quad (2.30)$$

kde κ_i ... je odporový součinitel daného úseku

n ... je exponent pohybující se v mezích od 1,75 do 2

Rovnice pro výpočet odporového součinitele (Říha, 1997):

$$\kappa = 0,020678\lambda \frac{L}{D^5} \quad (2.31)$$

kde L ... je délka úseku [m]

λ ... je součinitel ztrát třením, vypočtený například dle Šereka či White-Colebrook

D ... je vnitřní průměr potrubí [m]

Je třeba poznamenat, že hodnota odporového součinitele vždy závisí na vztahu použitým pro výpočet součinitele ztrát třením po délce λ .

Ještě je třeba dodat jeden vztah a to kvůli tomu, že všechny vřazené odpory můžeme nahradit ekvivalentní délkou potrubí kromě čerpadla, to proto, že na čerpadle tlakovou výšku získáváme. Přírůstek tlakové výšky u čerpadla se vypočte dle vztahu (Říha, 1997):

$$h_i = \alpha_i \cdot Q_i^{n_i} - H_{0i} \quad (2.32)$$

kde h_i ... je přírůstek tlakové výšky [m]

Q_i ... je průtočné množství [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H_{0i} , n_i , α_i ... se určuje tabelárně dle parametrů čerpadla daných výrobcem

Po sestavení podmínek pro celou síť, vznikne obrovská soustava rovnic, která má přesně tolik rovnic, kolik je neznámých. Neznámé, které chceme při výpočtu vodovodních sítí získat, jsou průtok a tlaková ztráta v jednotlivých úsecích.

2.2.11 METODY VÝPOČTU SOUSTAVY ROVNIC PRO OKRUHOVÉ SÍTĚ

Jakmile je sestavena soustava rovnic, je možné přejít k jejímu výpočtu. K tomuto se používají numerické metody, jelikož analytické řešení by bylo zdlouhavé. Nejčastěji se k těmto účelům používají iterační numerické metody. Základem všech těchto metod je přibližování se z prvotního odhadnutého řešení ke konečnému řešení. Tento cyklický výpočet se zastavuje po naplnění konvergenčního kritéria, které je potřeba dopředu stanovit. Tyto numerické iterační metody jsou matematických aparátů pro tři různé metody postupu výpočtu. Tyto metody se dělí podle toho, které veličiny jsou na začátku odhadnuty.

Metoda vyrovnání ztrátových výšek

Zde se odhadují průtoky a jejich směr v okruhu tak, aby byla splněna uzlová podmínka (2.28). Z odhadnutých průtoků se vypočte ztrátová výška a z ní opravný průtok, a tak se stále cyklicky pokračuje, dokud není dosaženo konvergenčního kritéria. Patří sem například Newtonova metoda (Tuhovčák,2012).

Metoda vyrovnání průtoků

V této metodě se odhadují ztrátové výšky a směry průtoků tak, aby byla splněna okruhová podmínka (2.29). Ze ztrátových výšek se vypočte průtok a z něj poté opravné ztrátové výšky. Cyklus se opakuje, dokud není dosaženo konvergenčního kritéria. Patří sem například Newtonova metoda II (Tuhovčák,2012).

Metoda vyrovnání odporových součinitelů

Tady je potřeba odhadnout průtoky a ztrátové výšky pro splnění podmínek (2.28) a (2.29), není však splněna hydraulická podmínka (2.30). Postupně se tedy zpřesňují průtoky a ztrátové výšky, dokud není dosaženo konvergenčního kritéria. Patří sem například Mc Ilroyova metoda (Tuhovčák,2012).

2.3 PŘÍKLADY TLAKOVÉ OPTIMALIZACE V ZAHRANIČÍ

V této kapitole jsou uvedeny některé příklady tlakových optimalizací pro vodovodní systémy prováděné v zahraničí.

Příklad 1 – Čína – město Kunming

V tomto případě se jedná o problém nevhodných tlakových poměrů v jižní a jihovýchodní oblasti města K. Bude vybudovaný vodojem v jedné části sítě ke zlepšení této situace. Když je nízký noční průtok, přebytek vyráběné vody bude dopravován do výše položeného vodojemu. Jinak během denní špičky bude spotřebiště zásobováno z úpravny vody a výše položeného vodojemu dohromady tak, aby se vyrovnal tlak v síti. Tato analýza výškového umístění vodojemu pomocí simulace v hydraulickém modelu provádí ekonomickou analýzu a logický návrh na úpravu sítě. Pro kalibraci modelu byla provedena měrná kampaň na pěti různých místech sítě reprezentující jednotlivé městské části. Model bylo potřeba kalibrovat proto, aby simulací v něm dosažených bylo možno považovat za reálné hodnoty.

Jižní a jihovýchodní část města Kunming se potýká s kolísáním tlaku. V noci je tlak v síti velmi vysoký, avšak při špičkovém odběru dojde k velkému poklesu hydrodynamického tlaku a vodovodní síť není schopna zcela uspokojit nároky odběratelů. Spotřebiště je zásobováno přímo z úpraven vody z jejich akumulčních komor. Tato akumulace však není dostatečná, proto jsou posuzovány dvě varianty umístění nově budovaného vodojemu, který má zajistit zlepšení tlakových poměrů. V úvahu také byly brány ekonomické náklady na čerpání vody do vodojemu a náklady na výrobu pitné vody. Jedná se o multikriteriální optimalizaci, kde jsou parametry tlak vody v síti a energetická náročnost navrženého řešení. Pomocí matematického modelu vodovodní sítě byly simulovány jednotlivé varianty navržených opatření. Následně byly vyhodnoceny opatření dle stanovených kritérií a jedno bylo zvoleno jako optimální řešení.

Zajímavostí z hlediska tlakových poměrů je, že hodnota minimálního tlaku zabezpečujícího uspokojení požadavků všech odběratelů je 30 m v. sl. (Xu,2012)

Příklad 2 – Itálie – Optimalizace spotřeby energie za pomoci řízení tlaku a čerpadel a osazení reverzibilních turbín

Jedná se o návrh nové metodiky pro optimalizaci (snížení) spotřeby energie za dodržení určitých podmínek, kterými jsou hydraulická proveditelnost a minimální dovolené tlaky v síti. Cílem spojeným se spotřebou energie je snížení provozních nákladů. Tato metodika je příkladnou multikriteriální optimalizací v oblasti zásobování pitnou vodou. Navržená metodika byla aplikována na reálný vodovodní systém několika měst poblíž města Neapol.

Aplikuje se v ní novátorský přístup, kdy je snaha přebytečné tlaky v síti využívat k přeměně na elektrickou energii a značně tak snižovat provozní náklady. Současně s tímto bere v úvahu součinnost čerpadel umístěných v síti, kdy je snaha o co nejnižší možné náklady na provoz čerpadel. Případová studie také porovnává výsledky mezi deterministickým a stochastickým (je pro něj použito normální rozdělení – uzlové odběry) přístupem při stanovování uzlových odběrů, která ovlivňují čerpané množství respektive množství, které proteče reverzibilními turbínami.

Jelikož jde o multikriteriální optimalizační úlohu, hledají se extrémy několika parametrů současně. V této metodice jsou navrženy tři účelové funkce, u nichž se však nehledá stejný extrém. První funkce je součet nákladů na provoz všech čerpadel dotčených optimalizační úlohou za dané časové období. Druhá funkce je součet rozdílů mezi aktuálním a minimálním dovoleným tlakem ve všech časových krocích pro všechny uzly. Tyto dvě funkce je snaha minimalizovat. Naopak je snaha maximalizovat příjem z reverzibilních turbín, které mohou být osazeny někde v síti a zejména místo tlakově redukčních ventilů. Jako metoda pro řešení této multikriteriální optimalizace je navrženo evolučních algoritmů.

Výsledky případové studie ukazují jednoznačný ekonomický přínos instalace reverzibilních turbín v kooperaci s provozem jednotlivých čerpadel. Bylo prokázáno, že příjmy z reverzibilních turbín jsou téměř stejné jako náklady na čerpání. Toto použití dovoluje značné snížení provozních nákladů pro tuto případovou studii. Z výsledků také vyplývá, že vyšší provozní náklady na čerpání jsou při použití stochastického přístupu, kdy je potřeba držet vyšší tlak v systému a hladiny ve vodojemech na vyšší úrovni. Vedlejší efekt tohoto je zvýšení příjmů z reverzibilních turbín.

Zajímavostí z hlediska tlakových poměrů je, že zvolená hodnota minimálního tlaku, kterému se snaží metodika přiblížit, ve všech uzlech je 10 m v. sl. (Tricarico, 2014)

3 SOFTWAREVÉ NÁSTROJE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ

V této kapitole jsou uvedeny softwarové nástroje pro stavbu matematických modelů vodovodních sítí a pro provedení následné hydraulické analýzy. Je zde uveden jenom stručný výčet a popis jednotlivých softwarových nástrojů s výjimkou EPANETu 2.0, ten je popsán podrobněji.

3.1 MIKENET

Tento softwarový prostředek v sobě obsahuje výpočetní jádro EPANET, tak jako většina softwarů. Je to proto, že toto výpočetní jádro je volně využitelné pro komerční účely. Díky výpočetnímu jádru je možno provádět statickou a kvazi-dynamickou analýzu celého či jenom části systému, modelovat kvalitu vody, respektive některých jejich parametrů. Dále je možno provádět trasování částic. Podporuje jednotky SI a také jednotky anglosaské. Podporuje propojení se softwary AutoCAD a Microstation. Program dokáže naimportovat topologii sítě z formátu .dxf a zpětně ji dokáže vyexportovat do formátu .dxf pro další práci v AutoCADu nebo Microstation. Celá síť je samozřejmě po importu topologie editovatelná v grafickém rozhraní programu. Obsahuje oproti EPANETu několik užitečných funkcí jako například kontrola celistvosti sítě či možnost ohodnocení úseku součiniteli C1 a C2. Model sítě může být postaven z neomezeného počtu prvků. (Ingeduld, 2003)

3.2 MIKE URBAN

Tento program je zcela komplexní nástroj pro matematické modelování. Lze jej použít pro matematické modelování vodovodní sítě, splaškové kanalizace, dešťové kanalizace a jednotných systémů. Pro výpočet je používáno výpočetní jádro EPANET respektive SWMM. V modelování vodovodní sítě lze použít pro stacionární, kvazidynamický a dynamický model. Je to software od firmy DHI, který umožňuje propojení s GIS servery a se samotným softwarem GIS. Matematický model vodovodní sítě se dá vytvářet dvěma cestami. První z nich je import sítě z několika možných formátů (.shp, .dxf, .inp,...) a druhou cestou je vytvoření sítě přímo v uživatelském rozhraní MIKE URBAN. Software obsahuje velice užitečný nástroj „Project check tool“, který se používá před spuštěním výpočtu. Vytvoří seznam problémových prvků sítě, u kterých chybí některé parametry pro výpočet. Výsledky

se vytvoří jako vrstva a poté je z ní možno exportovat výsledky do několika různých formátů (.shp, .txt,...). S výsledky se poté dá pracovat v tabulkových procesorech a je možno je vyhodnocovat, filtrovat dle zvolených atributů atd. Následně je možno tvořit mapové výstupy v programu ArcGIS, který je propojen na databázi matematického modelu vodovodní sítě vytvořeného v MIKE URBAN. Grafický dojem z výstupu pozvedá zejména propojení na WMS servery, se kterým je možné dosáhnout grafického výstupu na vysoké úrovni. (DHI, 2008)

3.3 KYPIPE, PIPE 2014

Tento program je podle výrobce vyvíjen přes 40 let. Program vznikl na univerzitě v Kentucky v USA. Dokáže provádět analýzu ustáleného stavu, kvazi-dynamickou analýzu ale také dynamickou analýzu vodovodních sítí. Umí pracovat i s jinými médii než je voda. Má v sobě jádro pro výpočet jednodimenzionálního izotermického ustáleného proudění pro dokonalý i nedokonalý plyn různé hustoty. Obsahuje také jádro pro výpočet parovodů. Dalším jádrem, které obsahuje, je jádro pro hydraulickou analýzu kanalizačních sítí. Jak je vidět, je to komplexní software s mnoha funkcemi. (KYPIPE, 2014)

3.4 SITEFLOW

Tento komplexní software český software obsahuje výpočetní jádro EPANET 2.0 a je schopen řešit stacionární a pomalu proměnné ustálené proudění. Má v sobě vestavěný digitální model terénu, díky kterému je možno automaticky generovat výškopis při známe topologii sítě. Má vestavěnou také službu WMS, která umožňuje v grafickém rozhraní programu užívat jako podklad pod vodovodní síť mapy z veřejných mapových portálů. Výrobce uvádí, že je díky jeho softwaru možno provádět i činnosti jako identifikace úniků nebo černých odběrů či nalezení příčin nadměrných tlakových ztrát a navržení vhodného opatření. (www.aquion.cz)

3.5 EPANET 2.0

Jedná se o celosvětově nejrozšířenější program pro hydraulickou analýzu trubních sítí. Tvůrcem tohoto programu je Agentura pro ochranu životního prostředí Spojených států amerických (EPA). Jako konkrétní tvůrce tohoto softwaru je uváděn Ing.Lewis Rossman, Ph.D. Svého celosvětového rozšíření se program dočkal díky volné stažitelnosti a možnosti

dalšího bezplatného komerčního využití. Velmi mnoho komerčních programů pro hydraulickou analýzu využívá toto výpočetní jádro EPANETu. Hlavními možnostmi programu jsou stacionární a kvazi-dynamická analýza, modelování jakosti vody a trasování částic. Program je sice zdarma, ovšem zřejmě proto má některé značné nedostatky. První a zásadní problém je, že EPANET nedokáže naimportovat topologii sítě ze souborů formátu .dxf. Dalším problémem je, že nelze úsekům přiřadit součinitele C1 nebo C2 a tak je potřeba rozdělit nátok do sítě do uzlů ručně, což je pro velké sítě nesmírně zdlouhavé. Taktéž není EPANET 2.0 vybaven WMS službou a není tak možné podložit vodovodní síť veřejně dostupnými mapovými podklady. (Rossman, 2000)

3.5.1 VÝPOČETNÍ METODA

Po definování geometrie, zadání vstupních parametrů, okrajových a počátečních podmínek a definování odběrů přijde okamžik, kdy je potřeba vyřešit sestavenou soustavu rovnic. Toto je moment, kdy se dostává ke slovu numerická metoda pro řešení soustavy rovnic. EPANET 2.0 pro tyto účely používá gradientní metodu.

Gradientní metoda

Slovo gradient znamená změnu fyzikální veličiny připadající na jednotku délky, což potvrzuje princip gradientní metody. Tato metoda se vydává ve svém pátrání (výpočtu) tím směrem, kde je nejvyšší přírůstek (spád) účelové funkce. Obecně při použití gradientní metody je potřeba správná definice celé oblasti výpočtu, určení účelové funkce a neméně důležité je zvolit správný startovací bod výpočtu (násadu). Jelikož toto stanovení je leckdy obtížné a není snadné se z prvního startovacího bodu dostat v účelové funkci do absolutního maxima, je nutné provést určitý počet restartů z jiných startovních bodů. Metoda se řadí do skupiny iteračních metod.

Výhodami této metody jsou jednoduchost a rychlost. Nevýhodou je, že dokáže velmi snadno uvíznout v lokálním extrému. Toto lze ovlivnit startovacím bodem a počtem restartů, avšak nelze vždy dopředu říci kolik je nutných restartů k tomu, aby bylo se stoprocentní jistotou dosaženo absolutního maxima/minima.

V EPANETu hledá gradientní metoda iteračním postupem řešení soustavy rovnic, které jsou sestaveny z hydraulické a uzlové podmínky. Počítají se tlaky v uzlech a průtoky v úsecích.

Máme tlakovou trubní síť s N uzly a s NF uzly s pevně daným tlakem (okrajová podmínka – stacionární model – vodojemy, nádrže, tlakové regulační ventily atd.). Pro sestavení rovnic pro hydraulickou podmínku pro každý uzel je potřeba matematicky vyjádřit tlakovou ztrátu mezi dvěma uzly. Tato tlaková ztráta h mezi dvěma uzly sítě i a j se dá vyjádřit následovně (Rossman, 2000):

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (2.33)$$

kde H ... je tlaková výška v uzlu [m]

Q_i ... je průtočné množství [$m^3 \cdot s^{-1}$]

r ... je koeficient hydraulického odporu [-]

m ... je koeficient místních ztrát [-]

Hodnota odporového součinitele r se může diametrálně lišit podle toho, jakého vztahu bude využito k výpočtu ztrát mechanické energie třením po délce. (v EPANETu Darcy-Weissbach, Hazen-Williams nebo Chézy-Manning)

Druhou podmínkou, která musí být splněna je uzlová podmínka. Díky této podmínce se získá druhá sada rovnic. Její matematický zápis pro potřeby gradientní metody vypadá takto (Rossman, 2000):

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{pro } i = 1, \dots, N. \quad (2.34)$$

kde D_i ... požadovaný odběr v uzlu [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Q_{ij} ... je přítok do uzlu [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Principem výpočtu je najít z okrajových podmínek, což jsou NF uzly, ve kterých jsou známé tlakové výšky, najít řešení v podobě tlakových výšek H_i v N uzlech a průtoků Q_{ij} tak, aby splňovaly podmínky (2.34) a (2.33).

Na počátku je potřeba zvolit nějaké počáteční řešení, tento počáteční odhad nemusí splňovat uzlovou podmínku. V každém kroku se vyřešením níže uvedené maticové rovnice získávají nové tlakové výšky H v uzlech N (Rossman, 2000):

$$AH = F \quad (2.35)$$

kde A ... je Jakobiho matice ($N \times N$)

H ... je vektor ($N \times 1$)

$F \dots$ je vektor ($N \times 1$) členů pravých stran

Diagonální prvky Jakobiho matice jsou (Rossman, 2000):

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \quad (2.36)$$

kde $A_{ij} \dots$ je prvek Jakobiho matice ($N \times N$)

$p_{ij} \dots$ je inverzní derivace tlakové ztráty v úseku mezi uzly i a j s uvážením směru proudění

Nenulové mimo-diagonální prvky Jakobiho matice se stanoví jako (Rossman, 2000):

$$A_{ii} = -p_{ij} \quad (2.37)$$

Inverzní derivace tlakové ztráty se pro úsek se stanoví vztahem:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|} \quad (2.38)$$

Členy pravých stran F se stanoví z nevyváženosti průtoků v uzlu a z opravných průtokových faktorů následovně (Rossman, 2000):

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f \quad (2.39)$$

kde $y_{ij} \dots$ opravný průtokový faktor

Poslední člen rovnice (2.39) se používá v těch úsecích, pro něž platí, že jeden z uzlů úseku je uzel NF, který má pevně stanovenou tlakovou výšku. Opravný průtokový faktor y_{ij} lze vypočítat takto (Rossman, 2000):

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij}) \quad (2.40)$$

kde $\text{sgn}(x) \dots$ je znaménková funkce pro $x > 0$ platí $\text{sgn}(x) = 1$

$\text{sgn}(x) \dots$ je znaménková funkce pro $x < 0$ platí $\text{sgn}(x) = -1$

Vyřešením maticového vztahu (2.35) jsou vypočteny nové tlakové výšky ve všech N uzlech. Z těchto tlakových výšek jsou dopočteny velikosti průtoků v jednotlivých úsecích (Rossman, 2000):

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j)) \quad (2.41)$$

Na konci výpočtu se posoudí konvergenční kritérium a pokud je splněno výpočet končí. Pokud toto kritérium není splněno, výpočet se opakuje tak dlouho, dokud se nedosáhne požadovaného konvergenčního kritéria.

3.5.2 ŘÍZENÍ MODELU

Jsou dva základní přístupy, jak může být matematický model řízen a to model řízený odběrem a model řízený tlakem.

Model řízený odběrem

V zahraniční literatuře je uváděn pod pojmem Demand Driven Model (dále jen „DDM“). V modelu řízeném odběrem se pracuje s předpokladem, že se odběr z výpočtového uzlu realizuje v celém jeho nadefinovaném rozsahu. Nehledě na to, jaký tlak je v daném výpočtovém uzlu. Může tak jednoduše nastat situace, že po nalezení řešení pro nějakou síť, budou ve výpočtových uzlech záporné tlaky. K takovéto situaci v reálném systému nemůže dojít. Model řízený odběrem tedy nepracuje s žádnou změnou odběru při změně (zejména snížení) tlaku. Avšak i při zanedbání této skutečnosti je toto řízení poměrně přesné při dostatečných tlacích v síti. (Rossman, 2000)

Model řízený tlakem

V zahraniční literatuře je uváděn pod pojmem Pressure Driven Model (dále jen „PDM“). Použití tohoto řízení je vhodné, pokud se v síti vyskytují nízké provozní tlaky, odebírané množství se potom blíží více reálným hodnotám. Nejprve je při tomto řízení modelu definovat tlak, při kterém se začne snižovat odebírané množství. Respektive to je nejnižší možná hodnota tlaku, při které bude realizován odběr v plné výši. Dále je potřeba definovat exponent, dle kterého se řídí parabolická závislost snižování odběrů na tlaku. Tento exponent nabývá hodnot od 0 do 1. Přičemž bude-li mít hodnotu 0, znamená to, že poklesne-li hodnota tlaku pod stanovenou mez, nebude se realizovat žádný odběr. Naopak pokud exponent nabude hodnoty 1, odběr se bude realizovat stejně jako v modelu řízeném odběrem. (Rossman, 2000)

3.5.3 HYDRAULICKÁ ANALÝZA

Hydraulická analýza je jediným možným ekonomicky únosným nástrojem, kterým lze získat informace o chování celé sítě i jejích jednotlivých částech. Použití matematického modelu pro získání informací o celé síti lze částečně nahradit osazením tlakových čidel a průtokoměrů na vybraných důležitých místech sítě a následný přenos dat do velína k jejich zpracování. Tato varianta je ekonomicky náročná, je potřeba nasadit najednou velké množství měřicí techniky, avšak ani po nasazení velkého množství techniky by nebylo možné nahradit činnost modelu. Další výhodou modelu je, že lze ověřit proveditelnost potencionálního rozvoje sítě či zda bude síť schopna zvládnout připojení velkého odběratele. Nicméně k dosažení věrohodného modelu je potřeba tak jako tak měření na síti provést. To kvůli tomu, aby bylo možné provést kalibraci a verifikaci modelu.

Kalibrace

Hydraulická analýza může být v dnešní době moderních technologií kompletně provedena bez jakéhokoliv kontaktu s modelovaným vodovodním systémem. Může se dokonce dojít i k výsledkům bez bližší studie modelovaného systému. Ovšem takový přístup nezaručuje správnost dosažených výsledků. Proto je potřeba propojit matematický model se skutečným systémem. K tomuto účelu slouží kalibrace. Kalibrace je úprava parametrů hydraulického modelu tak, že výsledky simulace pro různé stavy v síti odpovídají skutečným naměřeným hodnotám hydraulických veličin (průtok a tlak). Při kalibraci matematických modelů vodovodních sítí se rozlišují dvě úrovně kalibrace modelu. Rozdíl je následující:

- **Plošná kalibrace** – proces probíhá pro běžné denní stavy ve vodovodní síti, pro které jsou definovány charakteristické odběry ze sítě v jednotlivých časových obdobích během dne. Ani další průtoky přesahující statisticky vyhodnocené průtoky ani změny v topologii sítě nejsou simulovány v modelu. Typicky je najednou kalibrován model pro jedno tlakové pásmo. Během plošné kalibrace se nalézají hlavně zásadní chyby jako například nesprávné výškové umístění vodojemu nebo nějaká významná chyba v topologii sítě jako například chybějící potrubí, uzavřením nějaké části potrubí nebo špatná hranice tlakového pásma atd.
- **Detailní kalibrace** – je podobný proces, který se zaměřuje v detailu na menší vybrané části sítě. Typicky se kalibrují najednou úseky o délce 500 až 1000 m. Měřicí

aparaturou se měří volný výtok z nižšího konce kalibrovaného úseku. Toto vyvolá rychlost vysoce překračující běžné rychlosti v potrubí. Měří se průtok a hydrodynamický tlak. Získané data se použijí pro kalibraci parametrů daných úseků.

Podstatou kalibrace matematického modelu vodovodní sítě je nastavení hydraulických parametrů individuálních objektů za účelem získání stejných hodnot (měřených a vypočtených) hydraulického tlaku v určitých bodech. Je důležité zachovat stejné počáteční a okrajové podmínky výpočtu. To znamená, že například hladina ve vodojemu musí být stejná pro matematický model a skutečnou vodovodní síť. (Kovář, 2014)

Verifikace

Jestliže kalibrace slouží ke správnému nastavení parametrů modelu, potom je verifikace procesem ověření správného seřízení modelu a kontroly shody mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami. Verifikace se liší od kalibrace hlavně v tom, že používá jinou sadu naměřených dat než ty, které byly použity ke kalibraci. Dále by při kalibraci již nemělo docházet ke kalibračním zásahům, pokud ano je potřeba poté znova provést verifikaci a to znova z další sady dat, která ještě nebyla použita.

Hydraulická analýza v sobě skrývá několik fází, než se dojde k vypočteným hledaným hodnotám. Nejdříve je nutno sestavit topologii modelu. Model pro hydraulickou analýzu se skládá z úseků a uzlů. Objekty a armatury, které se na reálné síti vyskytují, se v modelu nahrazují buď uzly (například vodojem) nebo úseky (například čerpadlo).

Po sestavení topologie se pokračuje přiřazením nadmořských výšek a definici odběrů v jednotlivých výpočtových uzlech. Úsekům sítě je potřeba přiřadit fyzikální parametry a to délku úseku, dimenzi a drsnost potrubí. Součinitel drsnosti je potřeba správně vybrat podle rovnice pro výpočet ztrát, která je v EPANETu zvolena. Například pro rovnici dle Darcy-Weisbacha platí, že čím nižší drsnost potrubí tím jsou ztráty menší. Naopak pro vztah dle Hazen-Williamse platí, že čím je hodnota koeficientu menší, tím jsou ztráty větší. Hodnota tohoto koeficientu však může růst maximálně do 150. Stejně tak je potřeba správně definovat odběr vody, jelikož EPANET umí pracovat například s litry za sekundu, ale také pracuje s galony za sekundu. Dojde-li k přenastavení například z litrů za sekundy na galony za sekundu, nastane velký problém, protože EPANET již definované hodnoty (zadané při litrech za sekundu) nepřevede na nově používané jednotky. Je tedy potřeba již dopředu jednoznačně

rozhodnout, v jakých jednotkách bude probíhat celá hydraulická analýza a v jakých jednotkách má být výstup z hydraulické analýzy.

Reálným objektům z vodovodní sítě, které jsou v modelu nahrazeny uzly, se přiřadí skutečná geometrie. Například ve vodojemu se nastavuje minimální hladina, maximální hladina, počáteční hladina a také plocha hladiny. Plochu hladiny uvažuje EPANET jako kruhovou, proto se definuje poloměr plochy vodní hladiny. Kombinací plochy a maximální hladiny je možné nahradit běžný krabicový vodojem. Tvar plochy vodní hladiny nehraje roli, důležitý je objem akumulované vody a ten se vypočte jako plocha hladiny vynásobená výškou hladiny. Problém by ovšem mohl nastat při nahrazení vodojemu, který má kónický tvar. Takovýto kónický popř. kulový tvar stěn může mít například věžový vodojem, které jsou běžné v rovinatých oblastech. Dalším problémem v zadávání parametrů modelu je ukryt při zadávání charakteristiky čerpadla. EPANET uvažuje napojení výtlačného potrubí ve vodojemu do dna s tím, že je vtok zatopený a tím se pracovní bod čerpadla stává proměnným a ovlivněným výškou hladiny ve vodojemu. Ve skutečnosti však převládá varianta, kdy výtlačné potrubí ústí nad maximální hladinou, aby bylo zajištěno lepší promísení vody v akumulární nádrži ve vodojemu.

V tomto kroku je možno provést hydraulickou analýzu pro stacionární stav. Výsledkem této analýzy jsou hodnoty hydrodynamického přetlaku ve výpočtových uzlech a také průtočné množství jednotlivými úseky a z nich dopočtená rychlost v potrubí. Pokud je však předmětem hydraulické analýzy kvazi-dynamická analýza, je potřeba definovat do míst sítě, kde se buď voda ze sítě odebírá, nebo se voda do sítě dodává, časovou závislost odběrů a nátoků do sítě.

3.5.4 NADSTAVBY PRO EPANET 2.0

Program EPANET 2.0 bohužel není program, který by svou výbavou umožňoval provést jednoduše celý proces hydraulické analýzy od počátku až do úspěšného konce, na kterém jsou vypočtené hodnoty hydrodynamických tlaků a průtočného množství v jednotlivých uzlech a úsecích. Na druhou stranu je EPANET 2.0 software s otevřeným zdrojovým kódem, takže mohou odborníci z celého světa vytvářet různé aplikace kompatibilní s EPANETem. Tyto aplikace zacelují mezery v nabídce nástrojů EPANETu. V této podkapitole jsou uvedeny některé užitečné nastavby pro EPANET 2.0.

epaCAD

Účelem této aplikace, která byla vytvořena španělskými vědci, je import topologie sítě do EPANETu při zachování souřadného systému. Tato topologie neboli kostra sítě je vytvořena například v AutoCADU a má formát .dxf. Postup pro import této kostry do EPANETu je následující. V AutoCADu se nejprve všechno, co má být převedeno, sjednotí do jedné hladiny. Následně se připraví výpočtové úseky respektive tak, že každý úsek tvoří jednu entitu. Po rozdělení na úseky je možno topologii sítě uložit do formátu .dxf a následně ji importovat do EPANETu. Jelikož epaCAD zachová souřadnice uzlů například v souřadném systému S-JSTK, zachovají se tak i skutečné délky potrubí. (www.water-simulation.com/wsp/2010/08/25/epacad/)

EPANET-Emitter

Tuto aplikaci vytvořil Assela Pathirana Ph.D., MSC působícím na univerzitě v holandském Delftu. Umožňuje aplikovat přístup modelu řízeného tlakem. Jak je uvedeno dříve, tato metoda řízení je vhodná při nízkých provozních tlacích. Díky této nástavbě je možné si nastavit tlak (zde nazvaný jako „cutoff pressrue for emitter action“), při kterém začne docházet ke snižování nadefinovaného odběru. K tomu se nastavuje ještě jeden parametr a to exponent pro parabolickou závislost realizovaného odběru na poklesu tlaku pod nastavenou hodnotu. (zde nazvaný jako „emitter exponent“). Systém je zcela kompatibilní s EPANETem 2.0 a nijak nemění jeho funkci. Je si totiž i po instalaci EPANET-Emitteru vybrat jakým způsobem bude model řízen. Stačí nastavit hodnotu tlaku pro spuštění emitteru na 0. (www.assela.pathirana.net/index.php?title=EPANET-Emitter)

EPANET-Z

Tato aplikace byla vytvořena v USA. Zaměřuje se na nedostatek EPANETu v tom, že neumí pracovat s pokladními mapami. Nemá propojení na WMS, čili na službu veřejného mapového poratálu. Podkladní mapy do EPANETu lze pod síť s velkými obtížemi podložit, avšak jenom jako obrázek, nikoliv jako skutečné datové propojení. K tomu slouží tato aplikace, která pracuje s online propojením na mapové servery Yahoo Maps a Google Maps. Je možno si zvolit průhlednost mapy a vybrat si mezi mapou základní a ortofoto mapou. Všechny původní funkce EPANETu přitom zůstávají zachované. (<http://www.zonums.com/epanetz.html>)

FireFlow

Tento doplňkový software k EPANETu je zdarma stažitelný pro komerční využití. Je založen na platformě EPANETu. Jeho funkcí je vypočítat možný průtok v uzlech vodovodních sítě (ve kterých je definován požární odběr) zatímco je udržován minimální tlak v ostatních uzlech, kde probíhá odběr vody ze systému. Tento program pracuje s výpočtem pro ustálený stav, ale také může pracovat jako kvazidynamický model. Použitím kvazidynamického modelu lze zjistit, jak dlouho může být specifikovaný odběr dopravován. Nebo jaký je maximální průtok, který je možno odebírat pro daný časový interval. (Salomons, 2015)

4 POSOUZENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VODVODNÍ SÍTĚ OBCE STŘELNÁ

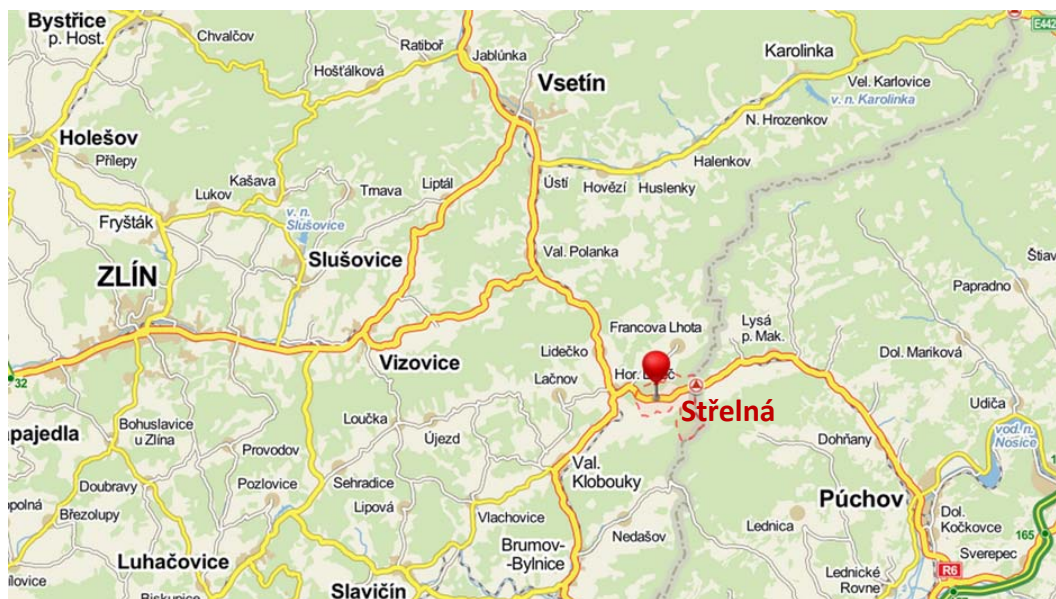
Tato kapitola se věnuje zprvu popisu zájmového území a jeho vodovodního systému. Zájmovým územím je obec Střelná. Následně je věnována pozornost hydraulické analýze vodovodního systému zájmové obce a následnému vyhodnocení výsledků analýzy s legislativou a požadavky pro provoz vodovodní sítě. Je zde také posouzení výhledového stavu a požadavků na požární vodu.

4.1 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Zájmovým územím je intravilán obce Střelná, která se nachází na česko-slovenském pomezí na Východní Moravě. V rámci územně správních celků patří obec do Zlínského kraje a okresu Vsetín. V obci je evidováno 618 obyvatel. Plocha zastavěného území obce je 13 ha. Polohu obce Střelná v rámci celé České republiky a polohu v rámci kraje přibližují následující dvě mapy:



Obr. 4.1 Poloha zájmové obce v rámci České republiky



Obr. 4.2 Situace širších vztahů – obec Střelná, okr. Vsetín

Střelná je hraniční obcí, v jejím katastru se nachází hraniční přechod se Slovenskem Střelná/Lysá pod Makytou. Obec se rozléhá v nepříliš hlubokém táhlém údolí, které je zakončené Lyským průsmykem. Údolí je orientované západo-východním směrem.

Recipientem povrchových vod je vodní tok Střelinka, který protéká intravilánem obce. V katastru obce se také nachází důležité rozvodí mezi povodím Moravy a povodím Váhu.

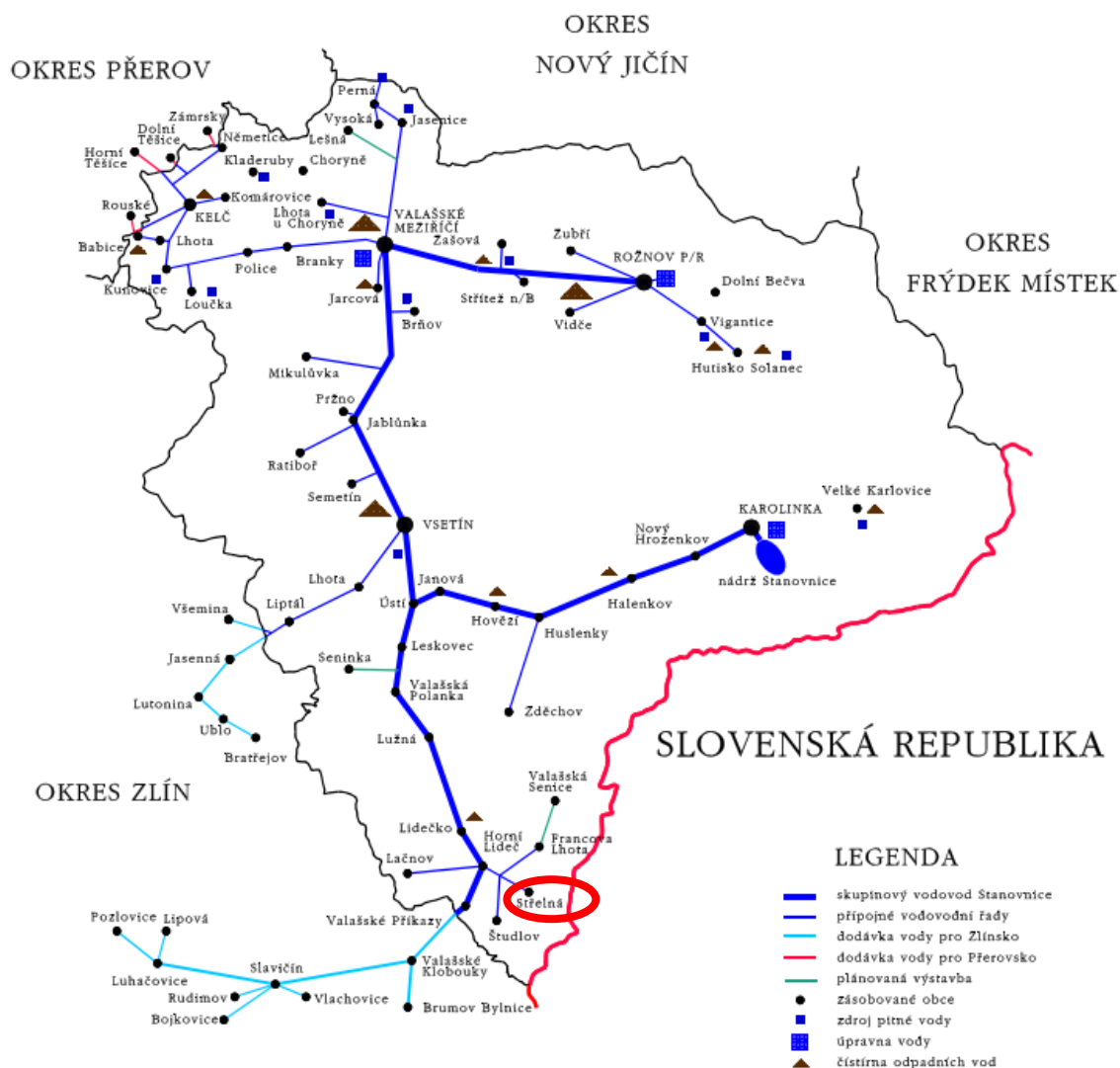
Obcí prochází mezinárodně významná silnice I. třídy I/49, která tvoří důležité dopravní spojení pro kamionovou a osobní dopravu, a také železniční trať č. 280 Hranice na Moravě – Púchov pro osobní a nákladní dopravu.

4.1.1 CHARAKTERISTIKA SPOTŘEBIŠTĚ

Charakter zástavby zájmového území je typicky venkovský. Většina nemovitostí připojených na veřejný vodovod jsou rodinné domy, které jsou nejvýše dvoupodlažní. V obci jsou dále tři bytové domy - třípodlažní, mateřská škola (kapacita 25 dětí), základní škola (cca 35 dětí), budova obecního úřadu, hostinec a prodejna potravin. V obci je několik drobných provozoven – pekárna, výrobní hala, stolárna a zemědělské družstvo. Žádný z uvedených provozů však nepatří mezi významné odběratele pitné vody z veřejného vodovodu.

4.1.2 SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

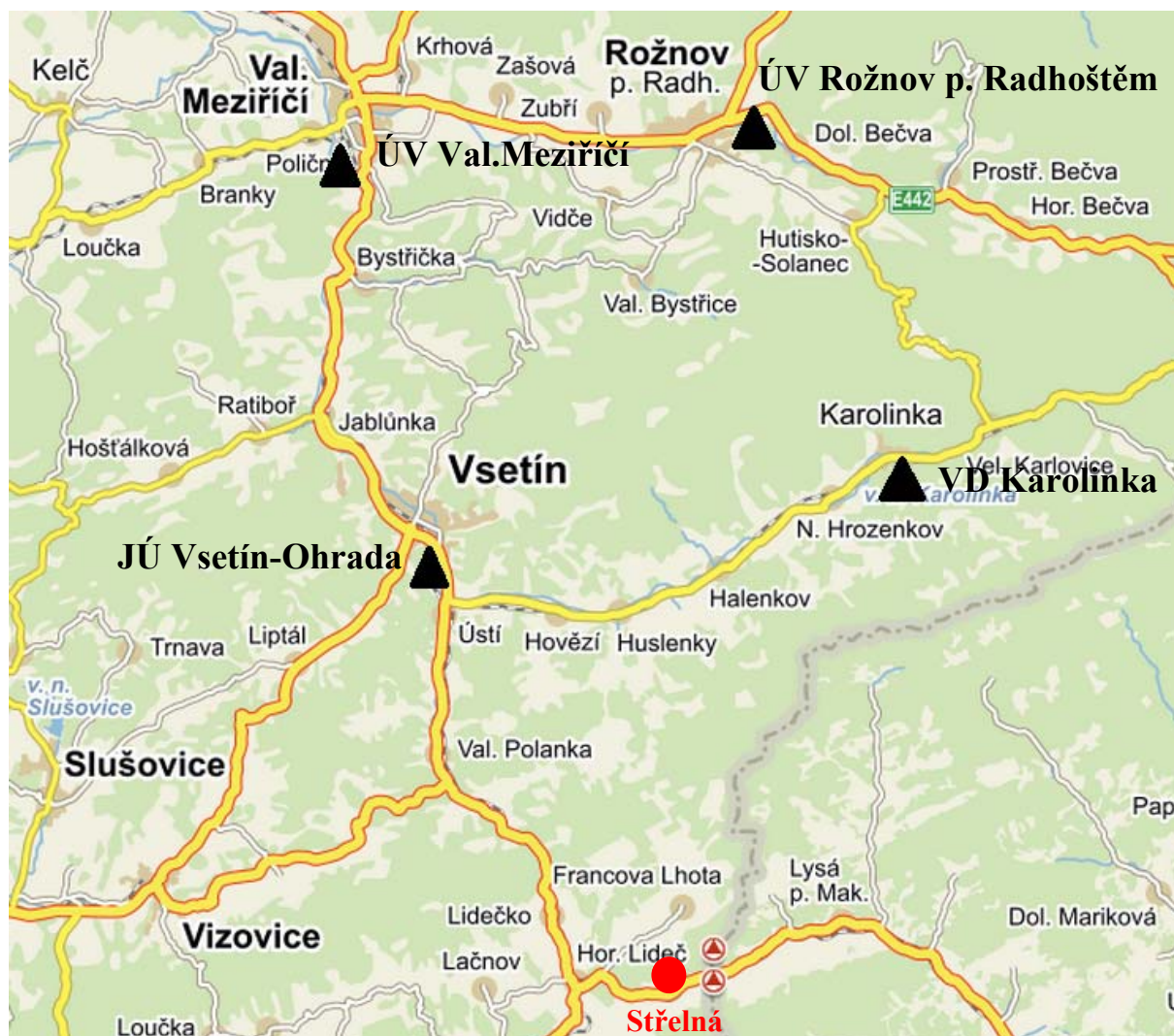
Vodovodní síť v obci Střelná byla vybudována v letech 1996-1998 z PVC hrdlových trub průměrů 80, 100 a 150 mm. Průměrné stáří sítě je 17 let (2014). Vodovod obce Střelná je napojen na vodárenskou soustavu Luhačovice – Stanovnice – Syrákov – Vlára – Bojkovice. Konkrétně na skupinový vodovod Stanovnice (dále jen „SV Stanovnice“). Lepší představu o topologii tohoto systému lze získat z následujícího obrázku, kde je však vyobrazena pouze severní část celé soustavy. (PRVKÚK, 2007)



Obr. 4.3 Schéma části vodárenské soustavy Luhačovice – Stanovnice – Syrákov – Vlára – Bojkovice (<http://www.vakvs.cz>)

Zdroje v této části vodárenské soustavy jsou čtyři. Hlavním a největším zdrojem této soustavy je VD Karolinka s úpravnou vody, jejíž projektovaná kapacita je 250 l.s^{-1} s možností

krátkodobého navýšení výkonu na 300 l.s^{-1} . Dalšími vodními zdroji jsou řeka Bečva (ÚV Valašské Meziříčí – 90 l.s^{-1}), jímací území Vsetín-Ohrada (kapacita 45 l.s^{-1}) a jímací území Rožnov pod Radhoštěm (ÚV Rožnov – 45 l.s^{-1}). Rozložení zdrojů vody v severní části vodárenské soustavy je na následující mapě. (PRVKÚK, 2007)



Obr. 4.4 Vodárenské zdroje v okrese Vsetín

Priváděcí řad, který odbočuje z dálkového priváděcího řadu SV Stanovnice do vodojemu Stráž, je dlouhý necelý 1 km.

V celém spotřebišti je vybudováno pouze jedno tlakové pásmo, které je zásobováno z vodojemu Horní Lideč – Stráž $2 \times 150 \text{ m}^3$, jehož horní provozní hladina je na kótě 549,90 m n. m. Z vodojemu ke spotřebišti je voda priváděna priváděcím řadem PVC DN 150 v délce 990 m. Priváděcí řad je ukončen v měřicí armaturní šachtě, kde se potrubí rozděluje na dva samostatné řady – ŘAD A – PVC DN100 pro obec Střelnou a ŘAD F – PVC DN150

pro Francovu Lhotu, viz Obr. 4.5. V této šachtě jsou osazeny vodoměry, které kontinuálně zaznamenávají objem vody přitékající do každého z obou spotřebišť. Odečty vodoměrů jsou automatizovány a data se přenášejí do dispečinku VaK Vsetín, který obecní vodovod provozuje. Oba řady s vodoměry jsou opatřeny bypassem pro případnou montáž / demontáž vodoměru bez nutnosti odstávky vody do spotřebišť. Na odtoku z měřicí armaturní šachty do spotřebišť je na každém z obou řadů osazeno šoupe s elektropohonem s možností dálkového uzavření z dispečinku.



Obr. 4.5 Střelná - měřicí armaturní šachta na přítoku do obce – měření průtoků, uzávěry

Z měřicí armaturní šachty dále do obce Střelná vede ŘAD A – PVC DN100 a prochází celou obcí jako hlavní řad až k bývalému areálu celnice, ten je však v současnosti využíván jen minimálně. Na hlavním řadu jsou dva hydraulické okruhy. Všechna odbočení řadů jsou opatřena uzávěry. Na vodovodní síti jsou rozmístěny podzemní požární hydranty. Celá vodovodní síť v délce 6,7 km je zhotovena z hrdlových trub PVC. Jiné materiály se v síti nevyskytují. Topologie sítě je patrná z Obr. 4.6.



Obr. 4.6 Obec Střelná – přehledné schéma vodovodní sítě

Délky jednotlivých dimenzí potrubí vyobrazuje následující tabulka, jiné dimenze ani materiály se v síti nevyskytují. Rozložení jednotlivých dimenzí v síti je patrné z přílohy č.1.

Tab. 4.1 Délka jednotlivých DN a materiálu [m]

DN / materiál	80	100	150	Celkem [m]
PVC	2 994,1	2 724,7	992,2	6 711,0

4.1.3 PROVOZOVATEL VODOVODNÍ SÍTĚ

Provozovatelem vodovodní sítě v obci Střelná je firma Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s., se sídlem Vsetín, Jasná 1106, PSČ 755 11. Vlastníkem této společnosti jsou města, obce a Sdružení obcí mikroregionu Vsetínsko (SOMV). Celá vodárenská infrastruktura a provozování vodovodů je plně pod kontrolou veřejného sektoru.

4.1.4 ANALÝZA SPOTŘEBY VODY

V rámci analýzy spotřeby vody ve spotřebišti byly statisticky zpracovány průměrné hodinové průtoky zaznamenané v šachtě Střelná, kde je osazen vodoměr pro celou obec s automatickým odečtem a přenosem na dispečink VaK Vsetín, a.s. Zpracovány byly průtoky za období 28.10.2013 až 13.1.2014, tj. 78 dní. Z toho 50 dní pracovních a 28 dní pracovního klidu. Podrobné výsledky uvádějí následující tabulku.

Tab. 4.2 Podrobné výsledky analýzy spotřeby vody v obci Střelná

Střelná				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	0.42	0.41	0.42
Q_d	[l/s] [m ³ /d]	0.47	0.50	0.50
Q_h	[l/s]	0.90	0.83	0.90
Q_{min}	[l/s]			0.04
k_h	[-]			1.80
k_d	[-]			1.19

Ze statistického zpracování dat byly určeny koeficienty denní a hodinové nerovnoměrnosti. Stanovení se provádí podle následujících vzorců (Tuhovčák,2006):

$$k_d = Q_d / Q_p \quad (4.1)$$

$$k_h = Q_h / Q_d \quad (4.2)$$

kde k_d ... koeficient denní nerovnoměrnosti

k_h ... koeficient hodinové nerovnoměrnosti

Q_p ...průměrný denní průtok [$l.s^{-1}$]

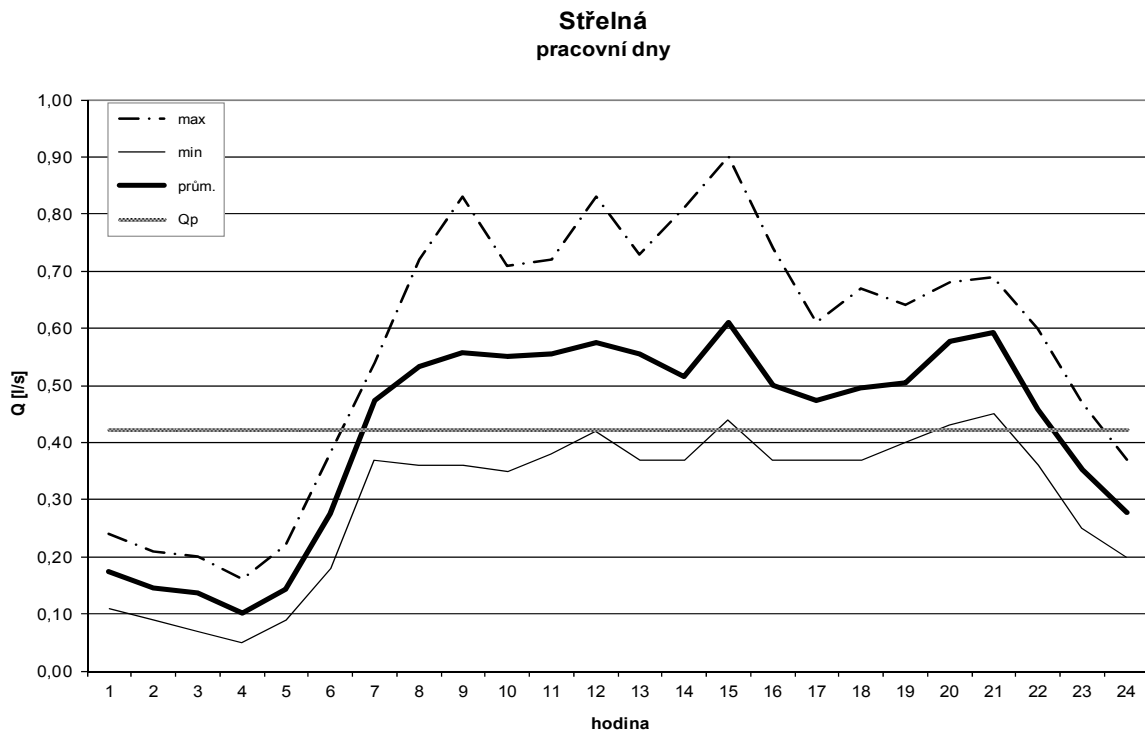
Q_d ...maximální denní průtok [$l.s^{-1}$]

Q_h ...maximální hodinový průtok [$l.s^{-1}$]

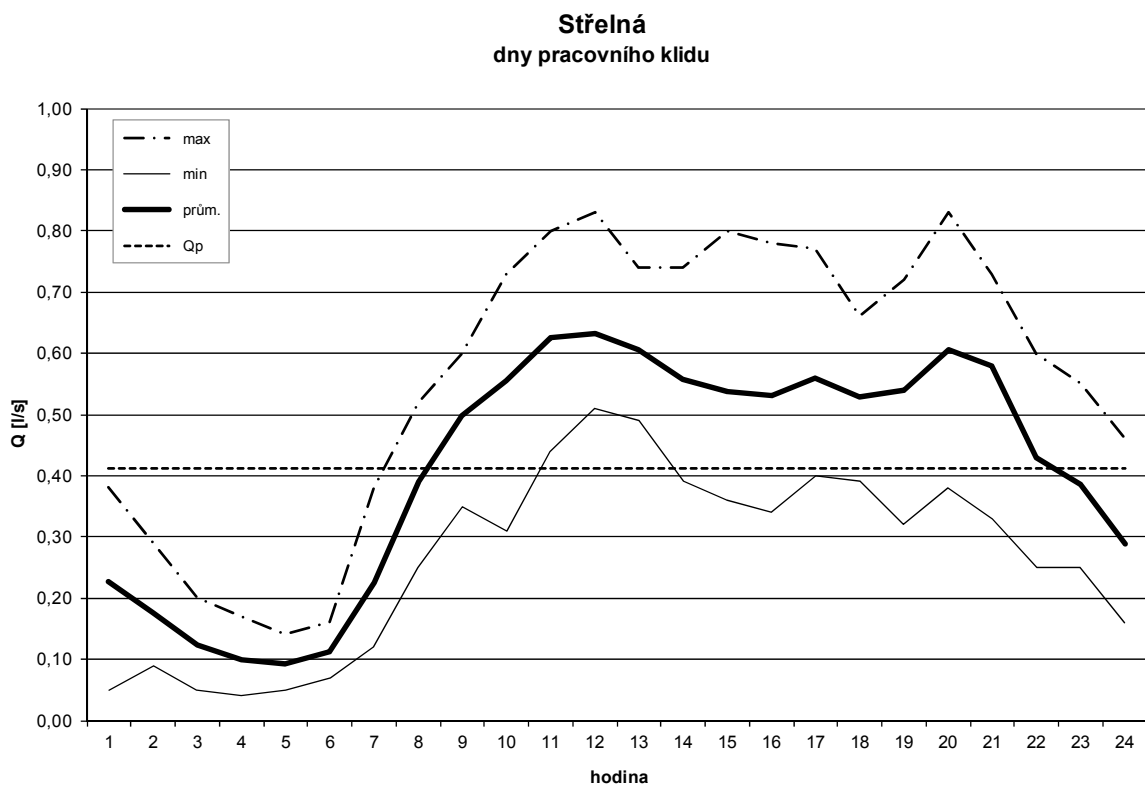
Rovněž byla stanovena hodnota specifické spotřeby na obyvatele. Dle údajů z Programu rozvoje vodovodů a kanalizací na území kraje (dále jen „PRVKUK“) je počet trvale zásobovaných trvale bydlících obyvatel 500. Průměrná denní spotřeba byla stanovena na $36,3 m^3.den^{-1}$. Z těchto dvou hodnot vyplývá hodnota specifické spotřeby na jednoho obyvatele **72,6** $l.os^{-1}.den^{-1}$. Porovná-li se tato hodnota s průměrnou hodnotou specifického množství vody fakturované pro domácnost, je vidět, že je vypočtená hodnota značně nižší. A to i přesto, že od ní nejsou nijak odečítány ztráty vody. Průměrná hodnota specifického množství vody fakturované pro domácnosti za rok 2013 činí **87,1** $l.os^{-1}.den^{-1}$. (Ministerstvo Zemědělství,2014).

Časový průběh odběru vody ze sítě je dobře patrný z následujících grafů:

Graf 4.1 Průběh spotřeby vody v pracovních dnech



Graf 4.2 Průběh spotřeby vody v dnech pracovního klidu



4.2 HYDRAULICKÝ SIMULAČNÍ MODEL VODOVODNÍ SÍTĚ

Po kompletaci všech potřebných podkladů byl sestaven hydraulický simulační model celé vodovodní sítě obce Střelná. Model zahrnuje vodojem Horní Lideč – Stráň, zásobovací řad mezi vodojemem a armaturní šachtou, dále pak vodovodní řady rozvodné sítě v intravilánu obce a také řad vedoucí k objektům bývalé celnice na česko-slovenské státní hranici. V modelu nejsou zahrnuty vodovodní přípojky a vnitřní vodovody. Jedná se o kvazidynamický simulační model. Jako softwarový prostředek pro sestavení modelu byl použit EPANET 2.0.

4.2.1 VSTUPNÍ PODKLADY

Pro sestavení kvazidynamického simulačního modelu je zapotřebí poměrně velké množství informací. V této kapitole je uveden jejich výčet.

Topologie sítě pro hydraulický model

Topologie byla společně s informacemi o materiálech, dimenzích potrubí a rozmístění armatur na síti dodána v digitální podobě, která byla vytvořena vyexportováním z GIS, jenž pro správu používá VaK Vsetín, a.s.

Charakter zástavby

V celé obci byl proveden podrobný terénní průzkum, jehož cílem bylo zjistit charakter zástavby v obci. Tímto byla zjištěna hustota osídlení v jednotlivých částech obce.

Výškopis a polohopis spotřebišť

Výškopis a polohopis spotřebišť byl dodán v digitální podobě, která byla vyexportována z GIS, jenž používá pro správu VaK Vsetín, a.s.

Územní plán obce Střelná

Jelikož je tato práce zaměřena i na posouzení výhledového zástavby, byl použit územní plán jako podklad pro stanovení rozsahu, charakteru a umístění výhledové zástavby.

Místní šetření

V součinnosti s pověřenými technickými zaměstnanci VaK Vsetín, a.s. byla provedena podrobná prohlídka jednotlivých důležitých objektů na síti.

Údaje z dispečinku

VaK Vsetín a.s., dodaly záznamy měření vyňaté z jejich databáze za období 28.10.2013 až 13.1.2014, délka tohoto období je 78 dní. Jedná se o hodnoty naměřených průtoků v armaturní šachtě Střelná. Jedná se čistě o spotřebu vody v obci Střelná. V armaturní šachtě je osazen vodoměr DN80 s osazeným čidlem reed – pulsní signál je přenášen na dispečink VaK Vsetín, a.s.

Měrná kampaň

V období 10.1.2014 až 12.1.2014 byla provedena plošná měrná kampaň tlaků na vybraných místech vodovodní sítě za asistence technických pracovníků VaK Vsetín, a.s. Měrná kampaň je popsána blíže v samostatné kapitole.

4.2.2 STAVBA MODELU

Proces stavby modelu se děje v několika fázích. První fází je příprava sítě pro import do softwarového nástroje pro hydraulickou analýzu. Než dojde k naimportování topologie sítě je potřeba rozdělit síť do jednotlivých výpočtových úseků. Maximální a minimální délka jednotlivých úseků není nijak pevně stanovena. Obecně by však mělo platit, že úsek by neměl být příliš dlouhý, aby nedošlo ke ztrátě přesnosti. Neměl by však být ani příliš krátký, čímž by se model nestal nijak přesnější, jenom by vyvstaly větší požadavky na vstupní data.

Jakmile je topologie připravena, provede se import sítě. V této práci byl jako nástroj pro hydraulickou analýzu použit EPANET 2.0. Po importu topologie je potřeba přiřadit jednotlivým prvkům modelu jejich parametry. U výpočtových uzlů se jedná zejména o nadmořskou výšku, kdežto u výpočtových úseků je potřeba definovat vnitřní průměr potrubí a hydraulickou drsnost potrubí.

Hydraulická drsnost – ve vodovodních sítích se její hodnota odvíjí od typu materiálu potrubí a také jeho stáří. V obci Střelná je celá síť vybudována kompletně z hrdlových trub PVC. Postavena byla v letech 1996 až 1998. Drsnost byla odhadnuta na $k= 0,5$ mm s tím, že je

v této hodnotě schována i rezerva na místní ztráty. Hodnota byla odhadnuta na základě poznatků v bakalářské práci.

Dalším krokem je definice parametrů jednotlivých objektů na síti. V obci Střelná je tímto objektem vodojem Horní Lideč – Stráň. Je potřeba definovat správné geometrické parametry vodojemu a nastavit počáteční hladinu.

Poslední fází je rozdělení celkové spotřeby vody do jednotlivých uzlů. Toto rozdělení je provedeno metodou redukovaných délek dle vzorců (2.21), (2.22), (2.23) a (2.24), přičemž koeficient c_1 znamená počet obyvatel připojených na jednotlivých úsecích. Dále je nutné každému odběrnému místu definovat časovou křivku odběru.

Po provedení všech výše zmíněných fází je možno přistoupit k samotné kvazidynamické hydraulické analýze vodovodní sítě v obci Střelná. Sledovanými hydraulickými veličinami jsou rychlost proudění vody v potrubí a hydrodynamické tlaky v jednotlivých výpočtových uzlech, respektive v jednotlivých částech spotřebišť. Vypočtené hodnoty je potřeba porovnat s hodnotami naměřenými, tzv. verifikace.

4.2.3 HYDRAULICKÁ ANALÝZA VODOVODNÍ SÍTĚ

Po provedení všech fází v kapitole 4.2.2 je možno přistoupit k samotné hydraulické analýze vodovodní sítě v obci Střelná. Sledovanými hydraulickými veličinami jsou rychlost proudění vody v potrubí a hydrodynamické tlaky v jednotlivých výpočtových uzlech respektive v jednotlivých částech spotřebišť. Získané výsledky hydraulických veličin se hledají proto, aby bylo možno rozhodnout, zda daná síť vyhovuje na jednotlivé zatěžovací stavy.

4.3 MĚRNÁ KAMPAŇ

Za účelem měření hydraulických tlaků ve vybraných místech vodovodní sítě byla provedena měrná kampaň v období 10.1.2014 až 12.1.2014. Měření probíhalo současně na 4 místech, těmito místy vždy byly podzemní hydranty. Rozmístění jednotlivých čidel je patrné z přílohy č.1. K měření byla použita tlaková čidla COSMOS CDL 2U, která jsou vybavena automatickým záznamovým zařízením a zaznamenávaly hodnotu každých 5 minut s přesností $\pm 0,0025$ MPa. Současně s tímto měřením probíhalo zaznamenávání hodnot průtoků do Střelné v armaturní šachtě s dálkovým přenosem na dispečink VaK Vsetín, a.s. Byla snaha o rovnoměrné rozmístění čidel, ovšem s tím, že se umísťovala do pokud možno

problematických míst z pohledu nízkého hydrodynamického tlaku. První z následujících dvou obrázků dokumentuje osazování čidla do podzemního hydrantu a druhý ukazuje měřicí čidlo již osazeno v hydrantu.

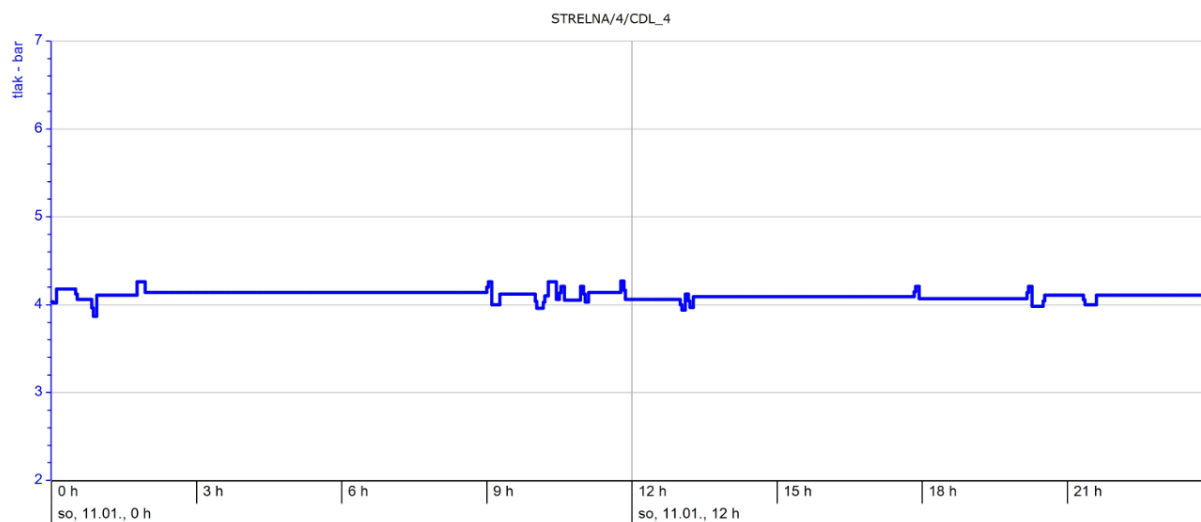


Obr. 4.7 Měření tlaků ve vodovodní síti – měřicí místo č.3 – ukázka osazování měřicího čidla



Obr. 4.8 Měření tlaků ve vodovodní síti – měřicí místo č.1 – ukázka měřicího čidla COSMOS CDL 2U osazeného v podzemním hydrantu

Získané měřené hodnoty tlaků v síti tlakovými čidly byly vyhodnoceny a statisticky zpracovány. Na následujícím obrázku je ukázka vyhodnocení jednoho tlakového čidla – průběh tlaků během soboty 11.1.2014.



Obr. 4.9 Vyhodnocení získaných naměřených hodnot z tlakového čidla – kolísání tlaku během dne

Verifikace

Verifikace neboli ověření by měla potvrzovat správnost nakalibrování matematického modelu. Problémem je však, že sada kalibračních dat by měla obsahovat i vysoké průtoky. Tyto průtoky se však v běžném provozu nevyskytují, pokud nedojde k odběru požární vody ze sítě. Těchto průtoků lze cíleně dosáhnout otevřením hydrantu a řízeným odběrem z onoho hydrantu. Tato kalibrace je však finančně a časově náročná a není předmětem této diplomové práce, proto kalibrace nebyla provedena. Byla proto provedena pouze verifikace pro dva stavy.

První verifikačním stavem je průtok vyskytující se v síti během odpolední špičky odběrů mezi třetí a čtvrtou hodinou odpolední během pracovních dnů. Při tomto odběru se v síti vyskytují nejnižší hydrodynamické tlaky. Hodnota nátoku do vodovodní sítě je $Q = 0,90 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Druhým stavem je opačná situace v síti než u stavu prvního a to, že je nátok do sítě nejvyšší. K tomuto stavu pravidelně dochází v kolem čtvrté hodiny ranní. Touto dobou jsou hydrodynamické tlaky v síti nejvyšší a díky minimálním ztrátám mechanické energie třením po délce a místní ztrátám se hydrodynamické tlaky se velice blíží tlakům hydrostatickým. Odběry ze sítě společně se ztrátami vody v tuto ranní hodinu mají hodnotu $Q = 0,04 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Následující tabulka vyobrazuje rozdíly v naměřených a vypočtených tlacích na dané dva verifikační stavy.

Tab. 4.3 Výsledky verifikace

Měřicí místo	Stav 1 - $Q = 0.90 \text{ l.s}^{-1}$		Rozdíl	Stav 2 - $Q = 0.04 \text{ l.s}^{-1}$		Rozdíl
	Měřený tlak	Vypočtený tlak		Měřený tlak	Vypočtený tlak	
	[m v. sl.]	[m v. sl.]	[m v. sl.]	[m v. sl.]	[m v. sl.]	[m v. sl.]
1	31,8	31,8	0,0	32,3	32,1	0,2
2	62,4	62,4	0,0	62,4	62,4	0,0
3	34,3	34,8	0,5	34,9	35,1	0,2
4	41,5	41,9	0,4	42,2	42,2	0,0

Tab. 4.4 Vyhodnocení naměřených hodnot tlaků v jednotlivých místech sítě

Měřicí místo	Minimální tlak	Průměrný tlak	Maximální tlak
	[m v. sl.]	[m v. sl.]	[m v. sl.]
1	31,1	32,1	33,8
2	62,4	62,5	62,5
3	33,3	34,6	36,3
4	39,9	41,9	43,6

Jak je patrné z Tab. 4.3 absolutní hodnoty rozdílů vypočtených a naměřených hodnot nepřesahují hodnotu 0,5 m v. sl. (0,005 MPa). Toto platí pro celý rozsah průtoků vyskytujících se za běžného provozu ($0,04 - 0,90 \text{ l.s}^{-1}$). Úroveň dosažené shody lze považovat za zcela dostatečnou a to i přesto, že je vyšší, než je přesnost měřících čidel, mohou se vyskytovat však i další nejistoty, kterou je zejména poloha hladiny ve vodojemu (pro výpočet byla hladina nastavena na 549,90 m n. m.).

Verifikační model bylo ověřeno, že parametry modelu jsou nastaveny tak, aby co nejvíce vystihovaly skutečnost a že vypočtené hodnoty se shodují s naměřenými s povolenou odchylkou. Nyní je možné verifikovaný model použít pro posouzení stávajícího ale také výhledového stavu systému zásobování pitnou vodou v obci Střelná.

4.4 STÁVAJÍCÍ STAV

Stávající stav zásobování pitnou vodou v obci Střelná je podrobněji popsán výše. Ve stručném souhrnu lze tento systém vystihnout jako systém s jedním tlakovým pásmem, jehož napájecím uzlem je VDJ Horní Lideč – Stráň ($2 \times 150 \text{ m}^3$) s kótou maximální hladina 549,90

m n. m. Ve vodovodní síti nedochází k žádnému výraznějšímu kolísání hydrodynamických tlaků vlivem ztrát, maximální kolísání tlaku zjištěné v jednom z měřících míst bylo 0,037 MPa (3,7 m v. sl.). Toto místo se nacházelo na konci spotřebiště a je označováno jako č.4. Dominantním a rozhodujícím faktorem ovlivňující tlakové poměry ve spotřebišti je poloha hladiny ve vodojemu.

4.4.1 ZÁSOBOVANÍ PITNOU VODOU

Následující kapitola se zabývá posouzením tlakových poměrů pro jednu ze dvou funkcí, kterou v obci Střelná systém zásobování vodou zastává, a to zásobení obyvatelstva pitnou vodou.

Legislativní požadavky

Podrobný výčet právních předpisů a norem a výtah důležitých pasáží a v nich zakotvených požadavků je uveden v kapitole **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, zde je uveden pro přehlednost pouze stručný výpis konkrétních požadavků na tlakové poměry v síti. V České republice je při navrhování nových a posuzování stávajících vodovodních sítí třeba brát v úvahu prakticky čtyři hodnoty tlaku. Dvě pro maximální tlak a dvě pro minimální tlak.

Maximální dovolený hydrostatický tlak je **0,6** MPa (61,2 m v. sl.), v odůvodněných případech však může hodnota hydrostatického tlaku dosahovat až **0,7** MPa (71,4 m v. sl.).

Minimální požadovaný hydrodynamický tlak pro jedno a dvoupodlažní zástavbu je **0,15** MPa (15,3 m v. sl.). Pro vyšší než dvoupodlažní zástavbu je hodnota minimálního požadovaného hydrodynamického tlaku **0,25** MPa (25,5 m v. sl.).

Maximální tlaky – posouzení

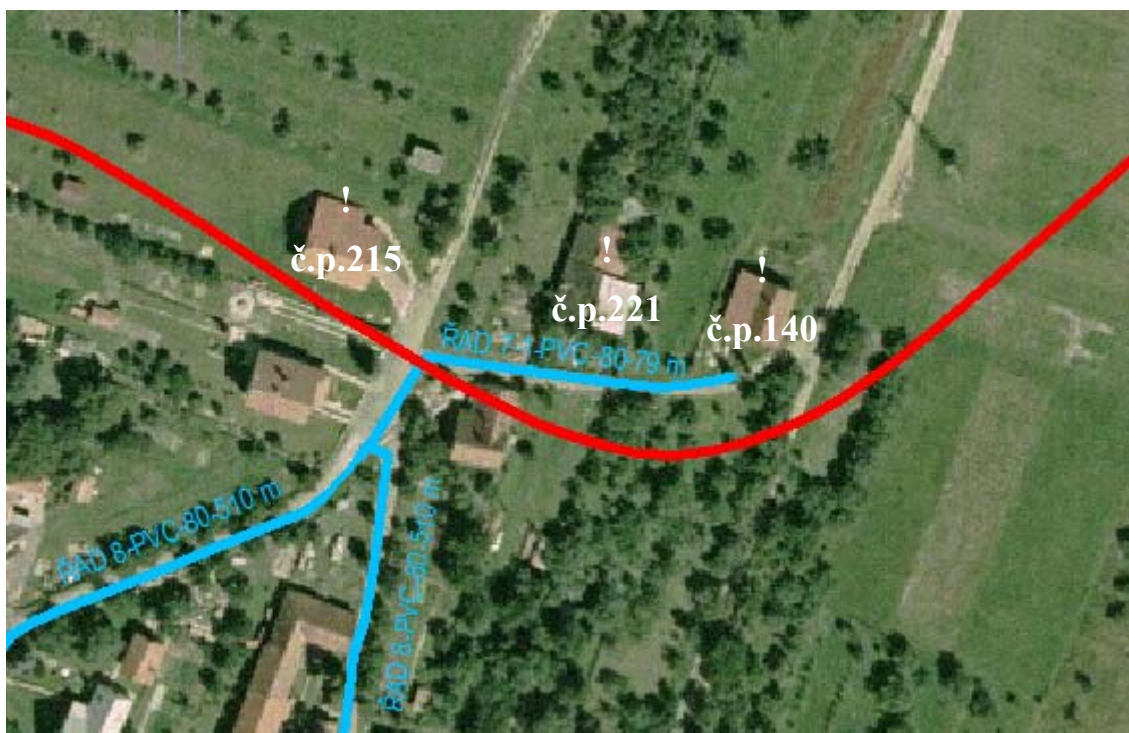
Za hydrostatický tlak byl považován výškový rozdíl mezi horní provozní hladinou ve vodojemu uvažovanou na kótě 549,90 m n. m. a geodetickou výškou terénu. Stanovením hydrostatických tlaků v intravilánu obce byly nalezeny lokality s hydrostatickým tlakem vyšším než 0,60 MPa. Ovšem zde je případ výše zmíněné možnosti v odůvodněném případě akceptovat hydrostatické tlaky v síti až 0,7 MPa. Nejnižší položená zástavba leží na kótě cca 488 m n. m., což činí výškový rozdíl 62 m. Toto převýšení odpovídá 0,61 MPa. O jakou lokalitu se jedná je patrné v příloze č.2.

Grafické znázornění tlakových poměrů v síti a významné výškové kóty jsou patrné z přílohy č.3 a grafické přílohy B.3.

V rámci maximálních tlaků není potřeba podnikat žádné opatření.

Minimální tlaky – posouzení

Simulací charakteristických zatěžovacích stavů a jejich vyhodnocením byla nalezena část sítě nesplňující požadavek minimálního hydrodynamického tlaku 0,15 MPa. V této lokalitě se nachází tři dvoupodlažní nemovitosti, každá z nich má samostatnou vodovodní přípojku. Právě v místech napojení těchto přípojek na vodovodní řad není zajištěn dostatečný hydrodynamický tlak. Na následujícím obrázku je tato lokalita podrobně vyobrazena. Červeně je vyznačena kóta 535 m n. m., která znamená maximální hydrostatický tlak 0,15 MPa. Oblast nad červenou čarou leží na kótě vyšší než 535 m n. m.



Obr. 4.10 Lokalita s nedostatečným tlakem v síti

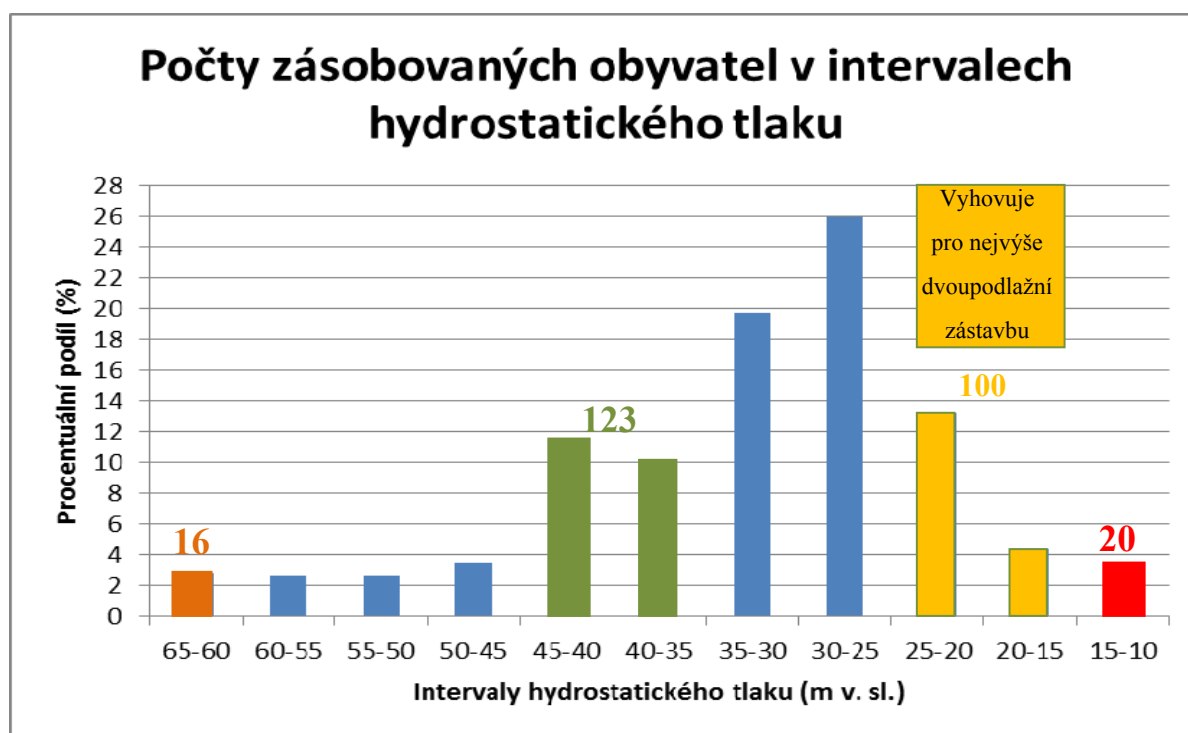
Důvod, proč se v této lokalitě nacházejí nemovitosti ovlivněné nedostatečným tlakem, je zřejmý již z obr Obr. 4.10 a grafické přílohy B.3. Je jím výškové umístění těchto nemovitostí. Leží totiž nad teoretickou nejvyšší možnou hranicí tlakového pásma (červeně – maximální hydrostatický tlak 0,15 MPa – 535 m n. m.). V této lokalitě tedy není možné dosáhnout ani hydrostatického tlaku 0,15 MPa, z čehož je jasné, že nemůže být splněna ani podmínka minimálního hydrodynamického tlaku. Nejneprůzračněji výškově umístěna nemovitost je

č.p.221, která leží na kótě 538 m n. m. Toto umístění znamená výškový rozdíl oproti horní provozní hladině ve vodojemu 12 m v. sl. a maximální hydrostatický tlak je tedy 0,12 MPa. Souhrnně pro celou síť jsou minimální tlaky patrné z přílohy č.4.

Analýza tlakových poměrů

Ve spotřebišti byla provedena podrobná analýza tlakových poměrů. Tyto poměry byly statisticky zpracovány a graficky vyobrazeny. Pro toto zpracování byla použita jistá míra zjednodušení v tom, že pro statistické zpracování i grafické vyobrazení se použily hodnoty hydrostatického tlaku. Toto zjednodušení mohlo být připuštěno díky tomu, že tlaky ani při špičkovém odběru nijak nekolísají a prakticky se blíží hydrodynamické tlaky tlakům hydrostatickým viz kapitola 4.3. Grafické znázornění maximálních hydrostatických tlaků v obci Střelná je dobře patrné z přílohy č.1. Statistické vyhodnocení nejlépe vystihuje následující graf.

Graf 4.3 Počet připojených obyvatel v jednotlivých intervalech hydrostatického tlaku



Z analýzy hydrostatických tlaků vyplývají následující skutečnosti:

- Hydrostatický tlak pro 96,5 % připojených obyvatel vyhovuje legislativním požadavkům na tlakové poměry (0,15 – 0,70 MPa)

- Pro 3,5 % zásobovaných obyvatel je nedostatečný hydrostatický tlak ($< 0,15$ MPa), čímž není splněn ani legislativní požadavek na minimální hydrodynamický tlak 0,15 MPa
- Celkem 3 % zásobovaných obyvatel je připojeno v části sítě, kde je maximální hydrostatický tlak vyšší než 0,60 MPa, což však stále splňuje legislativní požadavky na maximální hydrostatický tlak v síti
- Pouze 21,5 % obyvatel je připojeno v části sítě, ve které je hydrostatický tlak 0,35 – 0,45 MPa. Toto rozmezí je považováno za optimální tlak ve vodovodní síti.

Podrobnější informace o tlakových poměrech v jednotlivých částech vodovodní sítě jsou patrné z přílohy č. 3 a 4.

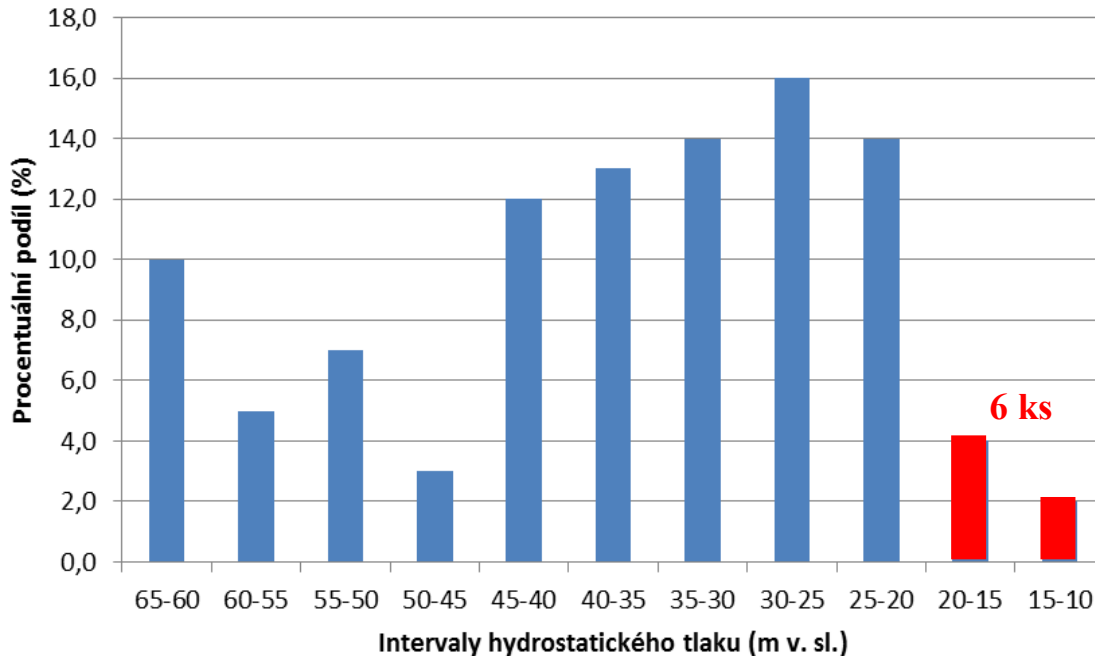
4.4.2 ZÁSOBOVÁNÍ POŽÁRNÍ VODOU

Tato kapitola se věnuje posouzení druhotné funkce vodovodní sítě v obci Střelná, kterou je zásobení požární vodou. Legislativní požadavky na zásobování požární vodou jsou podrobněji popsány v kapitole **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Z legislativy pro toto konkrétní spotřebiště vyplývá zejména požadavek, že v místě odběru požární vody musí být hydrostatický tlak alespoň 0,2 MPa a toto odběrné místo požární vody sloužit po dobu nejméně 30-ti minut.

Matematický model obce Střelná byl připraven tak, aby z něj bylo možno posoudit i zásobení požární vodou a to tak, že v místě každého hydrantu na vodovodní síti je výpočtový uzel v matematickém modelu. Model celé sítě však obsahuje i další uzly, ale i tyto mohou být považovány za odběrná místa. Celkem je v matematickém modelu 100 výpočtových uzlů. Hydrostatické tlaky ve výpočtových uzlech byly opět statisticky vyhodnoceny a graficky vyobrazeny. Statistické vyhodnocení přehledně vystihuje následující graf.

Graf 4.4 Podíl jednotlivých výpočtových uzlů v intervalech hydrostatického tlaku

Zastoupení výpočtových uzlů vodovodní sítě v intervalech hydrostatického tlaku



Po provedení statistického vyhodnocení hydrostatických tlaků v jednotlivých výpočtových uzlech vyplynulo, že:

- U 6-ti ks výpočtových uzlů (6 %) nevyhovuje hydrostatický tlak legislativním požadavkům. Tyto části sítě nejsou zcela spolehlivé pro odběr požární vody. Z těchto 6-ti výpočtových uzlů 4 reprezentují hydranty na vodovodní síti viz příloha č. 5 a 6.
- Celkem v 94 výpočtových uzlech je hydrostatický tlak vyšší než 0,20 MPa a vyhovuje požadavkům na minimální hydrostatický tlak vyplívajících z legislativy

Provedením analýzy hydrostatických tlaků ve výpočtových uzlech byly zjištěny 4 části sítě, ve kterých není dostatečný hydrostatický tlak. Jsou to lokality:

- 1) Řad 7-1 PVC DN 80 – jedná se o č.p. 28, 140, 183, 215 a 221 viz Obr. 4.11
- 2) Řad 13 PVC DN 80 – konec řadu – ovlivněny jsou č.p. 52 a 135 viz Obr. 4.12, zde se jedná o nedostatek tlaku v řádech centimetrů
- 3) Řad 12 PVC DN 80 – konec řadu – ovlivněny jsou kostel (č.p. 178) a výrobní hala fa Truhlářství Karel Krajča viz Obr. 4.13
- 4) Řad 11 PVC DN 80 – areál bývalého JZD, zásobuje zemědělské družstvo, FORM a.s., stolárnu a kotelnu viz Obr. 4.14

Na následujících obrazech jsou červeně vyznačeny hydranty s nedostatečným hydrostatickým tlakem daným legislativou a žlutě šrafovaná je oblast s vyšším hydrostatickým tlakem než 0,20 MPa.



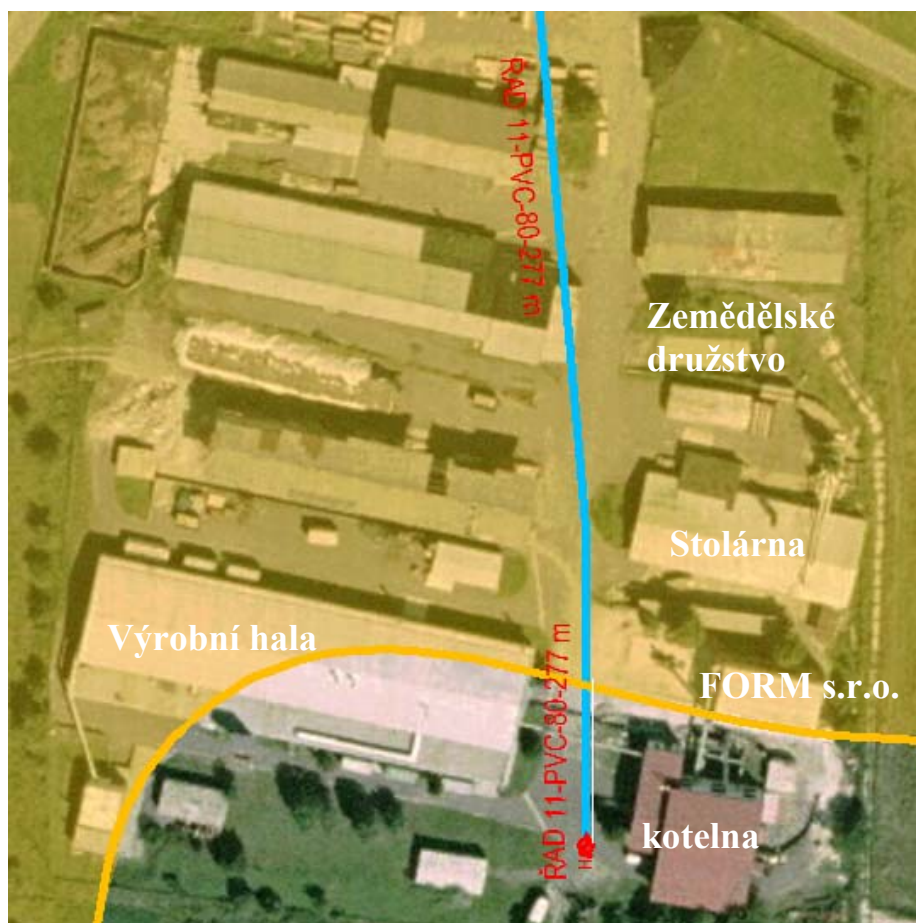
Obr. 4.11 Lokalita č.1 – ŘAD 7-1



Obr. 4.12 Lokalita č.2 – ŘAD 13



Obr. 4.13 Lokalita č.3 – ŘAD 12



Obr. 4.14 Lokalita č.4 – ŘAD 11

V lokalitách 1,2 a 3 jsou hydranty, které neposkytují dostatečný hydrostatický tlak alespoň 0,20 MPa, ale ve vzdálenosti <200 m se nachází hydranty, které tyto podmínky splňují. Ovšem v lokalitě č.4 je vzdálenost od koncové hydrantu Řadu 11, který nevyhovuje požadavku na minimální hydrostatický tlak, větší než 200 m konkrétně 220 m. Problém by mohl nastat zejména při požáru kotelny, která je nejvzdálenějším objektem od nejbližšího vyhovujícího hydrantu.

Při posouzení zásobení požární vodou je také nutné posoudit, zda je napájecí vodovodní síť dostatečně kapacitní, aby vydržel zásobovat odběrné místo požární vody v požadovaném množství alespoň 30 minut. V tomto případě je napájecím uzlem VDJ Horní Lideč – Stráň, který má akumulaci objem $2 \times 150 \text{ m}^3$ respektive 300 m^3 . V obci Střelná je dle normy ČSN 73 0873 požadován v areálu bývalého JZD (lokalita č.4) požadován průtok $6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, což činí potřebu cca 11 m^3 vody. Vzhledem k tomu, že VDJ Horní Lideč – Stráň je téměř stále plný i během špiček odběru, je zřejmé, že vodojem je jako napájecí uzel pro požární vodu dostatečně kapacitní. Podrobné výsledky posouzení zásobování požární vodou jsou dobře patrné z přílohy č. 5 a 6.

4.5 VÝHLEDOVÝ STAV

Jedním z cílů této práce je analyzovat a posoudit výhledové napojení některých lokalit, v nichž se předpokládá výstavba a posoudit tlakové poměry, které vzniknou připojením nových lokalit. Tyto nové lokality jsou vymezeny v územním plánu obce Střelná, jenž byl nově zpracován v dubnu roku 2014. Územní plán počítá s dalším rozvoje obce a mírným nárůstem počtu obyvatelstva, proto územní plán vyčleňuje nové lokality pro možnou výstavbu. Do lokalit z územního plánu, které mohou být v budoucnu připojeny do systému zásobování vodou, patří plocha pro individuální bydlení BI 135, plochy pro občanskou vybavenost O 251, O 252 a O 265 a dále pak plocha pro tělovýchovu a sport OS 282. Rozmístění všech těchto jednotlivých ploch je patrné z přílohy č. 7. U lokalit, u kterých se předpokládá budoucí připojení na vodovodní síť, bylo vytipováno místo možného připojení lokality a odhadnuta okamžitá potřeba vody pro jednotlivé plochy dle jejich účelu. Bližší popis jednotlivých ploch je uveden níže.

Plocha BI 135 – bydlení individuální

Zastavitelná plocha o výměře 0,88 ha pro individuální bydlení v rodinných domech, cca 30 obyvatel v 8-10 domech, nadmořská výška zástavby 512 – 530 m n. m. Zásobování pitnou

vodou bude zajištěno připojením na veřejný vodovod rozšířením vodovodní sítě z ŘADU 4-1-1 PVC 80, odhadovaná okamžitá potřeba vody $1,27 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (stanoveno dle ČSN 75 5455).

Plocha O 251- Občanská vybavenost

Výměra 0,35 ha. Předpokládá se budoucí výstavba stavby pro občanskou vybavenost, např. domov důchodců, kino atp. Lokalita má nadmořskou výšku od 517 až po 526 m n. m., předpokládána výška terénu u budoucí zástavby bude cca 518 m n. m. Část hranice této plochy tvoří silnice I/49, ze které je také příjezd na tuto plochu. Plocha má výhodnou polohu v centru zástavby. Zásobování pitnou vodou bude zajištěno připojením na veřejný vodovod rozšířením vodovodní sítě z ŘADU A PVC 100, odhadovaná okamžitá potřeba vody $1,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (stanoveno odhadem).

Plocha O 252 – Občanská vybavenost

Výměra 0,21 ha. Plocha je navržena v návaznosti na měnírnu a plochu pro nakládání s odpady, kde bude umístěn sběrný dvůr. Nadmořská výška plochy cca 501 m n. m. Napojení na veřejný vodovod se nepředpokládá.

Plocha O 265 – občanská vybavenost

Výměra 0,08 ha. Velikost a tvar plochy neposkytují možnosti pro žádnou větší stavbu. Plocha je z jedné z poloviny okleštěna vodním tokem a z druhé poloviny silnicí I/49. Nadmořská výška je v rozmezí 500 – 502 m n. m. Napojení na veřejný vodovod se nepředpokládá.

Plocha OS 282 – Tělovýchova a sport

Výměra 1,16 ha. Plocha je situována na místě bývalé skládky. Nadmořská výška se pohybuje od 492 po 509 m n. m. Zásobování pitnou vodou bude zajištěno připojením na veřejný vodovod rozšířením vodovodní sítě z ŘADU C PVC 80, odhadovaná okamžitá potřeba vody $1,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (stanoveno odhadem).

4.5.1 ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU

Pro simulaci nově vzniklých poměrů v síti připojením výše uvedených lokalit byl použit verifikovaný hydraulický simulační model. Tento model byl použit pro posouzení stávajícího stavu s tím, že do tohoto modelu byly implementovány výpočtové úseky a uzly ve

výhledových rozvojových plochách. Hydraulická analýza byla provedena simulací odpovídajících zatěžovacích stavů vodovodní sítě přidáním nového uzlového odběru do budoucího místa napojení výhledového rozšíření vodovodu pro novou zástavbu. Pro každou plochu, ve které se předpokládá budoucí napojení na vodovodní síť, byla provedena simulace zatěžovacích stavů samostatně.

Vyhodnocení

Jelikož ne všechny lokality určené pro výstavbu se v budoucnu nebudou připojovat na vodovodní síť, byla provedena simulace jenom pro tři plochy a těmi jsou BI 135, O 251 a OS 282. Zatěžovacím stavem byl maximální hodinový odběr stanovený z analýzy spotřeby vody $Q_h = 0,90 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (viz kapitola 4.1.4), ke kterému byl přidán uzlový odběr, který reprezentuje nejvyšší okamžitý odběr budoucí zástavby na dané rozvojové ploše. Tento okamžitý odběr trvá pouze krátce (nejedná se o hodinové maximum) a byl stanoven výpočtem dle ČSN 75 5455 „Výpočet vnitřních vodovodů“. Byla připuštěna jistá míra zjednodušení v tom, že nebyly sčítány špičkové odběry z nových lokalit. Ve skutečnosti by k tomuto sčítání ani dojít nemělo, jelikož jde o plochy pro zcela odlišné využití a tím pádem nebývá špičkový odběr ve stejnou dobu.

Pro každou provedenou simulaci se sledovalo a vyhodnocovalo:

- Maximální hydrostatický tlak, který má být dle legislativních požadavků 0,60 MPa (v odůvodněných případech 0,70 MPa).
- Hodnota hydrodynamického tlaku v místech nového uzlového odběru, ve které by dle legislativy neměl tlak poklesnout pod 0,25 MPa pro více než dvoupodlažní zástavbu a pod 0,15 MPa pro jedno a dvoupodlažní zástavbu.
- Hydrodynamické tlaky a jejich poklesy v jednotlivých částech vodovodní sítě, zejména pak v nejnepříznivějších lokalitách, co se nadmořské výšky týče. Vyhodnocuje se vliv výhledového odběru na stávající síť.

Vyhodnocením výsledků byly zjištěny následující fakty:

- Maximální hydrostatické tlaky ve všech třech lokalitách BI 135, O 251 a OS 282 vyhovují daným legislativním předpisům. Ani v jednom případě nepřekračují hodnotu 0,60 MPa. Viz příloha č. 8.

- Hydrodynamické tlaky v místech nových uzlových odběrů jsou vyhovující legislativním předpisům. V žádném z výhledově připojovaných lokalit při daných zatěžovacích stavech hydrodynamické tlaky neklesly pod 0,25 MPa. Viz přílohy č. 9, 10 a 11.
- Připojením nových lokalit na stávající vodovodní síť a s tím spojený vyšší odběr vody ze sítě logicky zapříčiní zhoršení situace v nejhorších místech z hlediska minimálních hydrodynamických tlaků. Vyšším průtokem v jednotlivých úsecích dojde ke zvýšení hydraulických ztrát v potrubí vlivem tření a místních ztrát. Vlivem výše zmíněného tedy dojde k poklesu hydrodynamických tlaků v celé části sítě. Jako nejnepríznivější se jeví připojení plochy OS 282, která je až na konci celé sítě. Připojením výhledových ploch pro výstavbu dojde k poklesu hydrodynamického tlaku v hydraulicky nejnepríznivějším místě, kterým je ŘAD 7-1, až na hodnotu 0,10 MPa. Dále dojde ke zhoršení situace v areálu bývalého JZD na konci ŘADU 11. Zde poklesne hodnota hydrodynamického tlaku při zatěžovacím stavu pod hodnotu 0,15 MPa. Viz přílohy č. 9, 10 a 11.

4.5.2 ZÁSOBOVÁNÍ POŽÁRNÍ VODOU

V lokalitách, které připadají v úvahu pro připojení na vodovodní síť, nevznikne problém s nedostatečným hydrostatickým tlakem pro zásobování požární vodou. Zástavba v rozvojových plochách, není v takové nadmořské výšce, aby nedosahovala hodnota hydrostatického tlaku 0,20 MPa viz příloha č. 12. Vznikne však jiný problém a to ten, že v areálu bývalého JZD v nejvyšší části ŘADU 11 není ani v současnosti dostatečný hydrostatický tlak pro spolehlivé zásobení požární vodou. Při hydraulické zátěži sítě vlivem nových odběrů by v budoucnu mohl hydrodynamický tlak poklesnout při požárním odběru v tomto místě pod 0,05 MPa.

4.6 ZÁVĚR

V této kapitole byly posouzeny tlakové poměry ve vodovodní síti obce Střelná. Analýza tlakových poměrů v systému zásobování vodou byla provedena pro stávající stav a také pro stav výhledový, kdy se předpokládá připojení některých lokalit vymezených v územním plánu. Jako prostředek pro hydraulickou analýzu byl použit matematický model sestavený v programu EPANET 2.0, tento model byl verifikován na základě reálných naměřených

hodnot tlaků ve vodovodní síti. Poznatky získané touto analýzou lze rozdělit do dvou kategorií a to do skupiny pro dodávku pitné vody a pro zásobování vodou požární.

V oblasti současného zásobování pitnou vodou se vyskytují problémy zejména s nízkým hydrodynamickým tlakem, v nejnižších částech sítě se sice vyskytují maximální hydrostatické tlaky vyšší než 0,60 MPa. Maximální hydrostatické tlaky jsou však překročeny jenom minimálně a vyhovují tak daným legislativním požadavkům. Hydrodynamické tlaky jsou nízké v jedné lokalitě napojené na ŘAD 7-1, na který jsou napojeny tři nemovitosti. Jsou to č.p. 140, 215 a 221. Tyto problémy jsou způsobeny špatným výškovým umístěním zástavby oproti výškovému umístění vodojemu.

Pro výhledově připojené lokality jsou tlakové poměry vyhovující, avšak připojením nových lokalit dojde ke zhoršení situace s nízkými hydrodynamickými tlaky, k lokalitě připojené na ŘAD 7-1 přibude další část sítě v areálu zemědělského družstva na konci ŘADU 11, kde bude také příliš nízký hydrodynamický tlak.

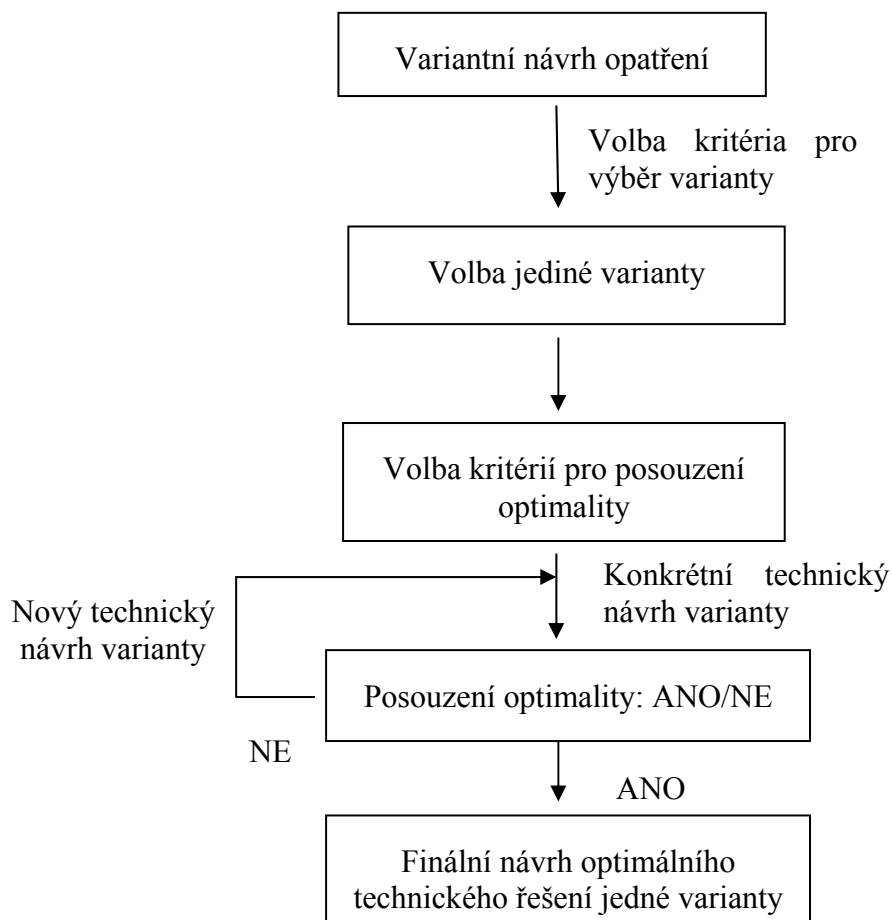
Pro oblast zásobování požární vodou byly zjištěny 4 části sítě, které nevyhovují legislativním předpisům a není zde splněn požadavek na minimální hydrostatický tlak 0,20 MPa. Jsou to lokality:

- 1) Řad 7-1 PVC DN 80 – jedná se o č.p. 28, 140, 183, 215 a 221 viz Obr. 4.11
- 2) Řad 13 PVC DN 80 – konec řadu – ovlivněny jsou č.p. 52 a 135 viz Obr. 4.12
- 3) Řad 12 PVC DN 80 – konec řadu – ovlivněny jsou kostel (č.p. 178) a výrobní hala fa Truhlářství Karel Krajča viz Obr. 4.13
- 4) Řad 11 PVC DN 80 – areál bývalého JZD, zásobuje zemědělské družstvo, FORM a.s., stolárnu a kotelnu viz Obr. 4.14

Řešení těchto nevyhovujících stavů je vybudování nového tlakového pásma a to stavbou vodojemu, posilovací čerpací stanice nebo vybudováním automatické stanice. Rozhodovací proces pro jednu z variant a její optimalizace návrhu je popsána v další kapitole.

5 NÁVRH OPATŘENÍ PRO OPTIMALIZACI TLAKOVÝCH POMĚRŮ

Jak již bylo uvedeno v kapitole 4 v obci Střelná se nacházejí části sítě s nízkými tlaky jednak v oblasti zásobování pitnou a také pro zásobení požární vodou. Problémy se týkají nedostatečného hydrodynamického respektive hydrostatického tlaku ve vodovodní síti. Navrhované opatření tedy vede ke zlepšení tlakových poměrů v síti. Hlavní myšlenkou navrhovaného opatření je vytvoření nového tlakového pásma, v němž bude mít napájecí uzel vyšší kótu čáry energie než vodojem, ze kterého je v současnosti v jednom tlakovém pásmu zásobováno celé spotřebišť. Vznikne tak vyšší tlakové pásmo. V rámci této práce byla navržena tři technicky proveditelná variantní řešení, která mohou být použita pro zlepšení tlakových poměrů v síti. Dále je zde popsán rozhodovací proces pro jedno variantní řešení a následná optimalizace návrhu. Optimalizace návrhu směřuje k dosažení nejvyššího možného počtu připojených obyvatel v optimálním tlaku v síti, za který je považován tlak 0,35 - 0,45 MPa. Celý optimalizační proces vyjadřuje tento diagram:



Obr. 5.1 Rozhodovací diagram optimalizačního procesu

5.1 OPATŘENÍ PRO ZLEPŠENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI

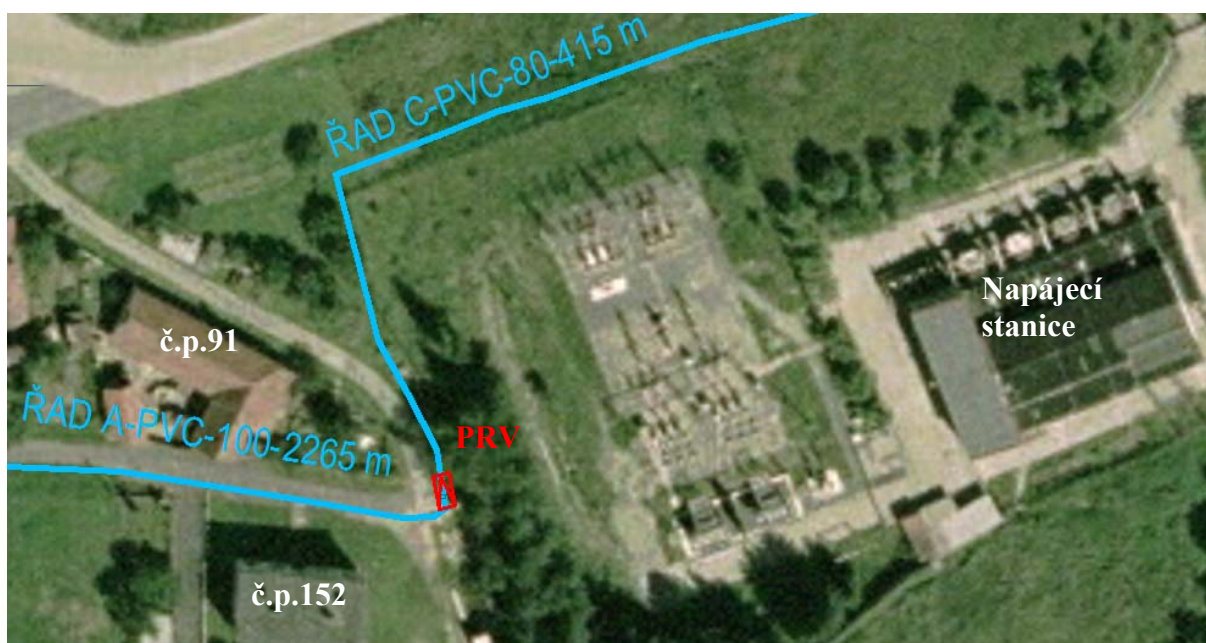
Jelikož jsou v některých částech vodovodní sítě nevyhovující tlakové poměry, je potřeba učinit opatření pro zlepšení tohoto nevyhovujícího stavu a pro celkové zlepšení tlakových poměrů. V rámci této práce byly navrženy tři reálné a technicky proveditelné varianty opatření. Jednotlivá opatření vyžadují větší či menší stavební a provozní zásahy ve vodovodní síti, které však vedou ke zlepšení tlakových poměrů v síti. Všechny varianty mají stejnou základní myšlenku a to, že dojde k rozdělení spotřebiště do více než jednoho tlakového pásma. Vzniknou dvě, respektive tři nová tlaková pásma. Pro každou variantu také platí, že umístění jednotlivých stavebních objektů bylo řešeno v souladu s majetkoprávními vztahy. Vždy byl vytipován pokud možno obecní pozemek, a pokud nebyl k dispozici žádný pozemek v majetku obce, byl vytipován co nejmenší soukromý pozemek. Tento pozemek v soukromém vlastnictví je co nejmenší proto, aby byla nejnižší výkupní cena. Všechny pozemky, které jsou níže zmiňovány, se nacházejí v katastrálním území Střelná na Moravě. Všechny tři opatření jsou navrženy jako tři koncepční směry, pro jeden z nich je potřeba se rozhodnout. Jejich návrh není dotažen do stupně projektové dokumentace, dle níž by například bylo možné provést realizaci stavebních a provozních zásahů. Pro každou variantu jsou uvedeny její klady a také její zápory. V této kapitole je uveden pouze popis navržených opatření, rozhodovací proces je popsán v další kapitole.

5.1.1 VARIANTA 1 – POSILOVACÍ ČERPACÍ STANICE; TLAKOVĚ REDUKČNÍ VENTIL

Tato varianta počítá v rámci stavebních prací s realizací jedné posilovací čerpací stanice (dále jen „PČS“), osazením jednoho tlakového redukčního ventilu (dále jen zkratka „PRV“ z anglického názvu „Pressure reduce valve“ běžně užívána v technické praxi) a vybudování obtoku čerpací stanice, které se bude realizovat osazením uzávěru na stávající potrubí mezi přítok a odtok z posilovací čerpací stanice. V oblasti provozních opatření není potřeba provádět žádné větší zásahy v síti, pouze se uzavře uzávěr nově budovaný při realizaci posilovací čerpací stanice. Posilovací čerpací stanice je zhruba na konci první třetiny vodovodní sítě v části, kde není žádný hydraulický okruh. Je umístěna na hlavním řadu táhnoucím se celou obcí. Přehledně je celá síť a navržené opatření zachyceno v příloze č. 13. Pro přehlednost jsou zde uvedeny následující dva obrázky, které podrobněji ukazují místo napojení PČS a osazení PRV.

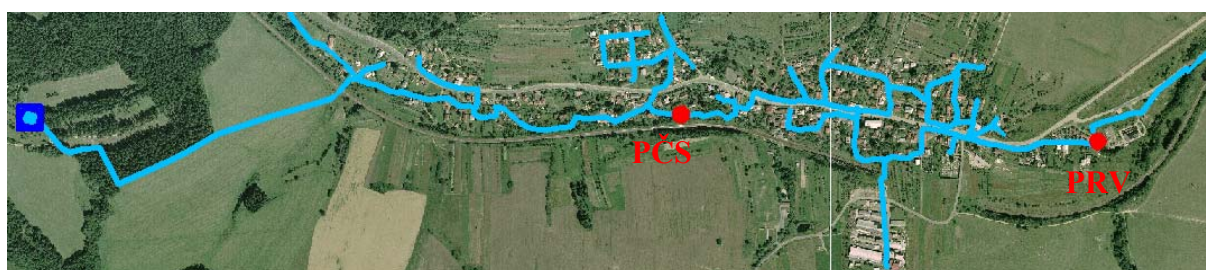


Obr. 5.2 Místo napojení PČS na hlavní řad



Obr. 5.3 Místo osazení PRV

Umístění v rámci celé sítě schématicky ukazuje následující obrázek.



Obr. 5.4 Umístění opatření v síti

Jak je patrné z Obr. 5.2, PČS je napojena na hlavní ŘAD A-PVC-100-2265 m. Lokace je za č.p.182, 177 a 136 na nezpevněné cestě. Tato cesta se nachází na pozemku 2554/1, který je dle údajů z katastru nemovitostí v majetku obce Střelná. Umístění PČS bylo stanoveno na

základě požadavků v rámci optimalizace tlakových poměrů a technické proveditelnosti. PČS se nachází v místě sítě, kde maximální hydrostatický tlak klesá pod 0,35 MPa, což je uvažovaná dolní hranice intervalu ideálního tlaku. Tímto je tedy zajištěno zachování co možná nejlepších tlakových poměrů před PČS. Počítá se s instalací 1+1 čerpadla. Z hlediska technické proveditelnosti je potřeba nalézt pozemek a místo pro stavbu PČS, k tomu byl vytipován pozemek 2554/1. Tento pozemek (barevná plocha na Obr. 5.2) je dostatečně široký a má bezproblémovou příjezdovou cestu pouze přes pozemky vlastněné veřejným sektorem.

Pro osazení PRV se nabízí ideální příležitost jak z hlediska tlakových poměrů, tak z hlediska technické proveditelnosti. V místě, kde je navrhováno osazení PRV, se nachází armaturní šachta, do které by mohl být případně PRV instalován.

Pro dodržení okrajových podmínek, kterými jsou hodnoty minimálního hydrodynamického tlaku pro zásobování pitnou vodou a minimální hydrostatický tlak při požárním odběru, musí být výstupní tlak z posilovací čerpací stanice 0,55 MPa. Nadmořská výška navrhované PČS se pohybuje cca 507 m n. m. Je vhodné použít čerpadla s regulací otáček. Pro první stupeň rozhodovacího procesu je možné uvažovat například čerpadlo LR 40-125/112 pracující v režimu otáček 2900 ot.min^{-1} s regulací HYDROVAR od fa Vogel Pumpen. Dále je potřeba uvažovat s osazení PRV Cla-Val DN 50.

Výhody při zvolení této varianty:

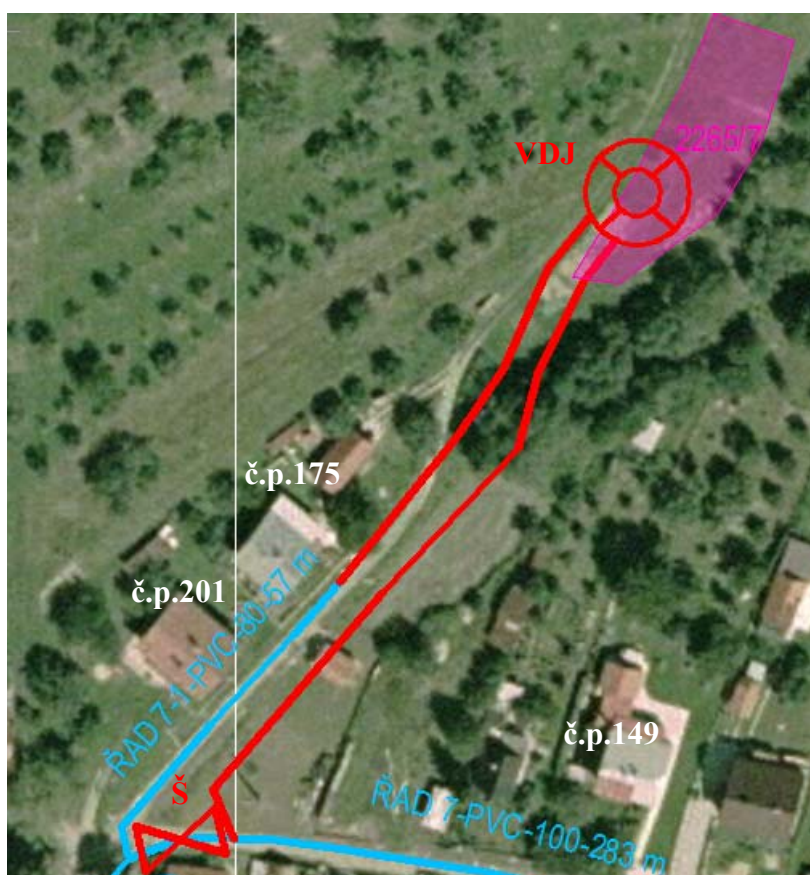
- + Nedojde k problémům s pozemky
- + Poměrně malé zásahy do sítě
- + Jednoduché stavební práce – pouze jedna šachta pro PČS – v rostlém terénu mimo komunikaci
- + V noci je teoreticky možné vyřadit ji z provozu a přes bypas zásobovat spotřebiště tak, jak je to v současném stavu

Nevýhody této varianty:

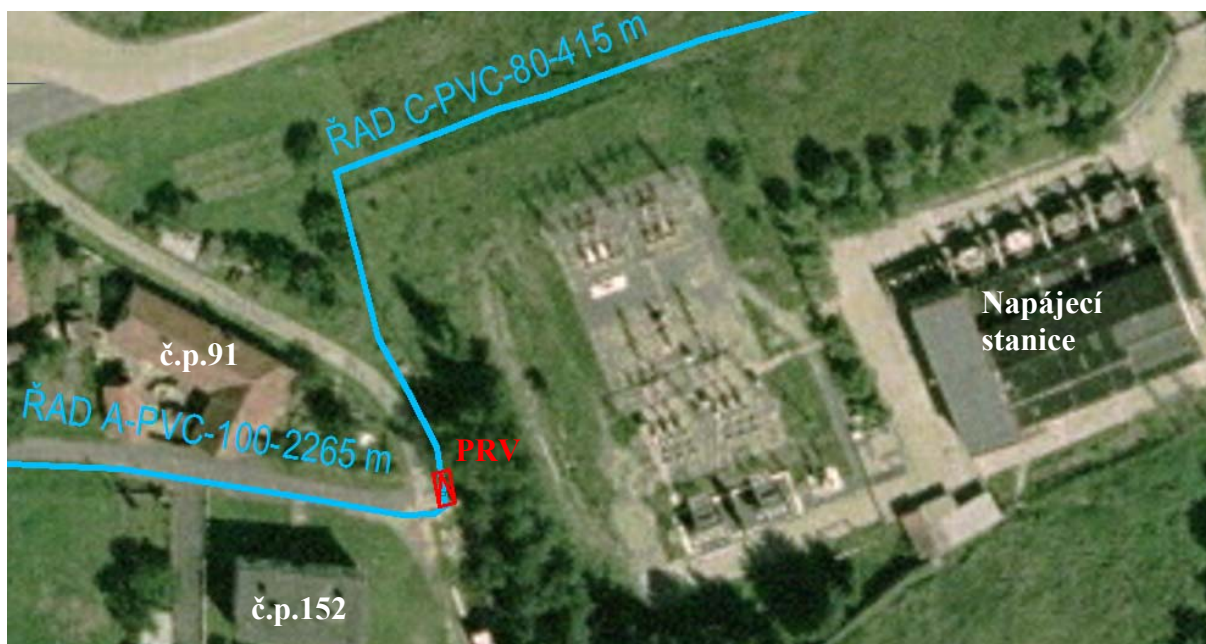
- Vzniknou tři tlaková pásma
- Nutnost instalovat PRV – zvyšuje cenu, navíc v TP Celnice bude napojen jenom areál bývalé celnice na česko-slovenské státní hranici a napájecí stanice
- Ve spotřebišti v HTP budou velké rozdíly tlaků

5.1.2 VARIANTA 2 – VĚŽOVÝ VODOJEM; ČERPACÍ STANICE; TLAKOVĚ REDUKČNÍ VENTIL

Stěžejním bodem této varianty je vybudování věžového vodojemu na okraji intravilánu obce. Realizací této varianty by vznikly ve spotřebišti tři tlaková pásma. V rámci stavebních prací je potřeba vybudovat věžový vodojem, ve kterém budou čerpadla. Dále bude také potřeba vystrojit armaturní šachtu PRV, do stávající armaturní šachty na konci ŘADU A. Provozní opatření obsahují uzavření dvou uzávěrů. Věžový vodojem je umístěn zhruba v polovině obce na jejím severním okraji. Následující tři obrázky ukazují detail místa napojení vodojemu na vodovodní síť, místo vybudování armaturní šachty pro osazení PRV a také celková situace sítě s vyznačením míst, kde jsou navrhována opatření.



Obr. 5.5 Místo napojení VDJ na vodovodní síť



Obr. 5.6 Místo osazení PRV



Obr. 5.7 Lokalizace jednotlivých opatření na síti

Přívod do věžového vodojemu bude skrze ŘAD 7-1-PVC-80-57 m, od jehož konce bude potřeba vybudovat cca 70 m nového potrubí. Odtok z vodojemu se napojí do ŘADU 7-PVC-100-283 m, za tímto účelem bude potřeba vybudovat cca 120 m nového vodovodního potrubí. Toto je dobře patrné z Obr. 5.5. ŘAD 7-1 je krátký řad pro č.p.201 a 175, který je napojen na jeden ze dvou hydraulických okruhů ve spotřebišti. Pro věžový vodojem je počítáno s pozemkem 2265/7, který je v soukromém vlastnictví a jelikož jeho výměra je malá a není nijak hospodářsky využíván, neměl by být velkým problémem jeho výkup veřejným sektorem. V objektu věžového vodojemu je potřeba osadit čerpadla, protože hydrodynamický tlak u paty vodojemu se předpokládá cca 0,05 MPa při špičkových odběrech. A protože hladina v tomto věžovém vodojemu bude výše než 5 m od paty vodojemu a výše než hladina ve VDJ Horní Lideč – Stráň. Voda do akumulčního prostoru věžového vodojemu tak nemůže být dopravována gravitačně. Počítá se se zapojením čerpadel 1+1. Objem akumulční nádrže není

zatím nijak přesně stanoven, k tomu by se případně přistoupilo ve druhém stupni optimalizace. Pro fázi rozhodovacího procesu se objem akumulární komory odhadl na 50 m³.

Dále je potřeba přerušit hydraulický okruh, na který je vodojem napojen. Toto je vyřešeno za pomoci osazení dvou čerpadel. Jedno z nich je osazeno na ŘAD 7-PVC-100-283 m mezi dvě potrubí, které budou tvořit nově přítok (ŘAD 7-1) a odtok (nově budované potrubí) z navrhovaného věžového vodojemu. Druhý uzávěr bude osazen na hlavní ŘAD A-PVC-100-2265 m hned za odbočení ŘADU 7-PVC-100-283 m. Tímto dojde k přerušení druhého hydraulického okruhu v obci. Vymezení nově vzniklých tlakových pásem a umístění uzávěrů je dobře patrné z přílohy č. 14.

Jelikož dojde výstavbou vodojemu k nárůstu maximálního hydrostatického tlaku v některých částech sítě na přípustnou mez zakotvenou v legislativních předpisech (0,70 MPa) je potřeba tento maximální tlak snížit. Za tímto účelem slouží navrhovaný PRV, s jehož osazením se počítá podobně jako v předchozí variantě do armaturní šachty na konci hlavního ŘADU A. Z hlediska maximalizace optimálních tlaků v síti by bylo možné PRV umístit do výhodnějšího místa, ovšem náklady na vybudování nové armaturní šachty tuto možnost převažují.

Aby byly dodrženy okrajové podmínky návrhu věžového vodojemu, kterými je hodnota minimálního hydrodynamického tlaku pro zásobování pitnou vodou a minimální hydrostatický tlak při požárním odběru, musí být kóta minimální hladiny ve vodojemu 562,00 m n. m. Jelikož pata vodojemu může být maximálně ve výšce cca 542 m n. m., je zřejmé, že minimální výška vodojemu bude cca 24 m. Bylo by vhodné použít ocelový vodojem s kulovou akumulární komorou. Vodojem bude vybudován jako aquaglobus tedy bez kotevních lan. Pro první stupeň rozhodovacího procesu bude tedy uvažováno s ocelovým vodojemem celkové výšky cca 24 m o objemu 50 m³ a například s čerpadlem s konstantními otáčkami Grundfos MQ3-45. Dále je potřeba uvažovat s osazení PRV Cla-Val DN 50.

Výhody tohoto řešení:

- + Vyšší spolehlivost systému – vznikne další akumulace
- + Návrh čerpací stanice pouze na maximální denní průtok popřípadě na průměrný denní průtok
- + Místa určená ke stavebním pracím mají bezproblémový příjezd pro mechanizaci a jsou to volná prostranství s nezpevněným terénem

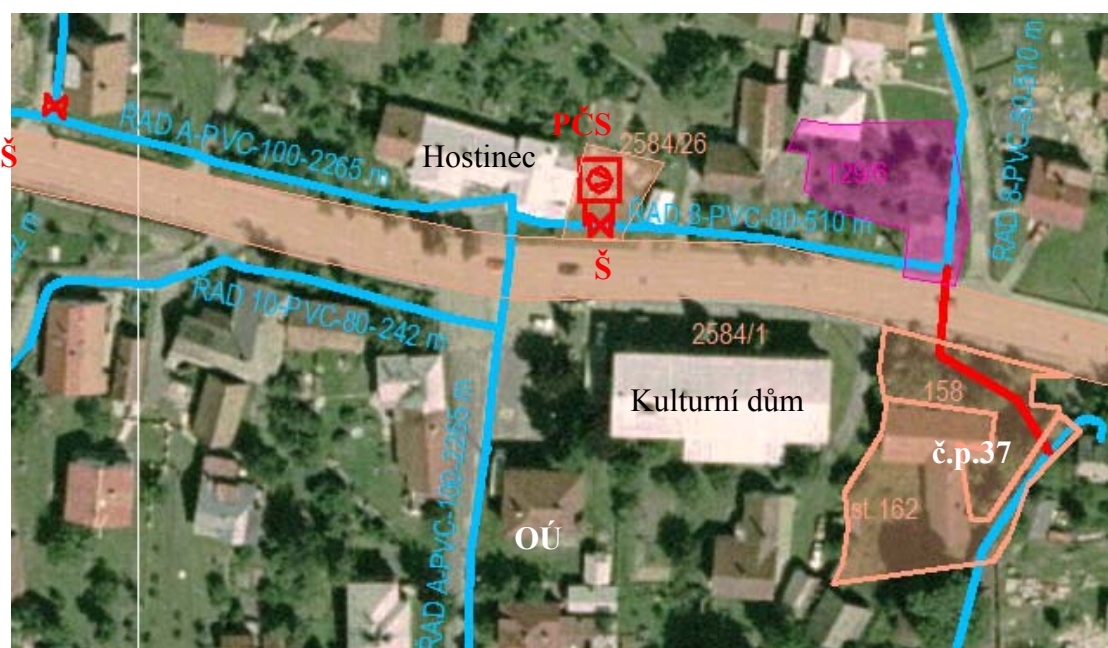
- + Nižší náklady na elektrickou energii

Negativní aspekty:

- Velký objem stavebních prací
- Pravděpodobně vysoké náklady na vybudování
- Vyšší provozní náklady na údržbu – čištění vodojemu atd.
- Problémy s přehříváním a promrzáním vodojemu – teplotní nestálost akumulované vody
- Je velmi pravděpodobné, že může docházet k problémům se stářím vody ve vodojemu

5.1.3 VARIANTA 3 – POSILOVACÍ ČERPACÍ STANICE

V rámci tohoto opatření pro zlepšení tlakových poměrů ve vodovodní síti se počítá s vybudováním posilovací čerpací stanice, která bude schopna dodávat do sítě dostatečné množství vody i pro odběr požární vody. Dále bude vybudován cca 50-ti metrový propoj mezi ŘADEM 8 a ŘADEM 11 a bude zrušeno propojení hlavního ŘADU A a ŘADEM 11. Místo tohoto propojení se budou tyto dva řady pouze křížit. Bude potřeba nově osadit jeden uzávěr na obtoku posilovací čerpací stanice. V rámci dalších provozních opatření bude nutno uzavřít dva uzávěry, jež jsou na síti v současnosti osazeny. Přehledná situace všech opatření je patrná z přílohy č. 15.



Obr. 5.8 Detail PČS a nového propoje



Obr. 5.9 Lokalizace jednotlivých opatření na síti

Toto navrhované opatření je poněkud náročnější na vyřešení majetkových poměrů, protože je potřeba použít hned několik různých pozemků. Avšak situace není tak složitá jak se může jevit. Pro realizaci stavebních prací je potřeba použít pozemky 2584/1; 158; st.162; 2584/26 a 129/6. Z těchto 5-ti pozemků jsou první 4 ve vlastnictví veřejného sektoru a neměl by tak být problém v získání souhlasu pro užití těchto pozemků. Drobný problém může být křížení silnice I/49. Silnice je totiž ve výborném technickém stavu a správce komunikace nebude zcela jistě chtít do této silnice zasahovat, takže již při návrhu se počítá s bezvýkopovým kolmým křížením této komunikace. Poslední pozemek z výše uvedeného výčtu – 129/6, je v soukromém vlastnictví. Přes tento pozemek již vede stávající vodovodní síť, a přesto že v katastru nemovitostí na tuto parcelu není zapsáno žádné věcné břemeno, lze předpokládat, že by dohoda s vlastníkem neměla být nereálná, jelikož se jedná o minimální narušení tohoto pozemku. Z hlediska potřebných pozemků se tato varianta jeví jako technicky proveditelná.

V rámci stavebních prací bude vybudována posilovací čerpací stanice, jejímž vybudováním vznikne další tlakové pásmo (HTP). V této posilovací čerpací stanici se počítá s osazením čerpadel 1+1, tedy se 100 % rezervou. Návrh počítá s použitím čerpadel s frekvenčním měničem, jenž budou navržena na požární odběr v některém z odběrných míst v HTP. Konkrétní návrh čerpadel a výstupního tlaku z nich je předmětem dalších kapitol.

Dále bude potřeba vybudovat propoj mezi ŘADEM 8 a ŘADEM 11. Trasa tohoto propoje je patrná z Obr. 5.8. Problémy s pozemky jsou rozebrány výše. Dimenze potrubí propoje bude stejná jako dimenze dvou propojovaných řadů a to DN 80. Bylo by vhodné použít plastové potrubí, jako nejlepší se jeví použití PE potrubí. Na ŘADU 11 bude potřeba učinit ještě jednu stavební úpravu a to, že bude zrušeno propojení s hlavním ŘADEM A. Místo tohoto propojení se budou jenom vzájemně křížit. Díky tomuto zůstane zachována transportní funkce vodovodu do částí sítě, kde žádné problémy s tlakovými poměry nejsou a nebude potřeba kvůli tomu budovat třetí tlakové pásmo osazením PRV.

V rámci provozních opatření dojde k uzavření dvou uzávěrů. První z nich je na ŘADU 7 hned za odbočením z hlavního ŘADU A. Tento uzávěr se v současné době na síti nachází a je v poloze otevřeno. Druhým uzávěrem je taktéž existující uzavírací armatura, která je osazena na ŘADU 13 v místě přímo za odbočením z hlavního ŘADU A. Tato uzavírací armatura se nyní také nachází v poloze otevřeno.

Pro dodržení okrajových podmínek, kterými jsou hodnoty minimálního hydrodynamického tlaku pro zásobování pitnou vodou a minimální hydrostatický tlak při požárním odběru, musí být výstupní tlak z posilovací čerpací stanice 0,45 MPa. Nadmořská výška navrhované PČS se pohybuje cca 517 m n. m. Je vhodné použít čerpadla s regulací otáček. Pro první stupeň rozhodovacího procesu je možné uvažovat například čerpadlo LR 40-125/112 pracující v režimu otáček 2900 ot.min^{-1} s regulací HYDROVAR od fa Vogel Pumpen.

Výhody:

- + Opatření cílí především na části sítě s nízkým hydrodynamickým a hydrostatickým tlakem
- + V síti nevzniknou místa, v nichž by přesahoval tlak maximální hodnotu dovolenou legislativními předpisy – nevznikne tak potřeba osadit na síti PRV
- + Bezproblémové pozemkové vztahy
- + Místo určené ke stavebním pracím má bezproblémový příjezd pro mechanizaci a je to volné prostranství s nezpevněným terénem
- + Netřeba osazovat nové uzavírací armatury
- + Nejnižší pořizovací cena
- + Při výpadku elektřiny nedojde k přerušení zásobení spotřebiště

Nevýhody:

- Čerpadla je potřeba navrhnout pro potřeby zásobování požární vodou

5.2 PRVNÍ STUPEŇ ROZHODOVACÍHO PROCESU

Nedílnou součástí rozhodovacího procesu je výběr optimální varianty a právě tato fáze je popsána v této kapitole. Každá varianta by mohla být optimální, záleží pouze na tom, jak je stanoveno kritérium pro výběr varianty či jak je definována účelová funkce. Například investičně nejlevnější varianta může mít nejvyšší provozní náklady a tak dále. A aby mohlo

dojít k rozhodnutí, která ze tří výše uvedených variant bude dále optimalizována, je potřeba stanovit určitý parametr či hodnotu, na jejímž základě dojde k rozhodnutí pro jednu z variant.

V této fázi bylo potřeba definovat rozhodovací kritérium, za pomoci kterého bude vybrána jedna optimální varianta. K hodnocení jednotlivých variant byl zvolen kvalitativní přístup, jelikož by bylo velmi obtížné hodnotit varianty kvalitativně například podle investičních nákladů. Není totiž znám konečný optimální finální návrh jednotlivých variant. U každé varianty byly zvoleny čtyři hodnocené aspekty:

- 1) Dostupnost pozemků – vyobrazuje složitost majetkoprávních pozemkových vztahů
- 2) Technická náročnost řešení – zahrnuje objem stavebních prací, problémy spojené s výstavbou a montáž armatur
- 3) Zvýšení provozních nákladů – předpokládaný poměr provozních nákladů mezi jednotlivými variantami
- 4) Technická rizika opatření – rizika spojené s provozováním navržených opatření

Pro hodnocení jednotlivých aspektů navrhovaných variant jsou vytvořeny tři kategorie hodnocení. Každá kategorie je ohodnocena a to tak, že nejvyšší ohodnocení znamená nejprůzračnější stav. Následující tabulka je výsledkem kvalitativního hodnocení jednotlivých variant.

Tab. 5.1 Kvalitativní analýza variant řešení

Hodnocený aspekt	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Dostupnost pozemků	vysoká - 3	nízká - 1	vysoká - 3
Technická náročnost řešení	střední - 2	vysoká - 1	nízká - 3
Zvýšení provozních nákladů	nízké - 3	střední - 2	nízké - 3
Technická rizika řešení	střední - 2	vysoká - 1	střední - 2
Ohodnocení varianty:	10	5	11

Jak je patrné z Tab. 4.1, kvantitativní analýzou variant řešení bylo dospěno k tomu, že optimální varianta je č. 3. Tedy varianta počítající s návrhem posilovací čerpací stanice a vybudováním několika desítek metrů potrubí. Varianta č. 3 byla zvolena dle nastaveného systému hodnocení jako optimální. Její hodnocení bylo poměrně podobné variantě č.1, avšak rozhodujícím rozdílem mezi těmito variantami byla kategorie technické náročnosti řešení. Zásadní rozdíl je v tom, že varianta č.1 počítá s osazením PRV ve stávající armaturní šachtě, kdežto ve variantě č.3 není potřeba PRV. Varianta č. 3. byla tedy z hlediska hodnotících kritérií zvolena za optimální a v další části práce je popsán postup, jakým byla

optimalizována. Toto zvolené opatření ovlivňuje 215 připojených obyvatel a cca 1784 m potrubí, které tvoří http.

5.3 OPTIMALIZACE PARAMETRŮ VYBRANÉHO OPATŘENÍ PRO ZLEPŠENÍ TLAKOVÝCH POMĚRŮ VE VODOVODNÍ SÍTI

Procesem optimalizace je možno rozumět mnoho procesů v mnohých vědních či technických oborech. Její definici je možné nalézt v mnoha různých podobách od různých autorů, avšak velmi dobře proces optimalizace vystihuje následující formulace. Optimalizace je akt získání nejlepšího výsledku za daných podmínek a používá se k minimalizaci potřebného úsilí či k maximalizaci požadovaného účinku. (Rao, 2009)

Úkolem této části práce je nalézt optimální výstupní tlak z PČS. Ve vodovodní síti nemá valný význam zabývat se rozdíly mezi navrhovanými výstupními tlaky v řádech centimetrů vzhledem ke vstupním nejistotám. Minimální diference mezi jednotlivými diskrétními variantami pro tuto optimalizační úlohu je dle názoru autora 0,005 MPa. V této práci je však množina přípustných výstupních tlaků z PČS rovnoměrně rozdělena po 0,025 MPa. Jakmile bude provedena simulace opatření pro celou množinu variant, výsledky budou vyhodnoceny a bude nalezen potencionálně optimální bod.

5.3.1 ÚČELOVÉ FUNKCE OPTIMALIZACE

Rozhodovacím procesem v prvním stupni bylo na základě zvoleného rozhodovacího parametru vyhodnoceno jedno ze tří navržených opatření jako nejlepší pro dané poměry v síti. Bylo vybráno opatření, při kterém dojde k vybudování posilovací čerpací stanice a k mírné úpravě topologie sítě, čímž dojde ke vzniku vyššího tlakového pásma. Toto opatření se zaměřuje zejména na ty části sítě, kde se vyskytují problémy s nevhodnými tlakovými poměry dle legislativních požadavků.

Tato kapitola popisuje postup optimalizace návrhu výše zmíněného opatření. Jelikož je zde současně více účelových funkcí, optimalizace návrhu tohoto opatření vede na multikriteriální optimalizaci. Konkrétně jde o multikriteriální optimalizační úlohu (dále jen „MOU“), která se skládá ze dvou účelových funkcí (dále jen „ÚF“):

- **První ÚF („ F_1 “)** - je zastoupení připojených obyvatel v intervalu optimálních tlaků ve vodovodní síti.
- **Druhá ÚF („ F_2 “)** - je délka sítě, ve které se pohybuje tlak v rozmezí intervalu optimálních tlaků.

Hledané extrémy ÚF:

- **F_1 – hledá se maximum**
- **F_2 – hledá se maximum**

Jelikož se u obou funkcí hledají stejné extrémy, není potřeba provádět žádnou transformaci ÚF. Zvolené účelové funkce se mohou jevit na první pohled jako prakticky stejné, avšak není tomu tak. Pokud by byly ÚF stejné, znamenalo by to rovnoměrné rozložení připojených obyvatel do jednotlivých intervalů hydrostatických tlaků, s čímž by korespondovala rovnoměrná délka sítě v jednotlivých intervalech hydrostatického tlaku. Připojené obyvatelstvo je nerovnoměrně připojeno, v některých úsecích je připojeno velké množství obyvatel, naopak některé úseky jsou téměř bez přípojek. Stejně tak platí, že pokud vede dlouhý úsek potrubí tzv. po vrstevnici a pak je krátká část tzv. po spádnici, rozložení délky sítě v intervalech hydrostatického tlaku je nerovnoměrné.

V této konkrétní MOU je pouze jedna proměnná, která je pro obě ÚF stejná. Touto proměnnou je **výstupní tlak** z posilovací čerpací stanice, od kterého jsou odvislé tlakové poměry v HTP. Tento tlak bude konstantní.

5.3.2 OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Tak jako každá optimalizační úloha i tato musí mít nastaveny okrajové podmínky. Teprve při jejich splnění je možno použít dosaženého nalezeného řešení. V této úloze jsou tři okrajové podmínky (dále jen „OP“):

- **První OP** - říká, že tlak v nejnižše položeném bodě sítě nesmí přesáhnout hydrostatický tlak 0,70 MPa.

- **Druhá OP** - stanovuje minimální hydrostatický tlak v nejnvýše položeném odběrném místě požární vody, kde je zapotřebí tlak 0,20 MPa.
- **Třetí OP** - stanovuje minimální hydrodynamický tlak pro hydraulicky nejneprůzračněji položenou vodovodní přípojku.

Pozn.: Za hydrostatický tlak je v tomto případě považován tlak, jenž je nastaven jako konstantní výstupní tlak z posilovací čerpací stanice. V této PČS budou použita čerpadla s nastaveným konstantním výstupním tlakem.

5.3.3 DISKRETIZACE OPTIMALIZAČNÍ ÚLOHY

Před provedením samotného procesu optimalizace je nutné definovat stav, ke kterému se má dospět. Tento stav by měl být optimální pro řešenou úlohu. V multikriteriální optimalizaci se nedá dosáhnout jednoho jediného řešení. Zpravidla je třeba určit množinu bodů, které vyhovují předem stanovenému optimu. Tyto optimální body lze určit na základě definice Pareto optimality.

Pareto optimální je bod, pokud neexistuje jiný bod, který zlepš alespoň jednu účelovou funkci bez zhoršení ostatních účelových funkcí. Body, kterými dochází k Pareto optimalitě, tvoří Pareto množinu. (CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2014)

Pro tento konkrétní případ multikriteriální optimalizace je vhodné použít diskretní variantu MOU. Jde o případ, kdy je množina variant daná explicitním seznamem variant ohodnocených podle jednotlivých kritérií. Řešení diskretní optimalizační úlohy pro tuto práci bude mnohem snazší, přičemž zůstane zachována uspokojivá blízkost potenciálně optimálního bodu a ideálního bodu. Toto bude platit, pokud se spojitá množina variant rozdělí na dostatečný počet diskretních variant.

5.3.4 METODA ŘEŠENÍ OPTIMALIZAČNÍ ÚLOHY

Pro řešení diskretních MOU se používají různé metody a přístupy. V této práci byl zvolen kardinální přístup ke kritériím, který v praxi znamená přiřazení váhy každému kritériu. Váha znamená relativní důležitost jednoho kritéria vůči ostatním. Čím větší váha, tím větší důležitost kritérium má. Hodnota váhy je mezi 0 a 1, nikoliv však přesně 0 nebo 1. Tím by došlo buď k vyřazení jednoho kritéria respektive k tomu, že by bylo bráno v úvahu pouze jedno kritérium a nejednalo by se o MOU. Součet všech vah, kterými jsou ohodnocena kritéria, se musí rovnat 1. V této práci se vyskytují dvě kritéria respektive ÚF viz výše. Váhy obou

kritérií byly stanoveny na 0,5. Každá účelová funkce má tedy stejnou váhu. Je to proto, že požadavkem zastupitelstva obce bylo zlepšení tlakových poměrů v síti, což by byla odpověď na stížnosti ohledně nízkého tlaku a jeho kolísání. Na druhé straně z pohledu provozovatele je příznivé, aby se ve vodovodní síti vyskytovaly tlaky v intervalu ideálních tlaků, což působí příznivě na životnost potrubí, jeho poruchovost a také zlepšuje poměr ztrát vody vůči zvýšení spotřeby vody. Opatření na síti by mělo být kompromisem mezi požadavky vlastníka a provozovatele.

Jako metoda pro multikriteriální hodnocení variant byla zvolena nejběžnější metoda a to vážená součtová metoda. Matematické vyjádření funkce užitku vypadá následovně (Tuhovčák,2012):

$$U = \sum_{i=1}^p w_i F_i(x) \quad (5.1)$$

kde $w_i \dots$ je váha kritéria [-]

$F_i \dots$ je hodnota kritéria [-]

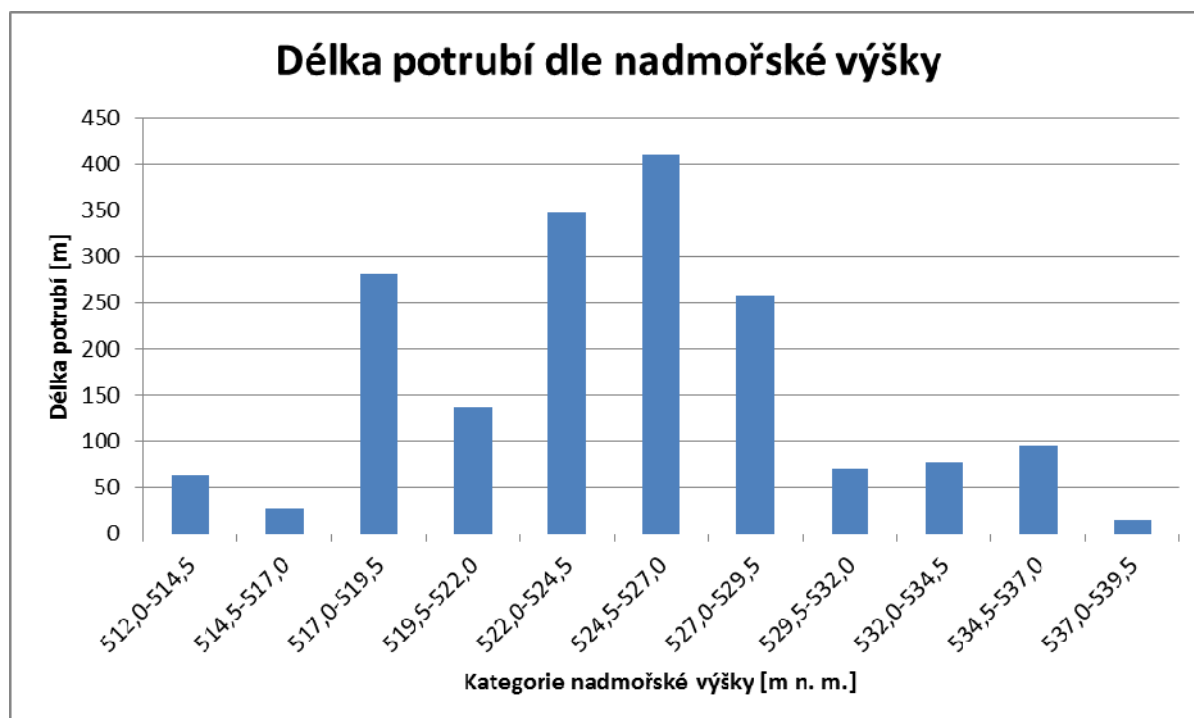
Aby bylo možno brát hodnoty dosažené ve funkci užitku je potřeba provést transformaci obou ÚF na bezrozměrnou hodnotu. V tomto případě byla jako bezrozměrná hodnota uvažována pro první účelovou funkci procentuální zastoupení délky sítě jednotlivých kategorií tlaku z celkové délky sítě v tlakovém pásmu vzniklém realizací PČS. Ve druhé účelové funkci reprezentuje bezrozměrnou hodnotu procentuální zastoupení připojených obyvatel v kategoriích tlaku z celkového počtu zásobovaných obyvatel v tlakovém pásmu, jenž vznikne realizací opatření.

5.3.5 NALEZENÍ PARETO OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ

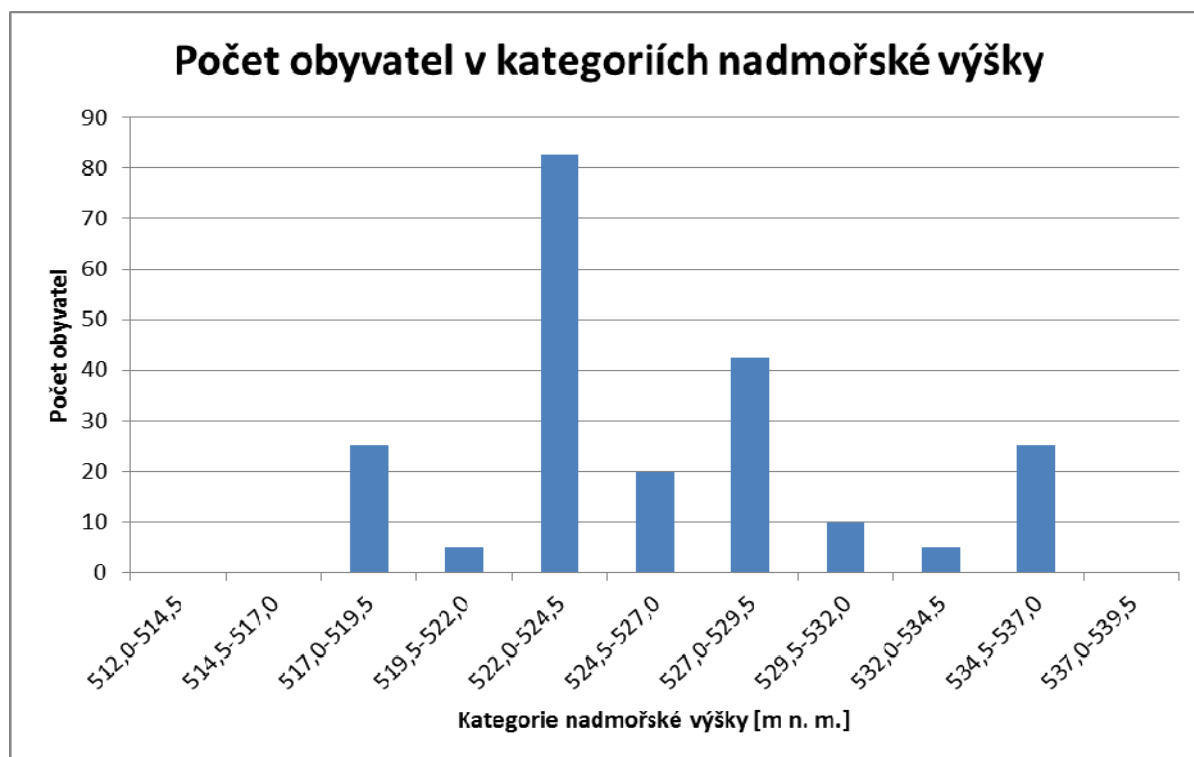
Simulace vlivu opatření na vodovodní síť bylo provedeno pro maximální hodinový průtok stanovený v kapitole 4.1.4. Simulací bylo zjištěno, že hydraulické ztráty i v hydraulicky nejnepříznivějších místech nově vzniklého tlakového pásma nepřevyšují hodnotu 0,0003 MPa (0,03 m v. sl.). Pro zjednodušení zařazování potrubí a připojených obyvatel do jednotlivých intervalů tlaků bylo použito hydrostatického tlaku. Tímto nedojde ke ztrátě přesnosti, jelikož hydrodynamické tlaky v HTP se i při špičkovém odběru téměř rovnají tlakům hydrostatickým.

Aby bylo možno nalézt Pareto optimální řešení, musela být nejdříve provedena detailní analýza vodovodní sítě a vodovodních přípojek respektive připojených obyvatel. Pro následné zjištění jakých hodnot nabývají obě účelové funkce, bylo potřeba zařadit nejprve připojené obyvatele a poté zjistit délku potrubí v daných kategoriích. Pro první účelovou funkci, je potřeba připravit počty připojených obyvatel v kategoriích nadmořského tlaku. U každé přípojky byla stanovena nadmořská výška v místě připojení na vodovodní potrubí a tato výška byla uvažována pro zařazení do jednotlivých kategorií. Délky potrubí v každé kategorii byly stanoveny z detailního geodetického zaměření spotřebiště a vodovodní sítě. Výsledky plynoucí z této detailní analýzy jsou patrné z následujících dvou grafů.

Graf 5.1 Délka potrubí kategoriích nadmořské výšky

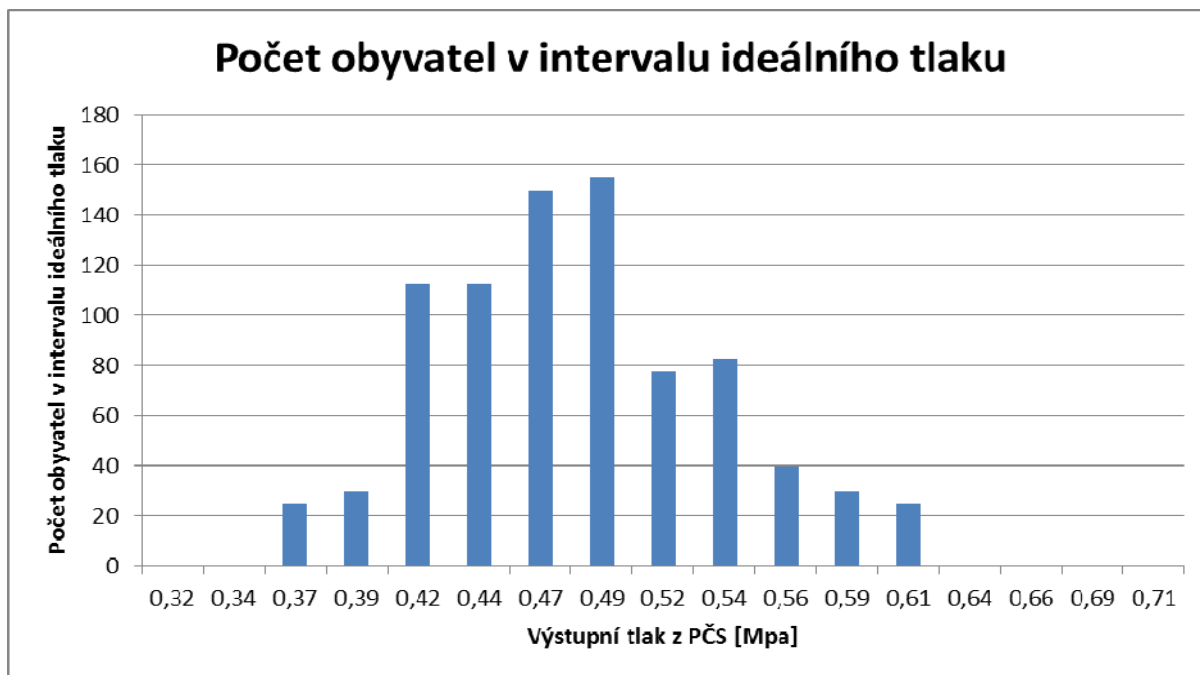


Graf 5.2 Počty obyvatel v kategoriích nadmořské výšky

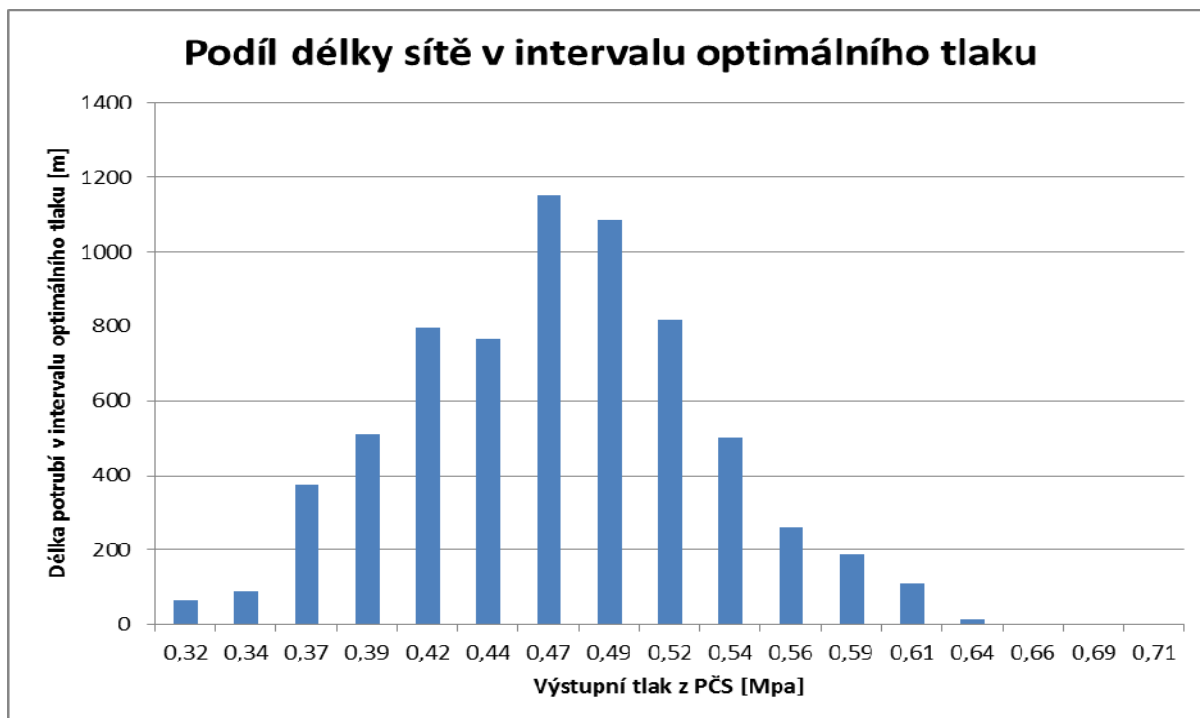


Jak bylo popsáno v kapitole 5.3.3, úloha byla diskretizována a hodnoty výstupního tlaku z PČS byly rovnoměrně zvyšovány po 0,025 MPa. Pro každou hodnotu od nejnižší hodnoty, kterou je hodnota tlaku v místě před PČS, až po maximální možný výstupní tlak z PČS, který dovolují legislativní požadavky a to 0,70 MPa. Pro každou hodnotu zvoleného výstupního tlaku byly stanoveny počty obyvatel napojených v intervalu optimálního tlaku a délky potrubí v požadovaném intervalu ideálního tlaku. Z těchto hodnot byly posléze vypočteny hodnoty obou účelových funkcí a nakonec i funkce užítka, dle které byl stanoven Pareto optimální tlak pro tuto konkrétní multikriteriální optimalizační úlohu.

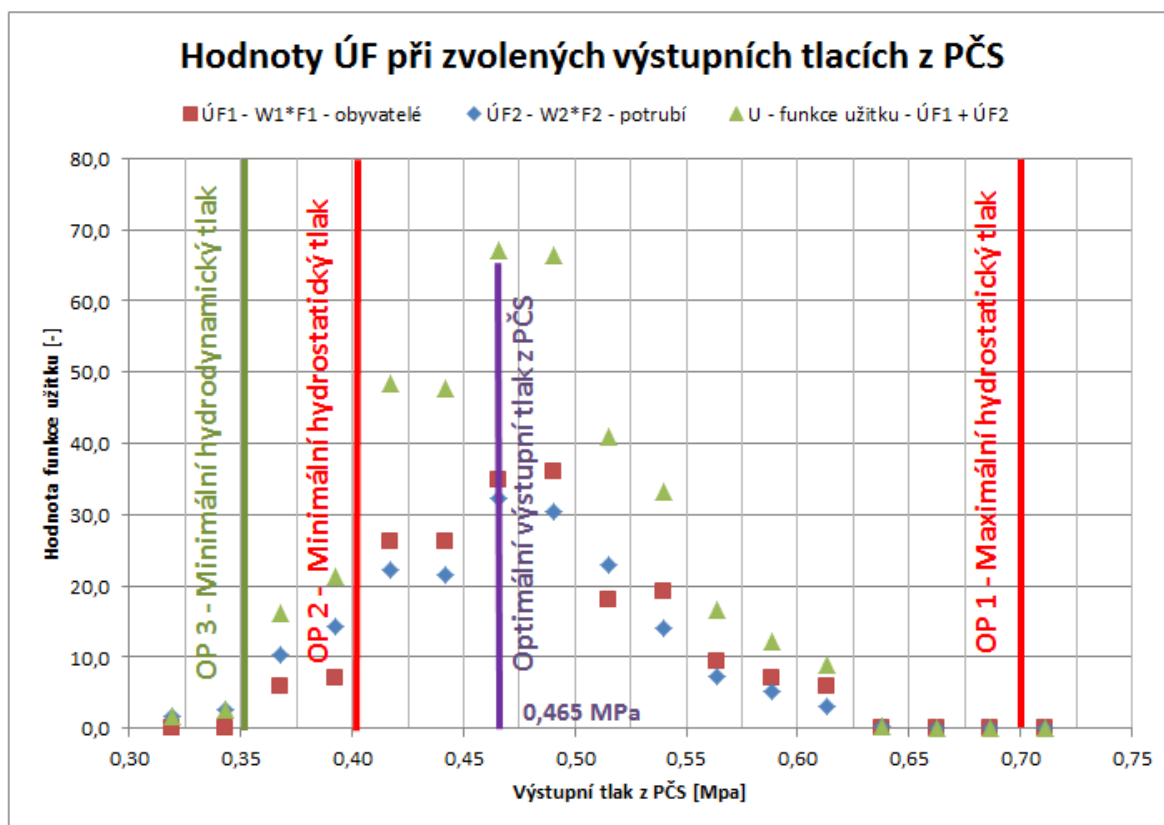
Graf 5.3 Počet připojených obyvatel v intervalu ideálního tlaku dle výstupního tlaku z PČS



Graf 5.4 Délky potrubí v intervalu ideálního tlaku dle výstupního tlaku z PČS



Graf 5.5 Hodnoty funkce užítku a účelových funkcí



Jak je patrné již z Graf 5.5 je hodnota stanoveného optimálního výstupního tlaku z PČS 0,465 MPa. Při tomto výstupním tlaku se dosáhne 155-ti připojených obyvatel v intervalu optimálního tlaku a délky sítě v intervalu optimálního tlaku 1182 m. Ke splnění těchto podmínek by mohlo být použito například čerpadlo od firmy Vogel Pumpen LV 32-125 pracující v režimu otáček $n=2900 \text{ ot. min}^{-1}$ s regulací HYDROVAR, která umožňuje nastavení konstantního tlaku na výtlaku z čerpadla.

6 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Tato diplomová práce se věnuje vytvoření matematického modelu vodovodní sítě, hydraulické analýze tohoto systému a také návrhu řešení a optimalizaci tohoto řešení. V práci jsou postupně popsány teoretické principy a základy na nichž je postaveno praktické matematické modelování vodovodních sítí. Dále jsou zde popsány zjednodušení, které se obecně používají pro modelování matematických sítí a také ty zjednodušení, jichž bylo využito v této práci. Jako další jsou popsány softwarové prostředky, které se celosvětově užívají ke stavbě matematických modelů vodovodních sítí a následné hydraulické analýze. Některým z těchto softwarových prostředků je věnována větší pozornost, zejména EPANET 2.0 je popsán podrobně i s jeho matematickým základem, na kterém pracuje. Následuje detailní popis zájmového území, kterým je obec Střelná.

Stávající stav

Pozornost je věnována velice detailnímu popisu vodovodní sítě a jednotlivých objektů na vodovodní síti. Byla provedena detailní analýza tlakových poměrů. Tato analýza byla vyhodnocena a bylo zjištěno, že se v síti vyskytují lokality, které nesplňují legislativní požadavky na tlakové poměry ve vodovodní síti. Dále byl také simulován vliv připojení ploch určených územním plánem k výstavbě. Touto simulací bylo zjištěno, že stávající síť je dostatečně kapacitní pro připojení ploch pro budoucí výstavbu.

Za účelem zlepšení tohoto stavu byly navrženy tři varianty, ze kterých byla na základě zvolených parametrů vybrána jedna varianta a ta byla navržena za pomoci optimalizační procesem tak, aby se dosáhlo nejlepších tlakových poměrů v síti na základě nastavených kritérií.

V této práci se podařilo dosáhnout cílů stanovených na počátku této práce a to v plném rozsahu. Byl vytvořen matematický model, provedena hydraulická analýza, analýza tlakových poměrů a navrženo opatření pro zlepšení tlakových poměrů v síti. Návrh tohoto opatření byl optimalizován dle stanovených kritérií a bylo nalezeno optimální řešení.

Na základě této práce je tedy možno konstatovat několik doporučení ke zlepšení stávajícího stavu zásobování vodou v obci Střelná.

V oblasti zásobování pitnou vodou jsou problémy s příliš nízkým tlakem v síti. Konkrétně se jedná o tři přípojky na ŘAD 7-1 PVC DN 80. Jsou to č.p. 140, č.p. 215 a č.p. 221.

Důvodem problému s nízkým tlakem je příliš vysoká nadmořská výška vůči nadmořské výšce vodojemu. Řešením problému je realizace navrženého opatření, které počítá s vytvořením vyššího tlakového pásma.

Více problému se vyskytuje při zásobování požární vodou, ve spotřebišti se nachází čtyři lokality, kde není zajištěn minimální hydrostatický přetlak 0,20 MPa, který je zakotven v legislativních předpisech. Opět je problém způsobem vysokou nadmořskou výškou. Konkrétně se jedná o lokality:

ŘAD 7-1 PVC DN80 – v blízkosti rodinných domů č.p. 140, 183, 215 a 221;

ŘAD 12 PVC DN 80 – který vede v blízkosti kostela č.p. 178

ŘAD 11 PVC DN 80 – který zásobuje vodou zemědělské družstvo, FORM, s.r.o., stolárnu a kotelnu.

Doporučuje se provést měření hydraulické kapacity hydrantů u všech tří výše uvedených lokalit tak, aby se prokázalo, zda je pro dané nemovitosti zajištěno dostatečné množství požární vody, resp. zda pro každou z dotčených nemovitostí je ve vzdálenosti < 200 m dostupný hydrant, který disponuje požadovanou hydraulickou kapacitou.

Návrh opatření pro zlepšení tlakových poměrů

Pro vyřešení výše zmíněných problémů s tlakovými poměry v síti pro zásobování pitnou a požární vodou byl proveden řetězec událostí vedoucí přes dvoustupňový rozhodovací proces k finálnímu návrhu jednoho technického řešení. Na počátku tohoto procesu byl návrh tří variant, které byly technicky proveditelné. V prvním stupni rozhodovacího procesu byla vybrána jedna varianta jako optimální. Hodnocení variant probíhalo kvalitativně. Byly stanoveny čtyři nejdůležitější aspekty a ty byly u každé varianty hodnoceny. Ohodnocení každého aspektu se provedlo zařazením do jedné ze tří hodnotících kategorií, které byly bodově ohodnoceny a to tak, že nejpriznivější stav znamenal nejvyšší počet bodů. Za optimální variantu byla zvolena varianta č. 3.

Varianta č. 3 v sobě skrývá návrh posilovací čerpací stanice umístěné na ŘADU 8, dále pak dojde k propojení ŘADU 8 s ŘADEM 11, kdy současně dojde k odpojení ŘADU 11 od ŘADU A. Navíc ještě dojde k uzavření ŘADU 7 v místě odbočení z ŘADU A. Tímto dojde k obrácení směru toku v ŘADU 7. Provedením této varianty by vzniklo horní tlakové pásmo, na které by bylo napojeno 215 obyvatel a délka sítě v HTP by byla cca 1784 m. Návrh této varianty byl optimalizován a parametrem, který se optimalizoval, byl výstupní tlak z posilovací čerpací stanice, pomocí něhož se dosáhlo optimálních tlakových poměrů ve

vodovodní síti. Tato optimalizační úloha byla postavena jako multikriteriální optimalizační úloha, protože zde jsou dva požadavky (ÚF), u kterých byla snaha najednou dosáhnout maximální hodnoty těchto ÚF. První účelová funkce reprezentovala počet připojených obyvatel v intervalu optimálního tlaku. Druhá účelová funkce reprezentovala délku sítě v intervalu optimálního tlaku. Obě funkce byly vyjádřeny v bezrozměrných hodnotách. Oběma ÚF byla přiřazena stejná váha. Před započítáním druhého stupně rozhodovacího procesu byly stanoveny okrajové podmínky, kterými jsou minimální hodnoty hydrostatického v odběrných místech požární vody, minimální hydrodynamický tlak v síti pro připojované nemovitosti a maximální hydrostatický tlak v síti. Optimalizací tohoto opatření byl jako optimální výstupní tlak z posilovací čerpací stanice stanoven výstupní tlak 0,465 MPa. Po optimalizaci tohoto opatření, pokud by se zrealizovalo, by se dosáhlo 155-ti připojených obyvatel v intervalu optimálního tlaku, délka sítě v optimálním tlaku by pak byla 1152 m.

Diskuze a doporučení

Tato práce byla použita jako reálná studie, která bude sloužit zastupitelstvu jako podklad pro rozhodování o provádění opatření na vodovodní síti. Rovněž matematický model vodovodní sítě, který byl v této studii vytvořen, bude sloužit jako softwarový nástroj pro budoucí rozhodovací proces, nastane-li nějaká změna ve vodovodní síti, například bude-li se uvažovat o napojení nového velkého uživatele. Tento matematický model se doporučuje v budoucnu cca do pěti let aktualizovat.

V této studii se však vyskytuje několik problémů. Problém se týká například ověření hydraulické kapacity odběrných míst požární vody (hydrantů). Matematický model je totiž verifikovaný pro průtoky $0,04 - 0,90 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a nelze tak s určitostí ověřit, zda by při případném odběru požární vody byly dostatečně kapacitní odběrná místa. Bylo by vhodné provést měření hydraulické kapacity problematických odběrných míst. Dalším problémem je kvalitativní hodnocení v prvním stupni rozhodovacího procesu, ohodnocení a zařídění do jednotlivých kategorií proběhlo dle úsudku autora na základě praktických zkušeností a zkušeností získaných při zpracovávání bakalářské práce. Nemohlo být použito kvantitativní hodnocení v podobě investičních nákladů. Pokud by totiž došlo k odhadu investičních nákladů, byly by zde značné nejistoty, například v ceně vykupovaného pozemku nebo stavebních nákladech na vybudování stavebních částí vodovodních objektů. Tento problém by šlo částečně vyřešit detailním položkovým rozpočtem pro jednotlivé varianty, avšak musel by být optimalizován

návrh všech tří variant. Tento rozpočet a optimalizace všech tří variant je však svých rozsahem a odborným zaměřením mimo rozsah této diplomové práce.

Lze konstatovat, že tato diplomová práce může být použita jako reálný prostředek pro praktické použití při rozhodování o rozvoji vodovodní sítě, či o změnách na ní provedených. Rovněž matematický model se může stát důležitým nástrojem pro provozovatele vodovodní sítě obce Střelná při provozování a údržbě této sítě.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AQUION s.r.o., Osadní 324/12a, Praha 7. *Aquion: SiteFlow* [online]. 2012 [cit.2015-01-07]. Dostupné z: <http://www.aquion.cz/index.php/software/siteflow>
- [2] BABBIT, H.E. a J.J. DOLAND. *Water Supply Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1939. Third edition.
- [3] C. Tricarico, M.S. Morley, R. Gargano, Z. Kapelan, G. de Marinis, D. Savić, F. Granata, Integrated Optimal Cost and Pressure Management for Water Distribution Systems, *Procedia Engineering*, Volume 70, 2014, Pages 1659-1668, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.183>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814001854>)
- [4] Cambridge Dictionaries online. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. [online]. 2014 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/>
- [5] Clay Mathematics Institute: Navier-Stokes Equation. CLAY MATHEMATICALS INSTITUTE. *Clay Mathematics Institute* [online]. © 2014 [cit. 2015-01-06]. Dostupné z: http://www.claymath.org/millennium/Navier-Stokes_Equations/
- [6] ČR. PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY: ZLINSKÝ KRAJ. In: 2007. Dostupné z: <http://vms4.kr-zlinsky.cz/tms/projekty/prvkuk/info/>
- [7] ČR. ÚZEMNÍ PLÁN STŘELNÁ. In: BRNO, 2014.
- [8] ČR. Vyhláška MZe č.428/2001 Sb. In: 428/2001. 2001.
- [9] ČR. Zákon č.274 ze dne 10.července 2001 o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 104. Dostupný z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3682>
- [10] ČSN 73 0873. *Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2003.
- [11] ČSN 75 5401. *Navrhování vodovodního potrubí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [12] ČSN 75 5455. *Výpočet vnitřních vodovodů*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [13] ČSN EN 805. *Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2001.
- [14] EPANET Z. [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://www.zonums.com/epanetz.html>
- [15] KOVÁŘ, J.; RUČKA J.; ANDRŠ, O. Simulation Modelling of Water- supply Network as Mechatronic System. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mechatronics- Mechatronika 2014*. 1. Brno: VUT v Brně, 2014. s. 697-70. ISBN: 978-80-214-4817- 9.
- [16] INGEDULD, P., 2003: Modeling of Water Distribution Systems with MIKE NET, DHI Water & Environment, 2003.

- [17] JANDORA, J. a J. ŠULC, *HYDRAULIKA: MODUL 01*, Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2006. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [18] MASE, G.E., *Theory and problems of continuum mechanics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- [19] *MIKE URBAN WS User Guide*[M]. Horsholm, Denmark: DHI, 2008
- [20] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, Odbor vodovodů a kanalizací. *VODOVODY KANALIZACE 2013*. Praha: Ministerstvo Zemědělství, 2014. ISBN 978-80-7434-162-5. Dostupné z: www.eagri.cz
- [21] National Research Council of the national academies, 2006: *Drinking Water Distribution Systems – Assessing and reducing Risks*, the National Academic Press, Washington D.C., ISBN: 0-309-10306-1, 2006
- [22] PATHIRANA. EPANET 2.0 - EMITTER. [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: www.assela.pathirana.net/index.php?title=EPANET-Emitter
- [23] *Pipe2014 Manual* [M]. USA: KYPIPE, 2014
- [24] RAO, SINGIRESU S. *Engineering optimization: theory and practice*. Fourth edition. New Jersey: John Wiley, c2009, xix, 813 s. ISBN 978-0-470-18352-6.
- [25] Rossman, A. L., 2000: *EPANET 2 Users Manual*, United States Environmental Protection Agency US E.P.A., USA 9/2000
- [26] ŘÍHA, J., V. STARA, J. JANDORA, R. MADĚRIČ, P. PRAX, T. RYL a H. UHMANNOVÁ, *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Kounicova 67a. Matematické modelování hydrodynamických disperzních jevů*. Brno: PC-DIR spol. s.r.o., 1997. ISBN 80-214-0827-8.
- [27] Schéma zásobování. *Vodovody a kanalizace Vsetín a.s.* [online]. 2014, 7.1. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://www.vakvs.cz/pitna-voda/schema-zasobovani/>
- [28] SALOMONS, Elad. OptiWater: FireFlow. *OptiWater* [online]. 2015 [cit. 2015-01-06].
- [29] TUHOVČÁK, L. *Ústav vodního hospodářství obcí: BP03-Vodárenství*. In: *Ústav vodního hospodářství obcí: Výuka BP03-VODÁRENSTVÍ; Přednáška č.9* [online]. 2012 [cit. 2015-01-06]. Dostupné z: <http://water.fce.vutbr.cz/images/attachments/article/92/Hydraulick%C3%83%C2%A1%20anal%C3%83%C2%BDza%20vodovodn%C3%83%C2%ADch%20s%C3%83%C2%ADt%C3%83%C2%AD.pdf>
- [30] TUHOVČÁK, L., P. ADLER, T.KUČERA a J.RACLAVSKÝ. *VODÁRENSTVÍ: B.DOPRAVA VODY*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2006.
- [31] TUHOVČÁK, LADISLAV. *MULTIKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZAČNÍ ÚLOHY*. In: *ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ* [online]. 2012 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://water.fce.vutbr.cz/images/files/MOU.pdf>
- [32] Water Simulation. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. *EPACAD – AutoCAD to EPANet* [online]. August 25, 2010 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.water-simulation.com/wsp/2010/08/25/epacad/>

- [33] Yue Xu, Xiao-yu Zhang, Research on pressure optimization effect of high level water tank by drinking water network hydraulic model, *Procedia Engineering*, Volume 31, 2012, Pages 958-966, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1127>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812011514>)

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Délka jednotlivých DN a materiálu [m].....	50
Tab. 4.2 Podrobné výsledky analýzy spotřeby vody v obci Střelná	50
Tab. 4.3 Výsledky verifikace	58
Tab. 4.4 Vyhodnocení naměřených hodnot tlaků v jednotlivých místech sítě	58
Tab. 5.1 Kvalitativní analýza variant řešení.....	81

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1 Poloha zájmové obce v rámci České republiky	45
Obr. 4.2 Situace širších vztahů – obec Střelná, okr. Vsetín	46
Obr. 4.3 Schéma části vodárenské soustavy Luhačovice – Stanovnice – Syrakov – Vlára – Bojkovice (http://www.vakvs.cz).....	47
Obr. 4.4 Vodárenské zdroje v okrese Vsetín	48
Obr. 4.5 Střelná - měřicí armaturní šachta na přítoku do obce – měření průtoků, uzávěry	49
Obr. 4.6 Obec Střelná – přehledné schéma vodovodní sítě	49
Obr. 4.7 Měření tlaků ve vodovodní síti – měřicí místo č.3 – ukázka osazování měřicího čidla	56
Obr. 4.8 Měření tlaků ve vodovodní síti – měřicí místo č.1 – ukázka měřicího čidla COSMOS CDL 2U osazeného v podzemním hydrantu	56
Obr. 4.9 Vyhodnocení získaných naměřených hodnot z tlakového čidla – kolísání tlaku během dne	57
Obr. 4.10 Lokalita s nedostatečným tlakem v síti	60
Obr. 4.11 Lokalita č.1 – ŘAD 7-1	64
Obr. 4.12 Lokalita č.2 – ŘAD 13	64
Obr. 4.13 Lokalita č.3 – ŘAD 12	65
Obr. 4.14 Lokalita č.4 – ŘAD 11	65
Obr. 5.1 Rozhodovací diagram optimalizačního procesu	71
Obr. 5.2 Místo napojení PČS na hlavní řad.....	73
Obr. 5.3 Místo osazení PRV.....	73
Obr. 5.4 Umístění opatření v síti	73
Obr. 5.5 Místo napojení VDJ na vodovodní síť	75
Obr. 5.6 Místo osazení PRV.....	76
Obr. 5.7 Lokalizace jednotlivých opatření na síti	76
Obr. 5.8 Detail PČS a nového propoje	78
Obr. 5.9 Lokalizace jednotlivých opatření na síti	79

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\frac{av^2}{2g}$...	rychlostní výška [m]
$\frac{p}{\rho g}$...	tlaková výška [m]
A ...	Jakobiho matice (NxN)
A ...	průtočná plocha [m ²]
A _{ij} ...	prvek Jakobiho matice (NxN)
C1 ...	součinitel vyjadřující počet obyvatel, typ zástavby, plochu zástavby [-]
C2 ...	součinitel vyjadřující specifickou potřebu pro součinitel C1 [-]
D ...	vnitřní průměr potrubí [m]
D ...	průměr potrubí [m]
DDM ...	odběrem řízený model
D _i ...	požadovaný odběr v uzlu [m ³ .s ⁻¹]
DTP ...	dolní tlakové pásmo
F ...	vektor (Nx1) členů pravých stran
F ₁ ...	hodnota kritéria [-]
f _i (x,y,z,t) ...	složky vektoru objemového zatížení f vztaženého na jednotku hmotnosti
GIS ...	geografický informační software
H ...	tlaková výška v uzlu [m]
H ...	vektor (Nx1)
H _{0i} , n _i , α _i ...	se určuje tabelárně dle parametrů čerpadla daných výrobcem
h _i ...	přírůstek tlakové výšky [m]
HTP ...	horní tlakové pásmo
h _z ...	ztrátová výška [m]
h _{zi} ...	ztrátová výška v i-tém úseku [m]
JÚ ...	jímací území
k ...	absolutní drsnost potrubí [m]
k _d ...	koeficient denní nerovnoměrnosti [-]
k _h ...	koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-]
L ...	délka potrubí [m]
L ...	skutečná délka úseku [m]
L _r ...	redukovaná délka [m]
m ...	koeficient místních ztrát [-]

MOU ...	multikriteriální optimalizační úloha
n ...	exponent pohybující se v mezích od 1,75 do 2 [-]
O ...	omočený obvod potrubí [m]
O_i ...	odtok do j-tého úseku nebo odběr [$l.s^{-1}$]
OP ...	okrajová podmínka
p ...	tlak [Pa]
$p(x,y,z,t)$...	tlak [Pa]
PČS ...	posilovací čerpací stanice
PDM ...	tlakem řízený model
P_i ...	redukovaná délka [m]
p_{ij} ...	inverzní derivace tlakové ztráty v úseku mezi uzly i a j s uvažováním směru proudění
PRV ...	tlakově redukční ventil
PRVKUK ...	program rozvoje vodovodů a kanalizace na území kraje
Q_c ...	celková spotřeba sledované sítě [$m^3.s^{-1}$]
Q_d ...	maximální denní průtok [$l.s^{-1}$]
Q_h ...	maximální hodinový průtok [$l.s^{-1}$]
Q_i ...	průtočné množství [$m^3.s^{-1}$]
Q_i ...	přítok z i-tého úseku [$m^3.s^{-1}$]
Q_{ij} ...	přítok do uzlu [$m^3.s^{-1}$]
Q_p ...	průměrný denní průtok [$l.s^{-1}$]
q_r ...	specifická spotřeba sledované sítě [$m^2.s^{-1}$]
r ...	koeficient hydraulického odporu [-]
Re ...	Reynoldsovo číslo [-]
$\text{sgn}(x)$...	znaménková funkce pro $x < 0$ platí $\text{sgn}(x) = -1$
$\text{sgn}(x)$...	znaménková funkce pro $x > 0$ platí $\text{sgn}(x) = 1$
SOMV ...	sdružení obcí mikroregionu Vsetínsko
S_r ...	celková redukovaná délka [m]
SV ...	skupinový vodovod
Š ...	šoupě
ÚF ...	účelová funkce
ÚV ...	úpravna vody
v ...	průřezová rychlost kapaliny [$m.s^{-1}$]
v ...	rychlost vody v potrubí [m/s]
VD ...	vodní dílo

VDJ ...	vodojem
$v_i(x,y,z,t)$...	složky vektoru rychlosti v [m/s]
$v_x(x,t)$...	jediná složka vektoru rychlosti v [m.s ⁻¹]
w_i ...	váha kritéria [-]
x ...	prostorová souřadnice ve směru osy potrubí [m]
$x(t)$...	prostorová souřadnice, která je pouze funkcí času
$x_i(x,y,z,t)$...	prostorové souřadnice
y_{ij} ...	opravný průtokový faktor [-]
z ...	geodetická výška osy potrubí [m]
α ...	Coriolisovo číslo [-]
δ_{ij} ...	Kroneckerovo delta [-]
ε_v ...	tenzor rychlosti objemového přetvoření [-]
κ_i ...	odporový součinitel daného úseku [-]
λ ...	součinitel ztrát třením, vypočtený například dle Šereka či White-Colebrook [-]
$\lambda(\rho,T)$...	koeficient objemového přetvoření [-]
ν ...	kinematická viskozita vody [m ² /s]
ρ ...	hustota kapaliny [kg.m ⁻³]
$\Sigma \xi$...	součet místních odporových součinitelů v jednotlivých úsecích [-]
σ_{ij} ...	tenzor napětí
τ ...	tečné napětí kapaliny [N.m ⁻²]

SEZNAM PŘÍLOH

A.TEXTOVÁ ČÁST

Příloha č.1 - Schéma vodovodní sítě a měřicí body měrné kampaně

Příloha č.2 - Maximální hydrostatické tlaky v síti

Příloha č.3 – Rozložení hydrostatických tlaků v síti

Příloha č.4 – Výsledky hydraulické analýzy – minimální tlaky v síti

Příloha č.5 - Výsledky hydraulické analýzy – zásobování požární vodou

Příloha č.6 – Zásobování požární vodou – problémové lokality

Příloha č.7 – Přehledná situace – rozvojové plochy v obci Střelná

Příloha č.8 – Výhledový stav – maximální hydrostatické tlaky

Příloha č.9 – Výhledový stav – výsledky hydraulické analýzy – plocha BI 135

Příloha č.10 – Výhledový stav – výsledky hydraulické analýzy – plocha O 251

Příloha č.11 – Výhledový stav – výsledky hydraulické analýzy – plocha OS 282

Příloha č.12 – Výhledový stav – zásobování požární vodou

Příloha č.13 – Přehledná situace – návrh opatření – varianta 1

Příloha č.14 – Přehledná situace – návrh opatření – varianta 2

Příloha č.15 – Přehledná situace – návrh opatření – varianta 3

B.VÝKRESOVÁ ČÁST

B.1	Přehledná situace vodovodní sítě	1:2 500
B.2.1, B.2.2, B.2.3	Podrobná situace vodovodní sítě	1:1 000
B.3.1, B.3.2, B.3.3	Situace vodovodní sítě – měřicí místa a rozvojové plochy dle ÚP	1:2 000
B.4	Přehledný podélný profil vodovodu	1:10 000/1 000

SUMMARY

The aim of this thesis is to introduce reader into mathematical modelling of water supply. This document describes basic theory of mathematical modelling and physical laws, which are connected with mathematical modelling and hydraulic analysis. Description of these theories and physical laws are only fundamental. They are mentioned, because they are theoretical base for mathematical modelling. There is also list of legislative provisions that deal with the theme of this thesis. From these documents are selected individual requirements related to the pressure conditions in water network.

In the next chapter is stated a list and description of software, which is possible to use for built mathematical model and accomplishing hydraulic analysis. Description of some programs is only elementary. Only one program is described more to the details. This program is EPANET 2.0 which was used to compilation mathematical model and to accomplish hydraulic analysis of water supply of village Střelná.

Next part describes consumption area, water supply system, hydraulic simulation model, measurement campaign and assessment of the current and prospective state. Consumption area and water supply system are described to the details. There are describe input documents and input uncertainty for hydraulic mathematical model. Also is describes how was mathematical model built and how was hydraulic analysis accomplished, it shows which program were used and what for these programs were used. Also is there was described proces of verification that is very import proces, because it shows if mathematical model works properly, is also described here. There were assessed pressure conditions for supply of drinking water and fire water. There were highlighted problematic locations in which are not satisfied legislative requirements for pressure conditions in water network.

Last part describes measures to improve pressure conditions in water network. There were three different improvements. One of them was chosen as the best. After selection one alternative was made multi-criteria pressure optimization of this alternative. The objective function was composed of two functions. First function was the number of served population in the interval of the optimal pressure. Second one was length of water network in the interval optimal pressure. One solution is chosen as a optimal.

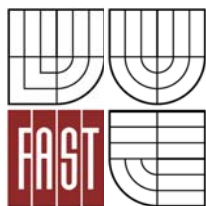
PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 8.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Tomáš Sucháček



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Autor práce	Bc. Tomáš Sucháček
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav vodního hospodářství obcí
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Optimalizace tlakových poměrů ve vodovodní síti obce Střelná
Název práce v anglickém jazyce	Pressure optimisation in the water-supply system of the Střelná village
Typ práce	Diplomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	
Anotace práce	<p>Tento dokument je zaměřen na použití sofistikovaných softwarových prostředků k provedení hydraulické analýzy reálného systému, návrhu a optimalizace opatření pro zlepšení tlakových poměrů ve vodovodní síti.</p> <p>V této práci je uveden výčet a popis softwarových prostředků umožňujících provádět statickou či kvazi-dynamickou hydraulickou analýzu sítě, přičemž nejpoužívanějšímu programu EPANET 2.0 byla věnována větší pozornost a bylo popsáno jeho fungování, možnosti použití a principy, na nichž je založen.</p> <p>Při realizaci hydraulické analýzy reálného systému bylo použito programu EPANET 2.0.</p> <p>Za pomoci tohoto programu byla zpracována hydraulická analýza vybraného vodovodního systému malého spotřebiště pro stávající a výhledový stav zástavby. Na základě výsledků analýzy tlakových poměrů bylo navrženo a optimalizováno</p>

**Anotace práce v
anglickém jazyce**

opatření ke zlepšení poměrů ve
vodovodní síti.

This document aims on application of sophisticated software programs to accomplish hydraulic analysis of real water supply, design and optimization measures for improvement of pressure conditions in water network.

In this work is stated a list and description of software enabling to accomplish static or longterm

hydraulic analysis of water supply when the most world used program EPANET 2.0 is

described more deeply. There is described working of a EPANET and his algorithm also there

are explain principles on which EPANET is based.

During the hydraulic analysis of real system was used sophisticated software EPANET 2.0.

With this program was processed hydraulic analysis of chosen water supply system of small consumption area. Based on the results of analysis pressure conditions has been designed and optimized measure to improve pressure conditions in the water network.

Klíčová slova

Matematické modelování, vodovodní síť, hydraulická analýza, tlaková optimalizace, Pareto optimalita

**Klíčová slova v
anglickém jazyce**

Mathematical modelling, water supply system, hydraulic analysis, pressure optimisation, Pareto optimality