



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

DLOUHODOBÉ PLÁNY OBNOVY VODOVODNÍCH SÍTÍ

LONG TERM PLANNING OF WATER DISTRIBUTION NETWORK REHABILITATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Hos

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

BRNO 2018



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

Student	Bc. Lukáš Hos
Název	Dlouhodobé plány obnovy vodovodních sítí
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, L.; KUČERA, T. Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury a tvorba plánů její obnovy. Brno: FAST, ÚVHO, Brno, 2011. s. 1-33.
- [2] KUČERA, T.; TUHOVČÁK, L. Plány obnovy vodovodních sítí. In Voda Zlín 2010. 1. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2010. s. 125-130. ISBN: 978-80-254-6368-0.
- [3] TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J. Využití teorie hodnocení rizik pro prioritizaci investic a provozních opatření v systémech veřejného zásobování pitnou vodou. In Pitná voda. 1. Bratislava: Hydrotechnológia Bratislava s.r.o., 2009. s. 29-34. ISBN: 978-80-969974-2-8.
- [4] HAMAN, M. Posouzení technického stavu vodovodní sítě. Brno, 2015. 86s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [5] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems. Cincinnati, 2012. Dostupné z: <http://nepis.epa.gov/Exe/>
- [6] Česká republika. Vyhláška 428/2001 Sb.: kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: Sbírka zákonů České republiky. 2001.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem diplomové práce bude návrh postupu pro tvorbu dlouhodobých plánů obnovy vodárenské trubní infrastruktury. Návrh bude vycházet ze současného multikriteriálního hodnocení technického stavu vodovodních sítí a vodovodních řadů a bude zaměřen na stanovení teoretické zbytkové životnosti posuzované infrastruktury a dalších potřebných ukazatelů pro stanovení doby, kdy by nejpozději měla započít obnova této infrastruktury. Navrhovaný postup bude ověřován na konkrétních vodovodech.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá dlouhodobými plány obnovy vodovodních sítí. První část práce je teoretická, popisuje legislativní požadavky v ČR týkající se dané problematiky, dále se zabývá metodikami stanovování dlouhodobých plánů obnovy používaných v zahraničí. V další části práce je popsán návrh vlastní metodiky pro tvorbu dlouhodobých plánů obnovy vycházející z aplikace pro hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury TEA Water. V praktické části práce došlo k otestování navržené metodiky nejprve na fiktivní vodovodní síti a poté na skutečné vodovodní síti obce Babice nad Svitavou.

Klíčová slova

Dlouhodobé plány obnovy, financování obnovy, vodohospodářská infrastruktura, technický stav vodovodní sítě

Abstract

This diploma thesis is about long-term rehabilitation planning of water distribution system. First part is about legislative demands on rehabilitation planning in Czech Republic and about methods used abroad to do long-term reahabilitation planning. Second part of thesis is about own created method based on TEA Water (application about condition assessment of water supply infrastructure). This method is tested on fictional water network and on real water network of Babice nad Svitavou.

Keywords

Long-term rehabilitation planning, financing of rehabilitation, water network, technical condition

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Lukáš Hos *Dlouhodobé plány obnovy vodovodních sítí*. Brno, 2019. 81 s., 10 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního
hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Dlouhodobé plány obnovy vodovodních sítí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Lukáš Hos
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Dlouhodobé plány obnovy vodovodních sítí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Lukáš Hos
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Ladislavu Tuhovčákovi CSc. za odborné vedení při psaní této diplomové práce a za jeho cenné rady. Dále děkuji všem vodárenským společnostem, které byly ochotné poskytnout informace týkající se jejich přístupu k plánům obnovy. Především Ing. Pavlu Dvořákovi PhD. z Brněnských vodáren a kanalizací, a. s. za osobní konzultaci a cenné rady. Dále pak Ing. Pavlu Svobodovi z Vodárenské akciové společnosti, a. s. za poskytnutí potřebných materiálů k vypracování diplomové práce.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	8
2.1	Současný stav v ČR	9
2.1.1	Legislativní požadavky	9
2.1.2	Metodika společnosti DHI	13
2.1.3	Metodiky používané vodárenskými společnostmi v ČR.....	15
2.1.3.1	Sevoromoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s.	16
2.2	Metodiky používané v zahraničí	16
2.2.1	Modely zhoršení stavu potrubí.....	17
2.2.2	Modely celkového hodnocení potrubí.....	17
2.2.3	Modely optimálního rozhodování	18
2.2.4	Plánování obnovy na základě spolehlivosti systému	18
2.2.5	Metoda hodnocení rizik	20
2.2.6	CARE-W.....	26
3	NÁVRH VLASTNÍ METODIKY	29
3.1	Metodika TEA Water.....	29
3.2	Návrh metodiky dlouhodobého plánování	33
3.2.1	Ohodnocení dílčích faktorů.....	33
3.2.2	Váhy a významnost jednotlivých ukazatelů a faktorů	40
3.2.3	Výsledky hodnocení a obecná doporučení.....	40
3.2.4	Odhad nákladů na obnovu	41
4	TESTOVÁNÍ NAVRŽENÉ METODY	42
4.1	Fiktivní vodovodní síť	42
4.1.1	Použití navrhované metodiky.....	44
4.1.2	Zpracování výsledků.....	47

4.1.2.1	Optimistická varianta	47
4.1.2.2	Střední varianta	49
4.1.2.3	Pesimistická varianta	51
4.1.3	Porovnání jednotlivých variant	53
4.1.4	Porovnání s teoretickou životností potrubí	54
4.2	Skutečná vodovodní síť – Babice nad Svitavou	55
4.2.1	Popis vodovodní sítě	55
4.2.2	Použití navržené metodiky	57
4.2.3	Dlouhodobý plán obnovy obce Babice nad Svitavou	64
5	ZÁVĚR.....	66
6	ZDROJE	68
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	70
	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	72
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ A ROVNIC.....	75
	SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH	76
	SUMMARY	77

1 ÚVOD

Dostupné zásobování pitnou vodou patří mezi nejzákladnější znaky moderní a vyspělé společnosti. V České republice je podle Českého statistického úřadu na veřejnou síť zásobování pitnou vodou připojeno 94,2 % obyvatel (údaj z roku 2015) [21]. Aby se dalo toto poměrně vysoké číslo udržovat a případně nadále rozšiřovat, je potřeba se o již vybudované vodovodní sítě starat a udržovat je v odpovídajícím provozuschopném stavu.

Vodovodní sítě, stejně jako všechna ostatní technická zařízení, postupně stárnou a mají pouze omezenou životnost. Problém vodovodních sítí je, že jsou ukryté pod zemí, tudíž není jejich technický stav jednoduše rozeznatelný. I to je jeden z důvodů, proč se průběžné obnově vodovodních sítí v minulosti nevěnovala příliš velká pozornost.

V současné době se vlastníci a provozovatelé vodárenské infrastruktury snaží svoji infrastrukturu průběžně obnovovat, avšak jejich finanční prostředky jsou značně omezené. K co nejefektivnějšímu využití finančních prostředků určených na obnovu se vytvářejí plány obnovy.

Časový rozsah plánů obnovy a způsob jejich vytváření se liší. Zákonná povinnost vlastníků infrastruktury je vytvářet Plány financování obnovy na 10 let dopředu. Tyto plány jsou vytvářeny především na základě odhadu zbytkové životnosti daného objektu.

Cílem práce je navrhnout metodiku na vytváření dlouhodobých plánů obnovy na dobu až 20 let dopředu. Navržená metodika by měla sloužit jako náhled do budoucnosti nad rámec Plánů financování obnovy. Metodika by měla pomocí multikriteriálního hodnocení zohledňovat základní technické a provozní ukazatele vodovodní sítě, ne pouze životnost.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V oblasti plánování obnovy vodovodních sítí rozlišujeme tři základní druhy plánování podle předpokládaného časového horizontu. Jedná se o krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé plány.

Krátkodobé plány se zpracovávají v horizontu jednotlivých kalendářních roků a jejich účelem je určení konkrétních vodovodních řadů určených k obnově. Součástí těchto plánů bývá i návrh vhodné technologie rekonstrukce. Sestavování krátkodobých plánů by mělo vycházet se střednědobých plánů. [1]

Střednědobé plány se zpracovávají na 3-5 let dopředu. Jejich cílem je vytipování částí sítě, které by bylo vhodné v tomto časovém horizontu rekonstruovat. Střednědobé plány bývají zpracovávány v souladu s územním plánem a plány správců ostatních sítí. [1]

Dlouhodobé plánování pracuje s časovým horizontem cca 10-20 let. Při tvorbě plánů obnovy se zpravidla uplatňuje jeden ze dvou následujících přístupů. Optimalizační přístup („odshora dolů“) funguje ve smyslu postupného upřesňování dlouhodobých plánů na konkrétnější plány s kratším časovým horizontem. Druhou možností je tzv. pragmatický přístup. Ten zohledňuje aktuální finanční možnosti krátkodobých plánů a ty poté slouží jako podklad při tvorbě dlouhodobějších plánů. [1]

Tabulka 1: Rozdělení druhů plánování obnovy [1]

Plán	Rozsah	Dokumentace
Dlouhodobý	Vytvoření celkové koncepce provozu a údržby vodovodního systému (10 – 20 let)	Studie, dlouhodobé investiční záměry
Střednědobý	Plán sanace lokalit, částí vodovodních řadů (3 – 5 let)	Studie
Krátkodobý	Sanace konkrétních úseků (roční plány)	Prováděcí plány, výběrová řízení na technologie a mat.

2.1 SOUČASNÝ STAV V ČR

2.1.1 Legislativní požadavky

V současné době je jediným legislativním požadavkem vlastníků vodárenské infrastruktury v oblasti dlouhodobých plánů obnovy vodovodních sítí vypracování Plánů obnovy vodovodů a kanalizací.

2.1.1.1 Plán financování obnovy vodovodů a kanalizací

Základním právním předpisem pro vypracování Plánu financování obnovy vodovodů a kanalizací (PFOVK) je zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.

Paragraf 8 odst. 11 tohoto zákona uvádí, že: „*Vlastník vodovodu nebo kanalizace je povinen zpracovat a realizovat plán obnovy vodovodů a kanalizací, a to na dobu nejméně 10 kalendářních let. Obsah plánu financování obnovy vodovodů a kanalizací včetně pravidel pro jeho zpracování stanoví prováděcí předpis.*“ [2]

Zmíněným prováděcím předpisem je Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. Tato vyhláška je od 12. prosince 2017 upravena vyhláškou č. 448/20017 Sb. Paragraf 13 a příloha č. 18 definují, co má být obsahem PFOVK a četnost jeho zpracování. PFOVK se zpracovává na 10 kalendářních let dopředu a musí být aktualizován nejpozději po 10 letech od zpracování nebo od poslední aktualizace.

Veškeré údaje se zpracovávají do tabulky uvedené v příloze 18, odstavci 4. První sloupec tabulky obsahuje pouze pořadové číslo řádku. V druhém sloupci se vyplňují skupiny majetku podle skupin podle skupin pro Vybrané údaje majetkové evidence (VÚME). Třetí sloupec má obsahovat hodnotu příslušné skupiny majetku v reprodukční pořizovací ceně v mil. Kč na 2 desetinná místa. Ve čtvrtém sloupci se vyplňuje opotřebení majetku vyjádřené v procentech. Způsob stanovení opotřebení není pevně určen, vlastník může využít svoji metodiku a následovně tuto metodiku musí popsat v komentáři k PFOVK. Procento opotřebení lze odvodit i z očekávané délky životnosti.

V následující sloupec má obsahovat teoretickou dobu akumulace finančních prostředků vyjádřenou v počtu roků. Ta se stanoví podle vzorce:

$$TEORETICKÁ DOBA AKUMULACE = \frac{\text{ŽIVOTNOST}}{100} \cdot (100 - \text{OPOTŘEBENÍ V \%}) \quad (1)$$

Výsledek se zaokrouhlí na celé roky. Doporučuje se uvažovat následující životnost: vodovodní řady přiváděcí a vodovodní síť 80 let, úpravný vody, popřípadě zdroje 45 let, kanalizační síť 90 let, čistírny odpadních vod 40 let. [3]

Šestý sloupec obsahuje délku potrubí v kilometrech zaokrouhlenou na dvě desetinná místa. Délka se vypočítává z údajů VÚME. Pro objekty (úpravný vody, ČOV...) se délka nevyplňuje. [3]

V následujících sloupcích 7-11 se uvádí potřebné finanční prostředky samostatně na každý kalendářní rok. Finanční prostředky jsou navíc rozděleny na prostředky získané z vodného a stočného a prostředky ostatní. Do ostatních finančních prostředků patří např. dotace, zdroje z příjmů obcí, úvěry apod. V komentáři k PFOVK uvede vlastník způsob členění a stanovení hodnoty těchto ostatních finančních prostředků. V posledním, dvanáctém, sloupci se uvádí potřebné finanční prostředky jako souhrn za 5 kalendářních roků. Rozdělení finančních prostředků je obdobné jako v předchozích sloupcích. [3]

Tabulka 2: Tabulka PFOVK [3]

4. Tabulka plánu financování obnovy vodovodů nebo kanalizací:

Č.j.:

Razítko vlastníka a podpis statutárního zástupce:

Datum schválení:

Poř. č.	Majetek podle skupin pro vybrané údaje majetkové evidence	Hodnota majetku v reprodukční pořizovací ceně jako součet všech příslušných položek uvedených ve vybraných údajích majetkové evidence (VÚME) v mil.Kč na 2 desetinná místa	Vyhodnocení stavu majetku vyjádřené v % opotřebení	Teoretická doba akumulace Finančních prostředků v počtu roků	Délka potrubí v roce schválení plánu v km	Finanční prostředky zajišťované na obnovu* vodovodů a kanalizací v mil. Kč na 2 desetinná místa					
						2011	2012	2013	2014	2015	2016-2020
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Vodovody přiváděcí řady					+					
3	+ rozvodná vodovodní síť					++					
4	Úpravný vody				0	+					
5	+ zdroje bez úpravy					++					
6	Kanalizace, přiváděcí stoky+ stoková síť					+					
7						++					
8	Čistírny odpadních vod				0	+					
9						++					
10	Vodovody celkem										
11	Kanalizace celkem										
12	CELKEM										
13	Celkem řádky 2, 4, 6, 8 +					+					
14	Celkem řádky 3, 5, 7, 9 ++					++					

* Obnova viz § 2 odst. 9 zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, ve znění pozdějších předpisů.

+ Finanční prostředky získané z vodného a stočného; v komentáři vlastník popíše zdroje této hodnoty (nájemné, odpisy účetní, opravy, popř. prostředky účelově určené pro obnovu tímto plánem).

++ Finanční prostředky ostatní - jedná se o jiné než získané z vodného a stočného; v komentáři vlastník popíše způsob členění a stanovení této hodnoty (např. dotace, zdroje z příjmů obcí, úvěry atd.).

Stanovení hodnoty majetku lze provést pomocí vyhlášky 441/2013 Sb. (Oceňovací vyhláška) nebo pomocí Metodického pokynu Ministerstva zemědělství „Pro orientační ukazatele výpočtu reprodukční ceny objektů do Vybraných údajů majetkové evidence vodovodů a kanalizací a pro Plány financování obnovy vodovodů a kanalizací“. Tato metodika vychází z Oceňovací vyhlášky vychází a doplňuje ji. [4]

Ceny uvedené ve výše zmíněném metodickém pokynu vycházejí z cenové úrovně roku 2009. Při výpočtu aktuální pořizovací ceny se vychází z technických parametrů objektu (např. délka a profil potrubí) a cenového ukazatele. Dále ovlivňuje pořizovací cenu objekty vliv velikosti obce či města a způsob uložení potrubí (zpevněná nebo nezpevněná plocha). Do výpočtu ceny se nepromítá stáří jednotlivých objektů. [4]

Výsledná cena objektu (v Kč) se vypočítá podle jednoho z následujících vzorců: [4]

- Pro měrný cenový ukazatel:

$$C_{TO} = k \cdot tp \cdot C_{mu} \quad (2)$$

- Pro cenový ukazatel:

$$C_{TO} = k \cdot C_u \quad (3)$$

Kde:

- C_{TO} - cena objektu v Kč
- k - koeficient velikosti obce
- tp - technické parametry objektu (např. m, bm, m³...)
- C_{mu} - měrný cenový ukazatel
- C_u - cenový ukazatel

Koeficienty velikosti obce udává metodický pokyn následující:

Tabulka 3: Koeficienty velikosti obce k [4]

Název, respektive skupiny měst a obcí	Koeficient k
Praha, Brno, Ostrava	1,20
Ostatní statutární města a katastrální území lázeňských míst typu A – uvedená v tabulce č. 2 přílohy č. 13 vyhlášky o oceňování majetku	1,10
Města, která byla k 31. prosinci 2002 sídly okresních úřadů a katastrální území lázeňských míst typu B – uvedená v tabulce č. 2 přílohy č. 13 vyhlášky o oceňování majetku	1,05
Ostatní města	1,00
Ostatní obce	0,85

Měrné cenové ukazatele pro vodovodní potrubí se liší podle materiálu potrubí, průměru potrubí a způsobu uložení. Jedním u uvedených materiálů je litina (bez bližší specifikace). Vzhledem k tomu, že se v současnosti potrubí z šedé litiny k obnově

vodovodních sítí nepoužívá, lze předpokládat, že materiálem litina je myšlena litina tvárná. Hodnoty měrných cenových ukazatelů podle metodiky jsou následující:

Tabulka 4: Měrné cenové ukazatele C_{mu} v Kč/bm potrubí [4]

DN	materiál potrubí											
	litina ⁴⁾		ocel		PVC PE		beton		sklolaminát		azbestocement	
	z ⁵⁾	n ⁶⁾	z	n	z	n	z	n	z	n	z	n
mm	C_{mu} v Kč/bm potrubí											
50	3640	2460	2990	1890	2630	1890					2490	1780
80	4000	2890	3410	2170	3190	2200					2750	1920
100	4400	3030	3580	2270	3610	2400					2940	2050
150	4920	3330	3890	2450	4270	2890	4460	3060	4980	3580	3120	2150
200	5460	3690	4380	2730	4930	3380	4630	3120	5420	3980	3250	2260
250	6000	4070	4900	3100	5460	3800	5100	3440	5960	4480	3580	2450
300	6710	4610	5340	3390	6010	4150	5510	3700	6680	4900	3850	2700
400	9010	6560	7220	4880			6880	4750	8630	6150	4810	3520
500	11400	8500	8520	5930			7910	5580	10380	7430	5530	4140
600	13510	10270	10300	7410			9590	6880	12180	8860	6800	5240
800	18320	14440	13870	10490			12280	9080	15360	11770		
1000	23760	19170	17290	13430			15240	11440	19380	15290		
1200	28970	23690	20900	16520			18120	14070	25520	20800		
1400	37760	31520	24320	19430			23170	18700	33260	27490		
1600			28000	22170								

⁴⁾ pro stanovení jednotkové ceny pro potrubí z tvárné litiny s vnější ochranou je třeba uvažovat koeficient $k_{iv} = 1,13$

⁵⁾ jednotková cena je určena pro potrubí uložené ve zpevněných plochách

⁶⁾ jednotková cena je určena pro potrubí uložené v nezpevněných plochách a v extravilánu

Největší problém při stanovení aktuální pořizovací ceny pomocí této metodické příručky Ministerstva zemědělství je uvažovaná cenová hladina z roku 2009. V závěru metodické příručky je sice uvedeno, že cenová hladina bude průběžně aktualizována, ale na oficiálních webových stránkách ministerstva je pořád pouze verze z roku 2009, tj. cenová hladina je již přes 9 let stará. Při kontaktování odpovědných pracovníků Ministerstva zemědělství s dotazem, zda existuje aktuální verze metodické příručky, byl zaslán odkaz na stejnou cenovou tabulku uvedenou výše. [18]

PFOVK slouží vlastníkovvi při plánování obnovy jeho stávajícího vodohospodářského majetku a koordinaci stavební činnosti v oblasti vodního hospodářství. Základním kritériem pro hodnocení stupně opotřebenív vodohospodářského majetku je jeho stáří a předpokládaná životnost jednotlivých zařízení. Hlavním cílem PFOVK je především zajištění nutné obnovy pro stabilní a efektivní provozování vodohospodářského majetku vlastníka a zajištění nezbytné udržitelnosti vodohospodářského majetku vlastníka bez dotačního financování. Cílem PFOVK není řešení rozvoje infrastruktury a její nové výstavby. Údaje z PFOVK slouží jako jeden z podkladů při tvorbě ceny vodného a stočného. Finanční prostředky vybrané pro obnovu lze použít pouze na účel, pro který byly vytvořeny, tj. pouze na obnovu vodovodů a kanalizací.

Za nevypracování PFOVK hrozí vlastníkovvi infrastruktury pokuta podle paragrafu 33 zákona 274/2001 Sb. do výše 10 000 Kč. [3]

2.1.2 Metodika společnosti DHI

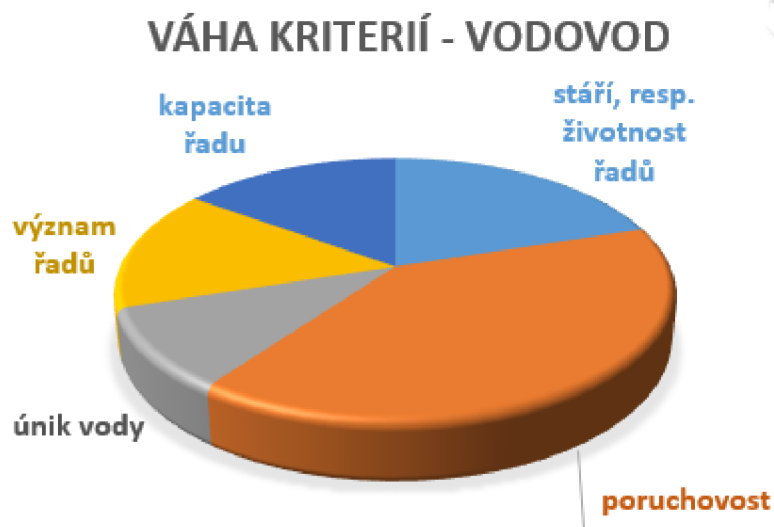
Problematikou dlouhodobých plánů obnovy vodovodní a kanalizační sítě se zabývá i společnost DHI a.s. Tato společnost vyvinula vlastní metodiku pro plánování obnovy v časovém horizontu 20-50 let. Metodika byla aplikována v Praze a nejvýznamnějších městech spravovaných SVS a.s. a provozovaných SČVK a.s. Další aplikace proběhla v Olomouci jako součást Generelu vodohospodářské infrastruktury. Z dalších měst lze uvést například Mariánské Lázně nebo Tábor. Tato metodika se skládá ze dvou dílčích částí: Vyhodnocení technického stavu sítě a Nástroje pro plánování rekonstrukcí. [5]

Část vyhodnocení technického stavu sítě je založena na multikriteriální analýze, přičemž volba kritérií a způsob jejich vyhodnocení jsou plně volitelné. Metodika pracuje s jednotlivými technickými ukazateli (TU), kterým je vždy přiřazena váha (významnost) podle významu pro technický stav sítě a plánování rekonstrukcí. Technické ukazatele lze zvolit zcela libovolně, nicméně hlavní doporučené ukazatele pro vodovody jsou následující [5]:

- Poruchovost
- Stáří (životnost)
- Kapacita řadu
- Význam řadu
- Únik vody

Mezi další přidané technické ukazatele lze zařadit např. inkrustaci, provozní rizika, obtížnost provádění oprav, přetížení systému. Často se také používá kritérium koordinace s jinými liniovými stavbami. [5]

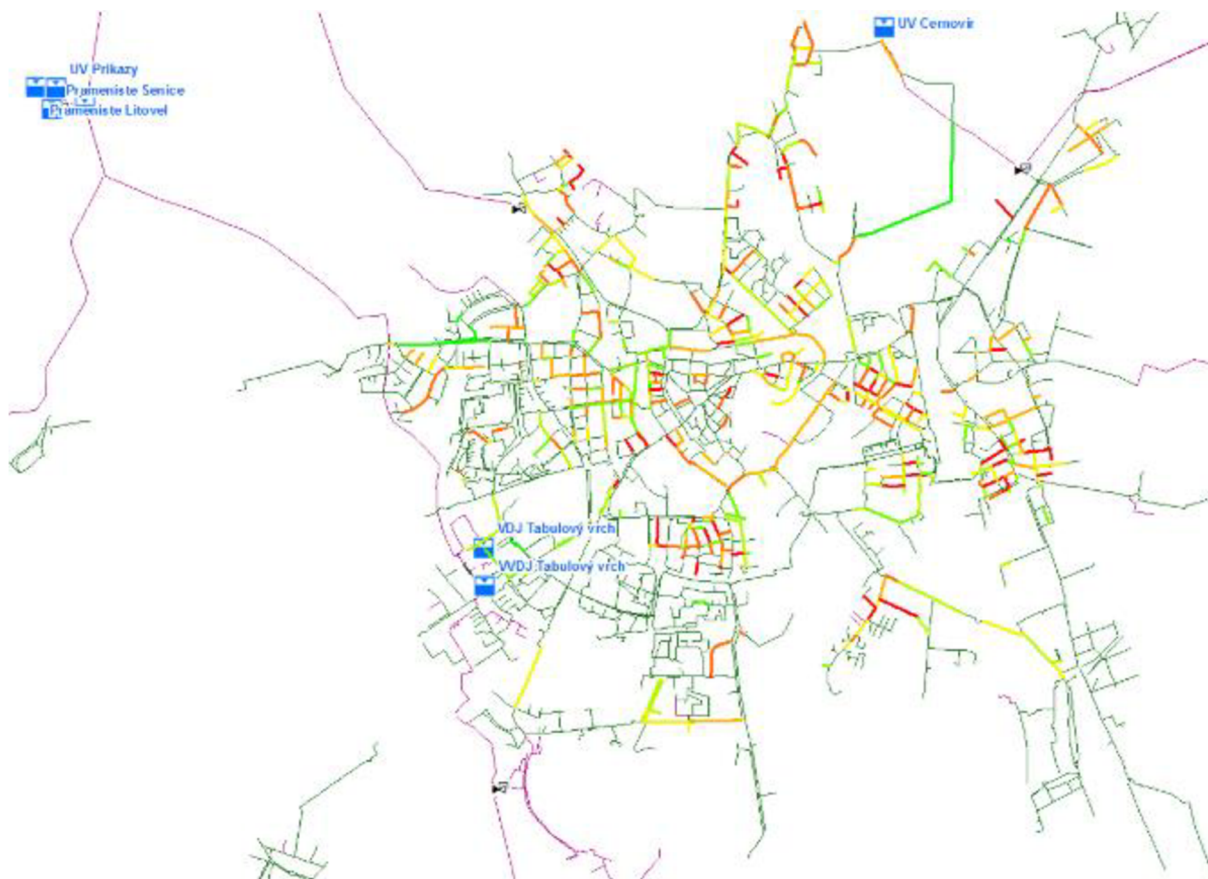
Po provedení hodnocení jednotlivých technických ukazatelů se provede součet vážených bodů (jejich maximální počet je obvykle 1000). Podle počtu bodů je stanovena priorita jednotlivých úseků, která určuje časový požadavek na investice nebo opravy vodovodní sítě. Obvyklý limit pro zařazení úseku do plánu investic se je překročení hranice 550 až 610 bodů. Hodnocené technické ukazatele jsou určovány na základě dat z GIS (stáří řadu, materiál, poruchovost atd.) Údaje týkající se provozu sítě (poruchovost, výsledky kamerových prohlídek kanalizace apod.) jsou získávány z databáze technickoprovozní evidence. [5]



Obrázek 1: Kritéria a jejich váha pro hodnocení technického stavu vodovodu [5]

Nástroj pro plánování rekonstrukcí pracuje v prostředí platformy MIKE INFO. Tento software disponuje celou řadou funkcionalit GIS, časových řad, skriptů, tabulek atd. Software je schopen zpracovávat i externí datové zdroje (např. GIS, MS Excel apod.) Výhodou softwaru je možnost průběžné aktualizace technických ukazatelů a parametrů výpočtu. Tyto aktualizace umožňují využívat software jako nástroj soustavného sledování stavu sítě a jako součást uceleného řešení koncepce rozvoje území. Pomocí nástroje lze sledovat a vyhodnocovat vliv různých investičních variant, které liší objemem finančních prostředků určených na obnovu. Zároveň lze pomocí nástroje vybrat investičně a provozně optimální variantu (tempo obnovy sítě), což znamená optimalizaci využití investičních prostředků vlastníků infrastruktury. [5]

Jedním ze základních výstupů je mapa plánu rekonstrukce. V této mapě je přehledně zobrazen technický stav jednotlivých úseků pomocí barevné stupnice. Obdobně lze zobrazit výstupy pro technické ukazatele, jejichž vývoj se mění v čase v závislosti na strategii obnovy sítě.



Obrázek 2: Výstup – Mapa plánů rekonstrukce [5]

Plán obnovy je obvykle vytvářen ve více investičních variantách s cílem vybrat tu nejlepší z nich (maximální provozní úspory a optimální technické parametry sítě). Případné dopady vybrané varianty strategie obnovy lze vyhodnotit jednak pro jednotlivé roky a jednak v podobě celkových ukazatelů, jako jsou například:

- Průměrné tempo rekonstrukce
- Celková a průměrná výše investičních nákladů
- Trend stárnutí sítě
- Trend vývoje nákladů na opravu a na úniky vody [5]

2.1.3 Metodiky používané vodárenskými společnostmi v ČR

Pro zjištění způsobu, jakým dlouhodobé plány obnovy vodovodních sítí zpracovávají vodárenské společnosti v České republice bylo osloveno 30 největších vodárenských společností v ČR (podle množství vyrobené pitné vody za rok 2016). Z navrácených odpovědí vyplývá, že ne každá vodárenská společnost se problematikou dlouhodobých plánů obnovy zabývá. Většina vodárenských společností se zabývá problematikou obnovy pouze do takové doby, do jaké je jejich zákonná povinnost (tj. zpracovávají PFOVK na 10 let dopředu).

Některé společnosti používají ke zpracování PFOVK pouze teoretickou životnost podle materiálu potrubí, u některých dochází k upravení této životnosti na základě dalších provozních ukazatelů (nejčastěji poruchovosti).

Z odpovědi nadále vyplývá, že dalším faktorem, který má často významný vliv na plánování obnovy sítě je koordinace s dalšími stavbami. Ať už s opravou dalších sítí (např. kanalizace, plynovod) nebo s opravou vozovky.

2.1.3.1 Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s.

Nejpodrobnější vlastní metodika k dlouhodobým plánům obnovy byla poskytnuta Severomoravskými vodovody a kanalizacemi Ostrava a.s. U vodovodních přivaděčů probíhá plánování obnovy i pro delší časový horizont, než je 20 let. Pro distribuční síť dochází pouze k plánování finančních objemů a procenta rekonstruované sítě. Plánování probíhá na základě vlastní multikriteriální metodiky. [13]

Metodika rozlišuje, zda se jedná o dálkovou vodovodní síť (přivaděče a strategické řady) nebo o rozváděcí vodovodní síť. Pro každou variantu jsou určeny potřebné hodnocené ukazatele a jejich váhy. Pro dálkovou vodovodní síť se jedná o ukazatele (v závorce jsou uvedeny váhy v %):

- T1 – Zbytková tloušťka stěny potrubí (60 %)
- T2 – Stáří a materiál potrubí (10 %)
- T3 – Dynamika poruch (10 %)
- P1 – Kapacita úseku (5 %)
- V1 – Nahraditelnost úseku při dlouhodobém odstavení (5 %)
- O1 – Důlní vlivy (10 %)

Každý ukazatel má pak určené číselné hodnocení podle odpovídajícího stavu. K hodnocení dochází na základě podkladů z databáze GIS. V současnosti probíhá snaha o co nejpodrobnější doplnění databáze GIS, aby mohl výpočet hodnocení probíhat automaticky pro všechny hodnocené úseky. [13]

2.2 METODIKY POUŽÍVANÉ V ZAHRANIČÍ

Strategii dlouhodobého plánování obnovy sítí vodárenské infrastruktury lze vnímat jako snahu o zabránění zhoršování technického stavu infrastruktury jako celku. V současné době existuje několik modelů a metodik, které slouží k usnadnění rozhodování a vytváření dlouhodobých plánů. Každý z těchto modelů pracuje s jedním nebo více základními ukazateli sítě. Těmito ukazateli jsou: ekonomika, hydraulika, kvalita dodávané vody a spolehlivost sítě. Ideální model by měl brát v úvahu kombinaci všech těchto ukazatelů, ale složitost a

komplexnost při plánování ideální model téměř vylučuje. Existují však různé modely, které různé míře kombinaci zmíněných faktorů využívají. Nejčastějšími problémy při zpracovávání plánů obnovy jsou: nedostatek potřebných dat, velká nejistota výstupů a „nekonečný“ cyklus obnovy a stárnutí sítě. Obecně lze modely rozdělit do tří skupin na modely zhoršení stavu potrubí, modely celkového hodnocení potrubí a modely optimálního rozhodování obnovy. [6]

2.2.1 Modely zhoršení stavu potrubí

Tyto modely vycházejí z technického stavu posuzovaného potrubí. Způsobů, jak hodnotit technický stav potrubí existuje několik a mohou se lišit v závislosti na materiálu potrubí, klimatických a geografických podmínkách, geologických podmínkách. Tyto způsoby lze dále rozdělit na Fyzikálně založené modely, Statistické modely a Data Mining modely (modely získávání dat). [6]

Fyzikálně založené modely se většinou zabývají korozi stěn potrubí či zbytkovou únosností potrubí. Největším problémem těchto modelů je obtížné získávání dat. Data o fyzikálním stavu potrubí se vzhledem k nepřístupnosti potrubí téměř nedají získat, nebo je jejich získání velmi nákladné. Proto je nutné data často odhadovat a jejich ověření se provádí jenom u velmi významných vodovodních řadů. [6]

Statistické modely jsou používány ke kvantifikování a předpovězení poruchovosti a životnosti potrubí. Většinou dochází k rozdělení jednotlivých vodovodních řadů do skupin podle stejných nebo podobných vlastností (provozních, environmentálních a fyzikálních). Statistické modely většinou předpovídají pravděpodobnost a frekvenci poruchy na základě vyhodnocení historické řady dat a za předpokladu, že budoucí poruchy budou mít stejný průběh, jako vyhodnocované historické poruchy. Především kvůli tomu nemají statistické modely vždy dobré výsledky. Některé statistické modely ovšem slouží jako základ k později vyvinutým Data Mining modelům. [6]

Data Mining modely spočívají ve vyhledávání vzorů ve velkých datových sadách, které umožňují extrahování informací z datové sady a rozvíjení nejdůležitějších vztahů v datové sadě. Datové sady většinou obsahují informace o materiálu potrubí, jeho stáří, délce, průměru, historii poruch. Tato data jsou snadno zjistitelná pro většinu vodárenských společností. Modely pracují na bázi neuronových sítí a genetických algoritmů. Data Mining modely dosahují lepších výsledků než statistické modely. [6]

2.2.2 Modely celkového hodnocení potrubí

Modely celkového hodnocení potrubí mají za cíl ohodnotit potřebu obnovy potrubí. Na rozdíl od předchozích modelů neberou v potaz pouze technický stav potrubí, ale berou v potaz i významnost potrubí. Významností se rozumí vliv konkrétního potrubí na celý

vodovodní systém. Tyto modely vycházejí z několika různých scénářů a kombinací vlivů hydraulických a fyzikálních faktorů na celý systém. Jejich cílem je stanovení priorit obnovy jednotlivých částí systému. [6]

2.2.3 Modely optimálního rozhodování

Modely optimálního rozhodování kladou velký důraz na ekonomickou stránku obnovy. Finance potřebné na obnovu jsou u předchozích modelů zcela opomíjeny, nebo skryty v pozadí, jako málo významná součást hodnocení. Cílem optimalizačních modelů je pomocí optimalizačních algoritmů najít ideální řešení mezi pozitivními přínosy obnovy (zvýšení kvality vody, zlepšení hydraulických podmínek, snížení ztrát vody, zvýšení spolehlivosti celého systému atd.) a náklady potřebnými pro tyto přínosy. [6]

2.2.4 Plánování obnovy na základě spolehlivosti spolehlivosti systému

Marianna D'Ercole a tým jejích spolupracovníků z univerzit v Itálii a Norsku publikovali metodu plánování obnovy založenou na spolehlivosti systému [7]. Spolehlivost je definována jako schopnost systému plnit požadovanou funkci při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů. Sledovanými ukazateli jsou nedostatečný tlak v potrubí a snížená nebo přerušená dodávka vody. [7]

Metoda spočívá v simulování poruch v jednotlivých částech sítě (větvích a uzlech) a jejich různých kombinací a následném vyhodnocení rizik, které simulované poruchy představují. Postup při provádění je následující. Nejprve je potřeba vytvořit hydraulický model posuzovaného systému pomocí nástroje WNetXL. Pomocí tohoto nástroje je poté provedena hydraulická analýza systému a simulace poruch, jejímž výsledkem je seznam kritických částí sítě. [7]

Následně je vypočítáno riziko, jako součin poruchovosti kritického úseku λ a celkových následků poruchy kritického úseku c_{tot} . Celkové následky jsou počítány, jako součin následků způsobených nedostatečným tlakem a nedostatečnou dodávkou vody. Výsledkem je seřazení kritických částí od největšího rizika k nejmenšímu. [7]

Jako poslední krok je provedeno plánování obnovy na základně dostupných finančních prostředků tak, aby po provedení obnovy bylo zbylé riziko co nejmenší. [7]

Tato navrhovaná metodika byla vyzkoušena na italském městě Laives. Toto město se nachází v provincii Bolzano a má zhruba 18 000 odběratelů pitné vody. Vodovodní síť města je rozdělena na 3 tlaková pásma. Z materiálu potrubí převládá tvárná litina (58 %), šedá litina (37 %), zbytek tvoří plastová potrubí z PE a PVC.

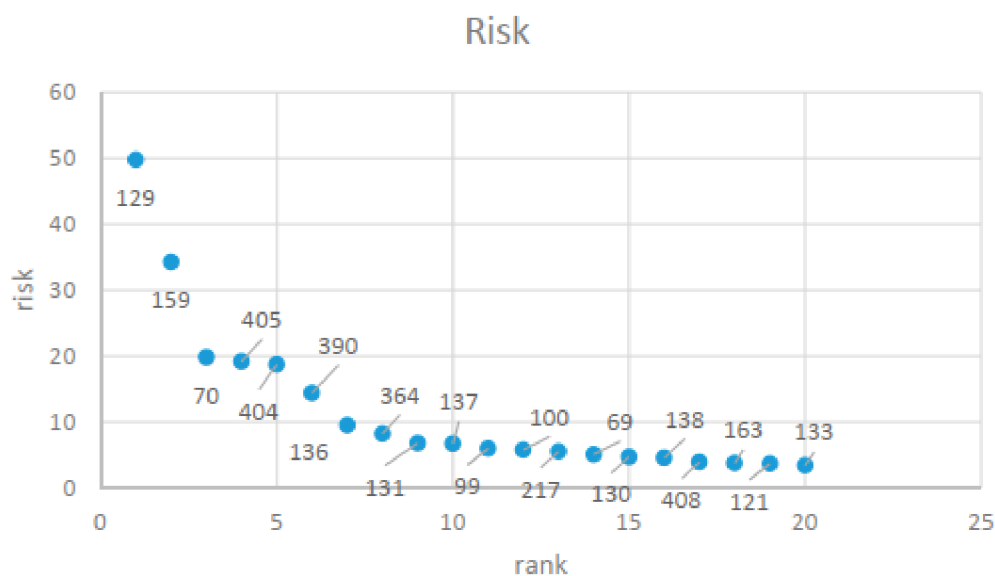
Pro provedení hydraulické analýzy pomocí WNetXL byla vodovodní síť rozdělena na 375 uzlů a 439 větví. Výsledkem hydraulické analýzy a simulace poruch byl seznam nejvýznamnějších poruch a počet uzlů, které daná porucha ovlivňuje.

Tabulka 5: Nejvýznamnější poruchy v případové studii města Laives [7]

<i>rank</i>	<i>Unsupplied demand</i>		<i>Pressure deficit (reference value PRser)</i>	
	Failure event	Number of affected node	Failure event	Number of affected node
1	48	34	306	54
2	59	29	321	54
3	321	29	59	45
4	306	28	101	42
5	101	20	85	40
6	347	16	87	37
7	348	16	90	37
8	335	14	88	35
9	26	13	93	35
10	310	13	48	34

První sloupec značí hodnocení poruchy (seřazené od nejvýznamnější směrem dolů), v druhém sloupci jsou zobrazeny poruchy mající vliv na nedostatečnou dodávku vody, v druhém sloupci jsou poruchy, které zapříčiňují nedostatečný tlak. U obou typů poruch je zobrazeno číslo poruchy a počet ostatních uzlů, které daná porucha ovlivňuje. Z tabulky je vidět, že poruchy spolu nemusí přímo souviset. Například porucha číslo 48 je první ve sloupečku nedostatečná dodávka vody, ale zároveň až desátá v sloupečku nedostatečný tlak. Zároveň posledních 5 poruch ze sloupce nedostatečná dodávka vody se v druhém sloupci vůbec nevyskytuje. [7]

Na základě těchto poruch bylo vypočteno riziko pro kritická místa v síti pomocí způsobu zmíněného výše. Tato rizika byla následovně seřazena od největšího k nejmenšímu viz následující obrázek. Na ose x je zobrazeno pořadí, na ose y je vypočítané riziko. Čísla u jednotlivých bodů představují ID potrubí z hydraulického modelu.



Obrázek 3: Dvacet nejvýznamnějších rizik seřazených podle velikosti [7]

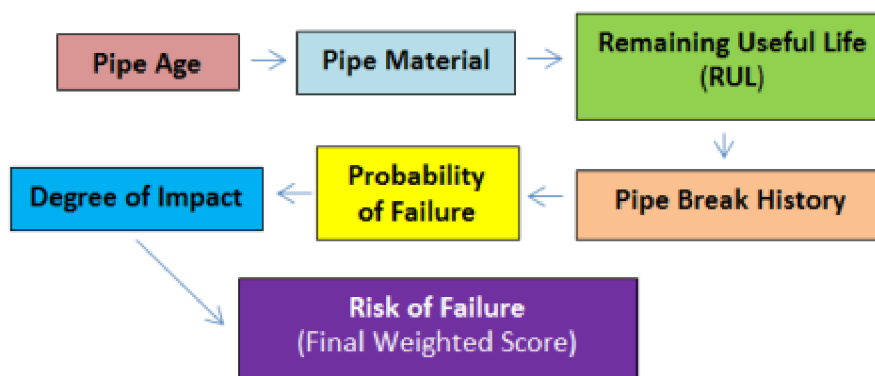
Tato metoda vznikla jako součást většího projektu, zabývajícího se optimalizací výkonu vodárenských systémů. Z provedené případové studie lze posoudit velký vliv poruchovosti (λ) na hodnotu rizika. Největším problémem při provádění studie bylo nedostatečné množství dat především pro výpočet poruchovosti. Autoři doporučují pro výpočet používat historickou řadu dat trvající nejméně 10 let. Na vývoji metodiky se stále pracuje, další možností rozšíření je hodnocení poklesu rizik po provedení obnovy. [7]

2.2.5 Metoda hodnocení rizik

Posuzováním rizik se zabývá i další metoda plánování obnovy. Na rozdíl od předchozí popsané metody však komplexněji zohledňuje technický stav potrubí. Tato metoda byla publikována Janem Carlem Deverou z California Polytechnic State University. [8] Cílem při vytváření této metody bylo poskytnutí jednoduché a ekonomicky dostupné metody, kterou by bylo možné aplikovat na jakékoliv vodovodní síť. Metoda je založena na původním modelu vyvinutém společností Water Systems Consulting Inc. v Kalifornii, který dále rozvíjí. Hlavními funkcemi metody jsou hodnocení technického stavu vodovodních sítí, předpovídání poruch a stanovení priorit pro obnovu částí sítě na základě vyhodnocených rizik. [8]

Výpočet hodnocení rizika je založen na dvou základních částech a to na: výpočtu zbytkové životnosti potrubí a na důležitosti posuzované části v celém systému. Zbytková životnost se vypočítá na základě technických údajů o potrubí jako jsou materiál, stáří či poruchovost. Na základě zbytkové životnosti je pak jednotlivým posuzovaným částem přiděleno skóre pravděpodobnosti poruchy. Důležitost je posuzována podle polohy potrubí v síti, hydraulických vlastností, ekonomického významu apod. Na základě důležitosti je pak

posuzovanému úseku přiděleno skóre stupně dopadu. Výsledné hodnocení je kombinací výsledků ze skóre pravděpodobnosti poruchy a skóre stupně dopadu. [8]



Obrázek 4: Schéma výpočtu hodnocení rizik [8]

Pro lepší představu je postup výpočtu zobrazen na předchozím obrázku (postupně: Stáří potrubí, Materiál potrubí, Zbytková životnost, Historie poruchovosti, Pravděpodobnost poruchy, Stupeň dopadu a výsledné Riziko poruchy).

Výpočet zbytkové životnosti vychází z předpokládané životnosti potrubí podle materiálu. Životnosti uvažované pro výpočet jsou uvedeny v následující tabulce. Pro výpočet se vychází z hodnot v posledním sloupci – Předpovídaná životnost podle zkušeností provozovatelů. Metodika počítá i s variantou neznámého materiálu, kterému přiřazuje životnost 50 let.

Tabulka 6: Životnost potrubí podle materiálů v rocích [8]

Materiál	Životnost podle výrobců	Předpovídaná životnost podle provozovatelů
Šedá litina	50-100	75
Tvárná litina	75-125	100
Ocel	30-75	40
PVC	50-150	100
Azbestocement	75-125	100
Neznámý	50-150	50

Zbytková životnost se vypočítá jako rozdíl mezi životností potrubím a jeho stářím. Takto vypočítána zbytková životnost je ještě upravena na základě poruchovosti řadu. Poruchovost se vyhodnocuje na základě 20leté historické řady a zaznamenávají se významné poruchy. Podle počtu poruch za tuto dobu je zbytková životnost procentuálně snížena (viz následující tabulka).

Tabulka 7: Úprava zbytkové životnosti podle poruchovosti [8]

Původní životnost	Historie poruch (minimálně 20 let)				Počet poruch
	Žádná porucha	1 porucha	2 poruchy	3 a více poruch	
	100 %	30 %	20 %	10 %	
100	100	30	20	10	Upravená zbytková životnost
90	90	27	18	9	
80	80	24	16	8	
70	70	21	14	7	
60	60	18	12	6	
50	50	15	10	5	
40	40	12	8	4	
30	30	9	6	3	
20	20	6	4	2	
10	10	3	2	1	

Na základě upravené zbytkové životnosti je přiděleno skóre pravděpodobnosti poruchy (Probability of Failure – PF). Toto skóre je udělováno podle následující tabulky.

Tabulka 8: Skóre pravděpodobnosti poruchy – PF [8]

Zbývající životnost	Skóre pravděpodobnosti poruchy (PF)	Úroveň rizika	
<2	10	velká	
2-4	9	↑ ↓	
4-6	8		
6-8	7		
8-10	6		
10-12	5		
12-14	4		
14-17	3		
17-19	2		
> 20	1		malá

Druhá část hodnocení, Stupeň dopadu (Degree of Impact – DI), se stanovuje na základě 6 dílčích částí. Těmito částmi jsou:

- Uložení potrubí
- Vliv na dopravu

- Dopravované množství vody
- Odhadovaná cena obnovy
- Významní odběratelé
- Materiál potrubí

Uložením potrubí se má na mysli způsob využití povrchu nad potrubím. Jako nejméně závažné je hodnoceno uložení v zeleni (parky, zemědělské plochy apod.) a za nejvíce závažné je považováno uložení v hojně využívaných komunikacích. [8]

Vliv na dopravu je posuzován podle významnosti komunikace, ve které je potrubí uloženo. Při obnově potrubí se předpokládá uzavření komunikace a omezení dopravy. Komunikace jsou rozděleny do 5 kategorií podle významu na Místní ulice, Hlavní ulice, Vedlejší obchvaty, Hlavní obchvaty a Nejvýznamnější městské ulice. [8]

Čím je větší množství dopravované vody hodnoceným úsekem potrubí, tím je daný úsek pro posuzování významnější. Posuzované jsou průměrné denní průtoky. [8]

Odhadovaná cena je závislá na materiálu a průměru potrubí, na hloubce uložení, materiálu povrchu apod. Metodika vychází ze zpracovaných ceníků, čím je cena vyšší, tím je daný úsek pro posuzování významnější. [8]

U významných odběratelů platí, že čím více významných odběratelů se v posuzovaném úseku vyskytuje, tím je daný úsek významnější. Počet významných odběratelů je rozdělen do 5 skupin viz následující tabulka. [8]

Metodika uvádí rozdílné priority výměny potrubí také podle jeho materiálu. Nejmenší prioritu pro výměnu má potrubí z PVC a azbestocementu, naopak největší šedá litina a neznámé potrubí. [8]

Skóre Stupně dopadu se stanovuje podle následující tabulky. Pro každou část se stanoví její dílčí skóre a celkové DI skóre se stanoví jako součet jednotlivých dílčích částí.

Tabulka 9: Hodnocení skóre DI [8]

Sledované kritérium	Skóre DI				
	1	2	3	4	5
Uložení potrubí	Otevřené plochy, zemědělské plochy	Nízká hustota zástavby	Střední hustota zástavby	Vysoká hustota zástavby	Významná komerční a kancelářská výstavba
Vliv na dopravu	Místní ulice	Hlavní ulice	Vedlejší obchvaty	Hlavní obchvaty	Nejvýznamnější městské ulice
Množství vody [l/s]	< 12.1	12.1-24.2	24.2-36.3	36.3-48.4	>48.4
Cena obnovy [Š]	< 26 440	26 440-52 882	52 882-79 322	79 322-105 762	> 105 762
Významní odběratelé	žádný	1	2	3	> 4
Materiál	PVC, azbestocement	Tvárná litina	Ocel	Pozinkovaná ocel	Šedá litina, neznámý materiál

Celkové riziko se stanovuje jako součin Pravděpodobnosti poruchy (PF) a Stupně dopadu (DI). Hodnota vypočteného celkového rizika se posuzuje podle sestavené matice rizik. V jednotlivých řádcích jsou hodnoty PF, ve sloupcích hodnoty DI.

		Total Impact Score																															
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
Probability of Failure Score	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60				
	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90				
	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120				
	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150				
	6	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180				
	7	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189	196	203	210				
	8	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240				
	9	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	234	243	252	261	270				
	10	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300				
																																Risk of Failure Score (RFS)	

Obrázek 5: Matice rizik [8]

Modrou barvou jsou v matici vyznačeny hodnoty menší než 20, které představují velmi malé riziko, zelenou barvou hodnoty mezi 21 a 70, které představují malé riziko. Střední riziko představují oranžové hodnoty mezi 71 a 150 a vysoké riziko představují červené hodnoty větší než 150.

Tabulka 10: Vyhodnocení rizika [8]

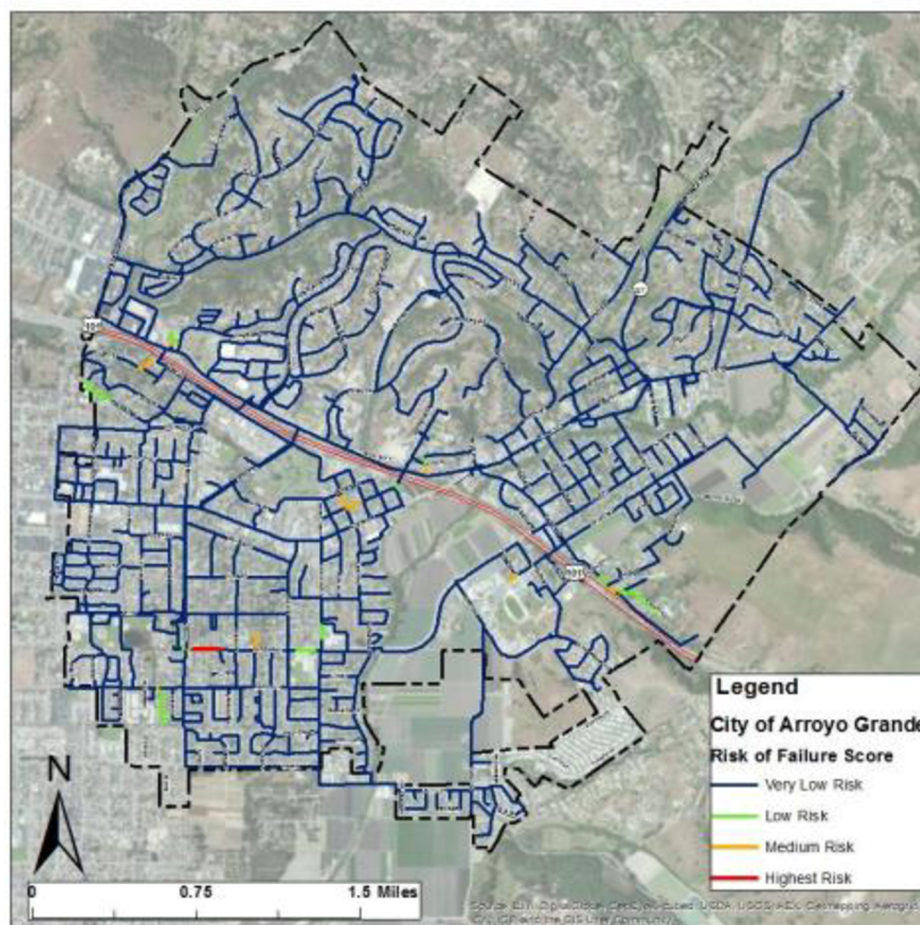
Skóre DI	Barva	Úroveň rizika
≤ 20	modrá	velmi nízká
21-70	zelená	nízká
71-150	oranžová	střední
≥ 151	červená	vysoká

Pro výše popsanou metodiku byla provedena i případová studie. Ta se zabývala vyhodnocením vodovodní sítě města Arroyo Grande. Toto město se nachází ve státě Kalifornie v USA a má cca 18 000 obyvatel. Ačkoliv teoreticky lze výše popsanou metodiku provádět ručně, vzhledem k množství dat se doporučuje využít ke zpracování vhodný software. V tomto případě byly pro provedení použity programy WaterCAD a ArcGIS. Hydraulický model vytvoření v programu WaterCAD byl poskytnut společností Water Systems Consulting, Inc. Tento model obsahoval 3572 vyhodnocovaných úseků. Ke každému úseku byla přiřazena potřebná hydraulická a technická data. WaterCAD umožňuje export těchto dat pro další zpracování v programu ArcGIS. Software ArcGIS byl použit proto, že umožňuje další zpracování těchto dat a následně jejich vizuální zobrazení.

Hlavním výsledkem provedení případové studie je mapa celé vodovodní sítě města Arroyo Grande s barevným rozlišením jednotlivých výsledků (viz následující obrázek). Kromě této mapy lze samozřejmě získat i jednotlivé vypočítané hodnoty.

Naprostá většina vyhodnocované vodovodní sítě byla označena jako velmi nízké riziko, vyskytují se však i nejhorší možná dosažitelná hodnota – nejvyšší riziko. [8]

Největším úskalím této metodiky je podle autora získávání potřebných dat pro výpočet. Jinak se jedná o metodiku jednoduchou, lehce proveditelnou a ekonomicky nenáročnou. K provedení se doporučuje používat GIS softwary, které umožňují přehledné vizuální zobrazení výsledků a jejich interpretaci i neodborné veřejnosti.



Obrázek 6: Výsledky případové studie Arroyo Grande [8]

2.2.6 CARE-W

Projekt CARE-W (Computer Aided REhabilitation of Water network) je projekt z období let 2001-2004. Projekt byl řešen v rámci 5. rámcového programu vědy a výzkumu EU a bylo do něj zapojeno 11 partnerů ze 7 evropských zemí. Česká republika byla zastoupena Ústavem vodního hospodářství obcí z Fakulty stavební, VUT v Brně. [1]

Součástí projektu CARE-W je modul LTP (Long-term Rehabilitation Planning and Investment), který se zabývá vytvářením dlouhodobých plánů obnovy vodovodních sítí. Modul je tvořen třemi samostatnými nástroji: Scenario Writer (SW), Rehab Strategy Manager (RSM) a Rehab Strategy Evaluator (RSE).

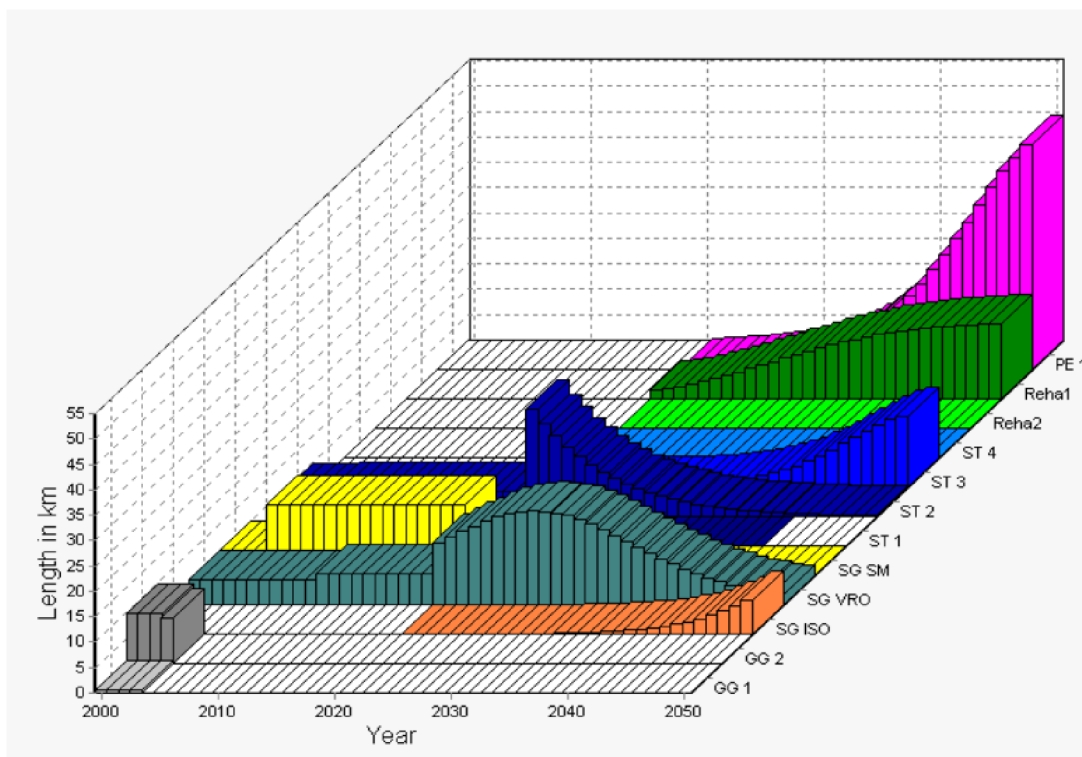
Nástroj Scenario Writer využívá takzvanou matici vzájemných vlivů, ve které je popsán vliv jednotlivých klíčových faktorů. Mezi tyto klíčové faktory patří například: Počet zásobovaných obyvatel, Specifická spotřeba, Délka potrubí na obyvatele či Procento vody fakturované. U vztahů mezi jednotlivými faktory lze definovat směr a intenzitu vzájemného

vztahu a tyto vztahy lze zároveň definovat jako přímo úměrné či inverzní. Matice vzájemných vztahů může obsahovat až 20 klíčových faktorů. [1]

Stěžejní částí modulu LTP je nástroj Rehab Strategy Manager. Nástroj využívá matematického modelu životnosti potrubí, umožňuje předpovídat potřeby obnovy a analyzovat různé strategie obnovy sítě. Potřebná vstupní data pro výpočet jsou: rok položení, délka, kategorie potrubí (většinou podle materiálu potrubí), funkce stárnutí sítě, poruchovost, míra ztrát vody. [1]

Nástroj RSM umožňuje tři základní typy prognóz:

- Předpověď potřeb obnovy sítě v budoucnu
- Definování strategie obnovy sítě bez výpočtu investic
- Definování strategie obnovy sítě s výpočtem investic



Obrázek 7: Ukázka výstupu z nástroje RSM [10]

Na předchozím grafu je zobrazen možný výstup z nástroje RSM – budoucí objemy rekonstrukcí v návaznosti na program rekonstrukce s ohledem na střední křivku životnosti potrubí. Na jednotlivých osách jsou zobrazeny: délka potrubí v km, roky a jednotlivé kategorie potrubí. [10]

Posledním nástrojem modulu LTP je nástroj Rehab Strategy Evaluator. Tento nástroj slouží k výběru nejvhodnější strategie obnovy na základě metody třídění a vah. Nástroj porovnává strategie importované z nástroje RSM. Uživatel má možnost zadat omezení pro jednotlivý posuzovaná kritéria (míra obnovy sítě, průměrné stáří, investiční náklady...). Dále dojde k porovnávání jednotlivých strategií po dvojicích a k sestavení finálního pořadí. [1]

3 NÁVRH VLASTNÍ METODIKY

3.1 METODIKA TEA WATER

Navrhovaná metodika dlouhodobých plánů obnovy vychází z metodiky použité pro hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury aplikací TEA Water (TEchnical Audit of Water Distribution System). Aplikace TEA Water byla vyvinuta na UVHO v rámci výzkumných projektů. Aplikace je dostupná na webových stránkách www.teawater.cz.

Metodika aplikace TEA Water vychází z obecné metody FMEA. Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je metodou analýzy spolehlivosti, která umožňuje semi-kvantitativní hodnocení poruch s významnými důsledky ovlivňujícími funkci systému a jeho prvků. Aby bylo možné hodnotit vodárenské systémy pomocí metody FMEA, je potřeba určit jednotlivé technické ukazatele (TU) pro jednotlivé části a objekty vodovodní sítě. Pro tyto technické ukazatele je pak potřeba stanovit způsoby jeho určení, potřebná vstupní data, fyzikální rozměr a způsob hodnocení a prezentace. [12]

Vzhledem k pestrosti a rozmanitosti vodárenských systémů je metodika rozdělena na následující moduly, které odpovídají jednotlivým částem a objektům:

TEAR	• Vodní zdroje
TEAT	• Úpravny vody
TEAM	• Přiváděcí řady
TEAA	• Vodojemy
TEAP	• Čerpací stanice
TEAN	• Vodovodní síť
TEAS	• Vodovodní řady

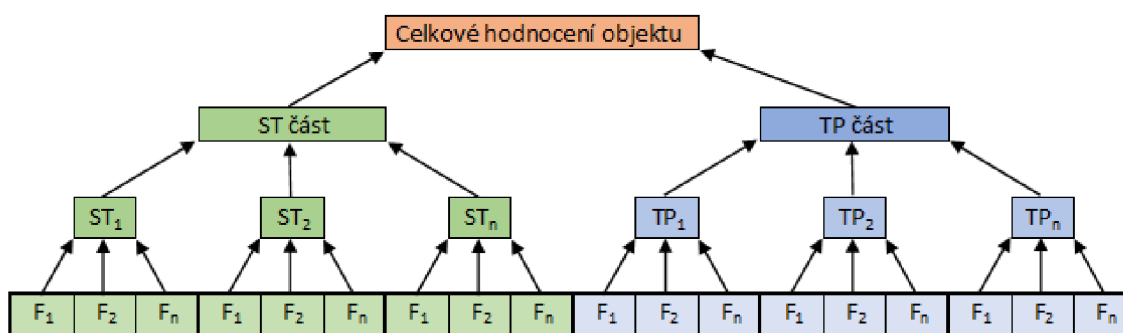
Obrázek 8: Moduly TEA Water [9]

Na rozdíl od standartní metody FMEA je metodika TEA Water rozšířena o další úroveň – faktory (F). Přesně definované faktory slouží k ohodnocení jednotlivých technických ukazatelů (tj. technické ukazatele nejsou hodnoceny přímo) Každý faktor je hodnocen čtyřbodovým systémem hodnocení se specifikací a doporučení pro konkrétní bodové hodnocení každého faktoru Každému faktoru je navíc stanovena jeho váha v rámci hodnocení příslušného ukazatele. [12]

Bodové hodnocení faktorů je následující:

- 0 – faktor není hodnocen, není dostatek informací pro hodnocení tohoto faktoru
- 1,2,3 – přičemž hodnota 1 znamená nejpříznivější stav, naopak hodnota 3 znamená nejméně příznivý stav.

Struktura hodnocení (včetně rozšíření o faktory) je patrná z následujícího schématu. Celkové hodnocení je složeno z hodnocení dvou hlavních částí. První částí je stavebně technická část (ST), která v sobě zahrnuje stavebně technické ukazatele. Druhou částí je technologicko provozní část (TP), která je složena z technologicko provozních ukazatelů.



Obrázek 9: Struktura hodnocení TEA Water [9]

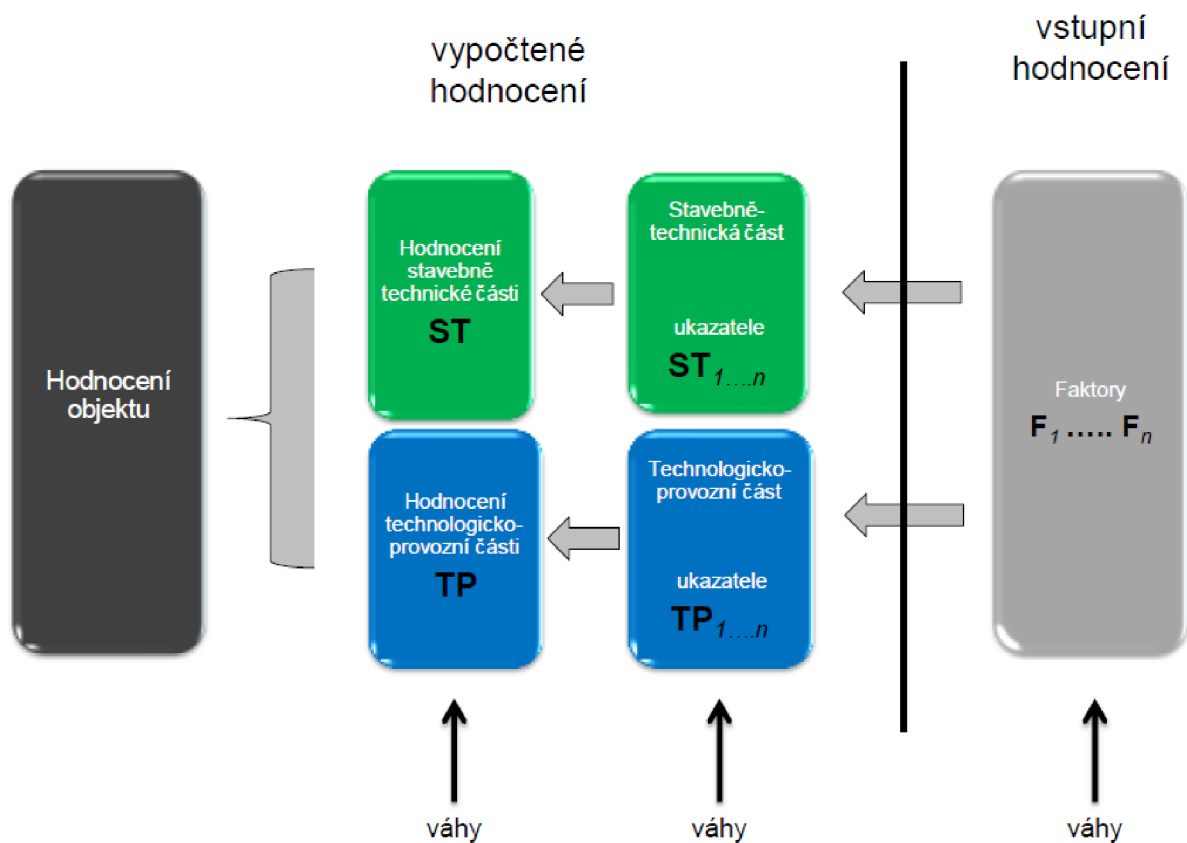
Jednotlivé ukazatele jsou hodnoceny pomocí navržených faktorů. Počet faktorů se pro každý ukazatel liší a je navržen tak, aby faktory co nejvýstižněji popisovaly daný ukazatel, ale zároveň nebyly požadavky na množství dat příliš vysoké. Uživatel hodnotí pouze tyto navržené faktory. Na základě hodnocení faktorů a jejich stanovených vah je pak provedeno hodnocení jednotlivých ukazatelů. Na základě hodnocení ukazatelů a jejich vah je provedeno hodnocení jednotlivých částí a následně je stanoveno celkové hodnocení daného objektu. Rozsah zadávaných parametrů nesmí být příliš obsáhlý a podrobný, protože se jedná o tzv. předběžný výběr, nikoli o detailní posouzení jednotlivých prvků celého systému. [12]

Při hodnocení mohou objekty, jejich stavební a provozní části a ukazatele spadat do hodnotících kategorií uvedených v následující tabulce. Jak je z tabulky patrné, pro hodnocení celého objektu bylo zvoleno jemnější hodnocení se zařazením mezistupňů + a -. Tímto se zvyšuje počet výsledných hodnotících kategorií. Toto umožňuje hodnotiteli větší přehled o získaném výsledku hodnocení. [12]

Postup hodnocení posuzovaných vodárenských systémů lze rozdělit do čtyř následujících kroků.

- 1. krok: Obodování faktorů technických ukazatelů hodnotitelem;

- 2. krok: Výpočet hodnocení příslušných technických ukazatelů;
- 3. krok: Výpočet hodnocení jednotlivých částí (ST a TP);
- 4. krok: Stanovení hodnocení celého posuzovaného prvku vodovodu.



Obrázek 10: Schéma postupu hodnocení objektu [9]

Tabulka 11: Kategorie hodnocení [12]

Objekt	Část	Ukazatel	Popis stavu
A+,A,A-	A	1	optimální stav, nevyžaduje žádná opatření vedoucí ke změnám hodnot tohoto TU
B+,B,B-	B	2	nízká míra rizika příslušného TU a rovněž nevyžaduje žádná zásadní opatření
C+,C,C-	C	3	jedná se o průměrné hodnoty příslušného TU, které nevyžadují okamžitá řešení
D+,D,D-	D	4	kritické hodnoty příslušného ukazatele, měla by být realizována případně plánovaná opatření na řešení tohoto stavu
E+,E,E-	E	5	nežádoucí stav, který vyžaduje dle možností provozovatele okamžitá řešení, které povede k dosažení lepších hodnot příslušného ukazatele
N	N	N	pro hodnocení tohoto TU není dostatek informací

Pro navrhovanou metodiku obnovy bylo využito pouze jednoho modulu aplikace TEA Water a to modulu TEAS. Modul TEAS slouží k hodnocení technického stavu vodovodních řadů. Modul je rozdělen na následující ukazatele a faktory. [12]

Tabulka 12: Modul TEAS [11]

TEAS – Vodovodní řad	Stavebně-technická část	ST1: Stáří a stav vodovodního řadu	F1: Stáří potrubí dle trubního materiálu
			F2: Stáří a stav armatur
			F3: Inkrustace potrubí
		ST2: Stavebně technické provedení řadu	F1: Krytí potrubí
			F2: Dopravní zatížení
			F3: Koordinace s ostatními sítěmi
	ST3: Protikorozi ochrana řadu	F1: Vnější protikorozi ochrana	
		F2: Vnitřní protikorozi ochrana	
	Technologicko-provozní část	TP1: Poruchovost řadu	F1: Průměrná roční poruchovost
			F2: Vývoj dynamiky poruch
		TP2: Významnost řadu v pásmu	F1: Významnost řadu
			F2: Počet napojených obyvatel
			F3: Napojení citlivých odběratelů
		TP3: Tlakové poměry na řadu	F1: Maximální hydrostatický tlak
			F2: Průměrný hydrodynamický tlak
F3: Kolísání hydrodynamického tlaku			
TP4: Provozní ukazatel		F1: Jmenovitý profil potrubí	
		F2: Vliv na kvalitu vody	
	F3: Hustota přípojek		

Výsledkem provedení hodnocení technického stavu je tedy známka, která může dosahovat hodnot A+ (nejlepší možné ohodnocení) až E- (nejhorší možné hodnocení). Hodnocení D a E znamenají kritické hodnoty – tj. hodnoty, kdy by mělo dojít k jejich zlepšení (obnově potrubí).

3.2 NÁVRH METODIKY DLOUHODOBÉHO PLÁNOVÁNÍ

Navrhovaná metodika tohoto hodnocení využívá. Na základě provedení hodnocení současného technického stavu jednotlivého úseku je proveden i odhad jeho budoucího technického stavu. Budoucí technický stav je odhadován ve čtyřech pětiletých úsecích (tj. po 5, 10, 15 a 20 letech). Vzhledem k nejistotám a možným nepřesnostem při odhadování budoucího technického stavu není proveden odhad jednoho hodnocení pro každé období, ale odhady tři (optimistický, střední a pesimistický).

Optimistický odhad je proveden tak, že předpokládá nejpriznivější možné podmínky, naopak pesimistický odhad předpokládá nejhorší možné podmínky. Při hodnocení jsou využívány stejné ukazatele a faktory jako v modulu TEAS a stejné rozdělení vah. Provedení hodnocení tedy spočívá v odhadu jednotlivých faktorů. U všech faktorů je také zanechána možnost hodnocení 0, která znamená nehodnoceno pro nedostatek informací. Navržené postupy a způsoby, jak jednotlivé faktory hodnotit jsou uvedeny v následující kapitole.

3.2.1 Ohodnocení dílčích faktorů

3.2.1.1 Stáří potrubí dle trubního materiálu

Tento faktor zůstává nezměněn, pro jeho hodnocení je využita tabulka z modulu TEAS. Jedinou změnou je přepočítání stáří potrubí v uvažovaném období (tj. při odhadu technického stavu za 15 let se k aktuálnímu stáří přičte 15 let a následně se provede hodnocení)

Tabulka 13: Ohodnocení stáří potrubí podle materiálu [11]

Hodnocení	GG	GGG	OC	GRP	PE	PVC	Jiný
1	0-60	0-70	0-40	0-35	0-40	0-30	0-30
2	61-90	71-100	41-60	36-50	41-60	31-50	31-45
3	> 90	> 100	> 60	>50	>60	>50	> 45

3.2.1.2 Stáří a stav armatur

Faktor stáří a stav armatur je hodnocen známkou 1, pokud jsou armatury převážně mladší než 5 let a jsou pravidelně kontrolované a funkční. Znamka 2 znamená armatury převážně mladší 20 let, pravidelně kontrolované a většinou funkční. Nejhorší známka 3 představuje armatury, které jsou převážně starší než 20 let a jsou ve špatném technickém stavu. [11]

Hodnocení tohoto faktoru záleží především na dostupnosti potřebných dat. Pokud jsou k dispozici přesná data o stáří jednotlivých armatur, lze jejich budoucí stáří jednoduše dopočítat. Pokud ne, lze přistoupit k odbornému odhadu postupného zhoršování budoucího technického stavu armatur. Míru zhoršování technického stavu je doporučeno zohlednit ve třech variantách (optimistická, střední, pesimistická). V optimistické variantě lze stav a stáří armatur i vylepšit – toto vylepšení by předpokládalo provedenou výměnu jednotlivých armatur.

3.2.1.3 Inkrustace potrubí

Nejlepší hodnocení inkrustace potrubí 1 znamená, že hodnocené potrubí je bez inkrustace a bez omezení průtočného profilu. Hodnocení 2 znamená inkrustaci potrubí, která odpovídá stáří potrubí a neznámá výrazné omezení průtočného profilu. Znamka 3 znamená silně zainkrustované potrubí s omezeným průtočným profilem. [11]

Při hodnocení inkrustace potrubí je potřeba přihlídnout k materiálu potrubí. U plastového potrubí by inkrustace hrozit neměla, tudíž by plastová potrubí měla dosahovat hodnocení 1. Toto hodnocení by mělo zůstat stejné pro všechna období i pro všechny varianty. Naopak u kovového potrubí lze předpokládat zhoršování stavu a zvyšování inkrustace. Vývoj zhoršování stavu je doporučeno odborně odhadnout. Míru zhoršování technického stavu je doporučeno zohlednit ve třech variantách (optimistická, střední, pesimistická).

3.2.1.4 Krytí potrubí

Krytí potrubí je podle metodiky TEA Water hodnoceno známkou 1, pokud je krytí větší, než udává norma, ale zároveň menší, než 2,5. Znamka 2 znamená krytí v rozmezí 2,51-3,5 m. Znamka 3 představuje krytí menší, než požaduje norma nebo krytí větší než 3,5 m. [11]

Vzhledem k tomu, že krytí potrubí zůstává s největší pravděpodobností stejné po celou dobu užívání potrubí, doporučuje se uvažovat ve všech odhadovaných obdobích i ve všech variantách stejné hodnoty.

3.2.1.5 Dopravní zatížení

Vliv dopravního zatížení je oznámkován hodnotou 1, pokud se dopravní zatížení nevyskytuje, potrubí prochází převážně extravilánem nebo místní komunikací s nízkým provozem. Hodnocení 2 je charakterizováno jako potrubí v intravilánu, převažuje nezpevněný povrch a částečně potrubí prochází pod místní komunikací se silným provozem. Nejhorší známka 3 je pro vodovodní řady uložené v komunikacích s významným dopravním zatížením se značným podílem nákladní dopravy. [11]

Při odhadu budoucího dopravního zatížení vodovodního řadu je nutné brát v potaz charakter posuzovaného území a charakter zástavby. K zpřesnění odhadu budoucího dopravního zatížení je vhodné využít například Územních plánů či jiných nástrojů územního plánování. Míru zhoršování dopravního zatížení je doporučeno zohlednit ve třech variantách (optimistická, střední, pesimistická).

3.2.1.6 Koordinace s ostatními sítěmi

Faktor koordinace s ostatními sítěmi je hodnocen 1, pokud není souběh s ostatními sítěmi a je malý počet křížení. Známkou 2 je faktor dopravního zatížení ohodnocen, pokud se část trasy vyskytuje v souběhu s ostatními sítěmi a vyskytuje se časté křížení. Pokud je značná část trasy v souběhu s jinými sítěmi, nejsou dodrženy minimální vzdálenosti sítí a vyskytují se častá křížení je tento faktor ohodnocen známkou 3.[11]

Při odhadu budoucí koordinace s ostatními sítěmi je nutné brát v potaz charakter posuzovaného území. V zastavěném území je větší předpoklad k dalšímu rozšiřování inženýrských sítí než v extravilánu. K odbornému odhadu vývoje koordinace s ostatními sítěmi je vhodné využít například Územních plánů či jiných nástrojů územního plánování. Vývoj koordinace s ostatními inženýrskými sítěmi je doporučeno zohlednit ve třech variantách (optimistická, střední, pesimistická).

3.2.1.7 Vnější a vnitřní protikorozi ochrana

Vnější protikorozi ochrana je ohodnocena známkou 1 znamená potrubí z nekorozivních materiálů nebo kovové potrubí s aktivní protikorozi ochranou. Známka 2 znamená starší pasivní protikorozi ochranu a nejhorší známka 3 vystihuje kovové potrubí bez aktivní i pasivní protikorozi ochrany. [11]

Vnitřní protikorozi ochrana má být ohodnocena známkou 1, pokud se jedná o potrubí z nekorozivního materiálu nebo pokud se jedná o potrubí opatřené vnitřní protikorozi. Známka 2 značí potrubí s vnitřní protikorozi ochranou provedenou před více než 10 lety.

Poslední možností je potrubí bez vnitřní protikorozní ochrany, které je ohodnocené známkou 3. [11]

Při odhadu vývoje protikorozní ochrany je potřeba přihlédnout k materiálu potrubí. U nekorozivních materiálu potrubí se nepředpokládá vznik koroze a hodnocení by mělo zůstat stejné ve všech odhadovaných obdobích a ve všech variantách. U kovového potrubí lze naopak předpokládat zhoršování stavu. Při odhadu vývoje protikorozní ochrany je potřeba přihlédnout ke stáří materiálu. Míru zhoršování protikorozní ochrany je doporučeno zohlednit ve třech variantách (optimistická, střední, pesimistická).

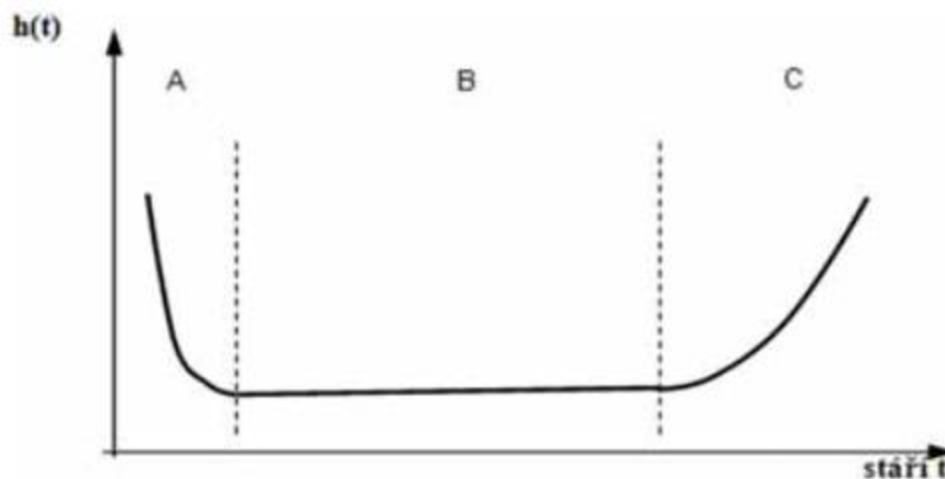
3.2.1.8 Průměrná roční poruchovost

Průměrná roční poruchovost je uváděna v pp/km/rok (počet poruch na kilometr řadu za rok). Navržené hodnocení v modulu TEAS je následující:

- 1 < 0,3 pp/km/rok
- 2 0,3-0,7 pp/km/rok
- 3 > 0,7 pp/km/rok

Odhad vývoje poruch není jednoduchý. Očekávaný vývoj poruch se pohybuje po tzv. „vanové křivce“ (viz následující obrázek). Průběh vanové křivky lze rozdělit do 3 období. První období (na obrázku označené A) je období poruch, které vznikají krátce po uvedení od provozu. Trvání těchto poruch se někdy označuje jako zkušební období. Během toho období jsou postupně odhalovány případné nedostatky při výstavbě. Trvání tohoto období u vodovodních řadů je zhruba 1-2 roky. Vývoj poruch v tomto období má klesající tendenci. [1]

Druhé období (na obrázku označené B) je období běžného provozu. Poruchy by se v tomto období měly vyskytovat náhodně a vývoj poruch by měl mít konstantní charakter. Posledním obdobím (C) je období kritické. V tomto období je potrubí na konci svojí životnosti a počet poruch výrazně narůstá. Snaha provozovatelů je provést obnovu potrubí přesně v okamžiku, kdy nastane kritické období. Problém nastává v odhadnutí bodu, kdy dochází k přelomu mezi běžným obdobím a kritickým obdobím. [1]



Obrázek 11: Vanová křivka poruchovosti [1]

Pro odhadnutí vývoje poruchovosti byla v navrhované metodice použita rovnice, kterou publikovali Shamir a Howard (1979). Ti na základě svého zkoumání odvodili vztah mezi poruchovostí a uplynulým časem. Použitá rovnice je následující: [8]

$$N(t) = N(t_0) \cdot e^{A(t-t_0)} \quad (4)$$

Kde:

- N ... poruchovost [pp/km/rok]
- t ... čas (rok)
- t_0 ... počáteční čas (počáteční rok)
- A ... koeficient růstu poruchovosti

Autoři rovnice navrhují pro koeficient růstu poruchovosti A hodnoty 0,01-0,10. Pro výpočet jsou uvažovány hodnoty 0,01 pro optimistickou variantu výpočtu, 0,5 pro střední variantu a 0,10 pro pesimistickou variantu výpočtu.

Používaná rovnice nezohledňuje materiál, průměr ani žádné jiné vlastnosti potrubí. Pro výpočet však může být použita, protože ostatní vlastnosti potrubí jsou pro odhadnutí technického stavu zohledněny v ostatních faktorech.

3.2.1.9 Vývoj dynamiky poruch

Vývoj dynamiky poruch je ohodnocen známkou 1 pokud řad vykazuje pokles poruchovosti (například po provedené rekonstrukci). Hodnocení 2 znamená, že poruchovost má stagnující tendenci a hodnocení 3 znamená rostoucí četnost poruch. [11]

Při provádění odhadu vývoje dynamiky poruch je potřeba přihlédnout k poruchovosti potrubí a ke stáří potrubí. K provedení odhadu je doporučeno využít varianty hodnocení (optimistická, střední, pesimistická)

3.2.1.10 Významnost řadu

Faktor významnosti řadu je hodnocen známkou 1, pokud se jedná o koncový řad malého profilu. Známkou 2 obdrží rozvodné řady. Nejvýznamnější hlavní rozvodné řady jsou ohodnoceny známkou 3. [11]

Významnost řadu v odhadovaných obdobích je doporučeno měnit pouze, pokud se předpokládá rozšíření sítě v daném území. Jinak by měla významnost řadu zůstat stejná ve všech odhadovaných obdobích a ve všech variantách.

3.2.1.11 Počet napojených obyvatel a počet citlivých odběratelů

Podle počtu napojených obyvatel je řad ohodnocen známkou 1 pokud je napojeno méně než 100 obyvatel. Pro 100-500 napojených obyvatel je známka 2 a pro více než 500 obyvatel známka 3. [11]

Pokud nejsou napojeni žádní významní odběratelé, je řad ohodnocen známkou 1. Pro významné ostatní odběratele a průmyslové objekty je hodnocení 2 a pro strategicky významné odběratele (nemocnice, státní správa) je známka 3. [11]

Při odhadu vývoje počtu napojených obyvatel a citlivých odběratelů je potřeba zohlednit charakter posuzovaného území, především hustotu zástavby. V hustě zastavěných částech už není další nárůst napojených obyvatel pravděpodobný, naopak v řídké zastavěných územích lze do budoucna počítat s další výstavbou a zvyšováním počtu napojených obyvatel. Pro zpřesnění odhadu vývoje je vhodné využít například Územních plánů či jiných nástrojů územního plánování. Míru zvyšování napojených obyvatel je doporučeno zohlednit ve třech variantách (optimistická, střední, pesimistická).

3.2.1.12 Maximální hydrostatický tlak, průměrný hydrodynamický tlak a kolísání hydrodynamického tlaku

Hodnocení jednotlivých faktorů týkajících se tlakových poměrů ve vodovodním řadu je patrné z následující tabulky. U faktoru kolísání hydrodynamického tlaku je myšleno maximální kolísání během jednoho extrémního dne.

Tabulka 14: Hodnocení tlakových faktorů [11]

Hodnocení	Maximální hydrostatický tlak [m v. sl.]	Průměrný hydrodynamický tlak [m v. sl.]	Kolísání hydrodynamického tlaku [m v. sl.]
1	< 50	< 45	< 10
2	50-70	45-60	10-20
3	> 70	> 60	> 20

Odhad vývoje tlakových poměrů ve vodovodním řadu je doporučeno ponechat stejný po všechna plánovaná období a varianty.

3.2.1.13 Jmenovitý profil potrubí

Faktor jmenovitý profil potrubí je hodnocen známkou 1, pokud je profil potrubí 300 mm a více. Profily mezi 150 mm a 300 mm jsou hodnoceny známkou 2 a menší profily než 150 mm jsou hodnoceny známkou 3. [11]

Vzhledem k tomu, že navrhovaná metodika předpokládá, že se profil potrubí nemění, mají být po všechna odhadovaná období a všechny varianty u faktoru profil potrubí stejné hodnoty.

3.2.1.14 Vliv na kvalitu vody

Podle metodiky TEA Water má na kvalitu vody vliv materiál potrubí. Známkou 1 je hodnoceno potrubí z šedé litiny, PE nebo PVC. Známkou 2 má potrubí z šedé litiny nebo oceli po sanaci vnitřního povrchu. Nejhorší hodnocení 3 má potrubí z šedé litiny nebo oceli bez sanace vnitřního povrchu. [11]

Vzhledem k tomu, že materiál potrubí se nemění, měla by být pro všechna uvažovaná období a varianty uvažována stejná hodnocení. Výjimku může tvořit potrubí z šedé litiny nebo oceli, kdy lze využít varianty hodnocení pro uvažované zhoršení stavu vnitřního povrchu potrubí.

3.2.1.15 Hustota přípojek

Faktor hustoty přípojek vychází nejlépe pro méně než 50 přípojek na kilometr řadu. Známkou 2 je řad ohodnocen, pokud je počet připojených přípojek mezi 51-100 na kilometr řadu. Hodnocení 3 znamená více než 101 přípojek na kilometr řadu. [11]

Při odhadu vývoje hustoty přípojek je potřeba zohlednit charakter posuzovaného území, především hustotu zástavby. V hustě zastavěných částech už není další nárůst hustoty přípojek pravděpodobný, naopak v řídké zastavěných územích lze do budoucna počítat s další výstavbou a zvyšováním hustoty přípojek. Pro zpřesnění odhadu vývoje je vhodné využít

například Územních plánů či jiných nástrojů územního plánování. Míru zvyšování hustoty přípojek je doporučeno zohlednit ve třech variantách hodnocení (optimistická, střední, pesimistická).

3.2.2 Váhy a významnost jednotlivých ukazatelů a faktorů

Z všech uvedených 13 faktorů nejsou všechny pro hodnocení technického stavu stejně významné. Význam faktorů v rámci jednotlivých ukazatelů a význam jednotlivých ukazatelů (viz kapitola 3.1) je definován jejich vahami. Váhy jsou nastaveny tak, aby součet vah všech stavebně-technických a technologicko-provozních ukazatelů dosahoval hodnoty 1. Obdobně to platí i pro váhy faktorů v rámci jednotlivých ukazatelů – součet vah dosahuje hodnoty 1. Konkrétní hodnoty vah byly převzaty z metodiky TEA Water.

Nejvýznamnějším stavebně-technickým ukazatelem je ukazatel Stáří a stav vodovodního řadu s váhou 0,5. Naopak nejméně významným stavebně-technickým ukazatelem je Protikorozní ochrana řadu s váhou 0,1. U technologicko-provozních ukazatelů je rozdělení vah rovnoměrnější – Poruchovost řad a Významnost řadu mají přiřazenou váhu 0,3. Zbylé ukazatele mají váhu 0,2. Kompletní rozvržení vah jednotlivých ukazatelů a faktorů je patrné v elektronické příloze Fiktivní síť.

Vzhledem k rozvržení jednotlivých vah lze některé z 13 hodnocených faktorů považovat za hlavní faktory. Tyto faktory významně ovlivňují výsledek hodnocení a při provádění dlouhodobých plánů obnovy by neměly být vynechány. Hlavní faktory jsou:

- Stáří potrubí dle trubního materiálu
- Krytí potrubí
- Průměrná roční poruchovost
- Významnost řadu
- Maximální hydrostatický tlak

3.2.3 Výsledky hodnocení a obecná doporučení

Obecně lze při provádění odhadu budoucího technického stavu vodovodní sítě doporučit, aby nebylo prováděno zlepšování hodnocení jednotlivých faktorů. (tj. pokud některý hodnocený faktor dosáhne například hodnoty 3, nelze očekávat samovolné zlepšení tohoto faktoru, tudíž by měl být tento faktor nadále hodnocen známkou 3). Výjimkou může být pouze stav, kdy by mohlo být provedeno úmyslné zlepšení daného faktoru (například plánovaná výměna armatur).

Po provedení hodnocení všech vodovodních řadů následuje vyhodnocení výsledků. Do plánů obnovy jsou zařazovány takové vodovodní řady, které v daném období dosáhnou

hodnocení D+ a horší. Výsledky jsou kromě tabulkových dat zpracovány do přehledných grafů, ze kterých je patrné, jaké množství potrubí by mělo být v daném období obnoveno. Výsledky jsou zpracovány ve třech variantách (optimistická, střední a pesimistická). Následně je provedeno porovnání jednotlivých variant. Příklad zpracovaných výsledků je uveden v kapitole 4.

3.2.4 Odhad nákladů na obnovu

Náklady na obnovu vodovodních řadů jsou počítány podle metodiky Ministerstva zemědělství. Tato metodika je popsána v kapitole 2.1. Pro výpočet je použita tabulka měrných cenových ukazatelů ze zmíněné metodiky. Při výpočtech nákladů na obnovu se pro zjednodušení předpokládá, že při obnově bude zachován stejný materiál potrubí a stejný průměr potrubí (u šedé litiny je předpokládáno nahrazení tvárnou litinou).

Vzhledem k délce plánování lze předpokládat i růst cen. Proto je do výpočtu zahrnut i odhad roční míry inflace (růst celkové cenové hladiny). Výpočet je opět proveden ve třech variantách (varianta I., varianta II. a varianta III.). Hodnota inflace je každoročně počítána Českým statistickým úřadem a každý rok se mění. Hodnoty uvažované pro výpočet jsou brány jako odhadovaný dlouhodobý průměr inflace za hodnocené období. Uvažovaná míra inflace pro jednotlivé varianty je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 15: Odhad roční míry inflace

Varianta	Odhad roční míry inflace v %	
I.	0,5	%
II.	2,75	%
III.	5	%

Vzhledem k tomu, že uvedené hodnoty jsou pouze odhadnuté, mají vypočítané náklady na obnovu spíše informativní charakter. Vypočítané náklady je nutno chápat pouze jako „možný náhled do budoucnosti“ a jejich hodnota se může od skutečných hodnot lišit.

4 TESTOVÁNÍ NAVRŽENÉ METODY

4.1 FIKTIVNÍ VODOVODNÍ SÍŤ

Navrhovaná metodika pro vytváření dlouhodobých plánů obnovy vodovodních sítí byla testována na fiktivní vodovodní síti. Tato síť se skládá celkem z 13 vodovodních řadů. Celková délka fiktivní vodovodní sítě je cca 2,3 km. Vlastnosti a parametry sítě byly záměrně voleny tak, aby byla ověřena funkčnost metodiky. Výčet základních vlastností fiktivní sítě je patrný z následující tabulky.

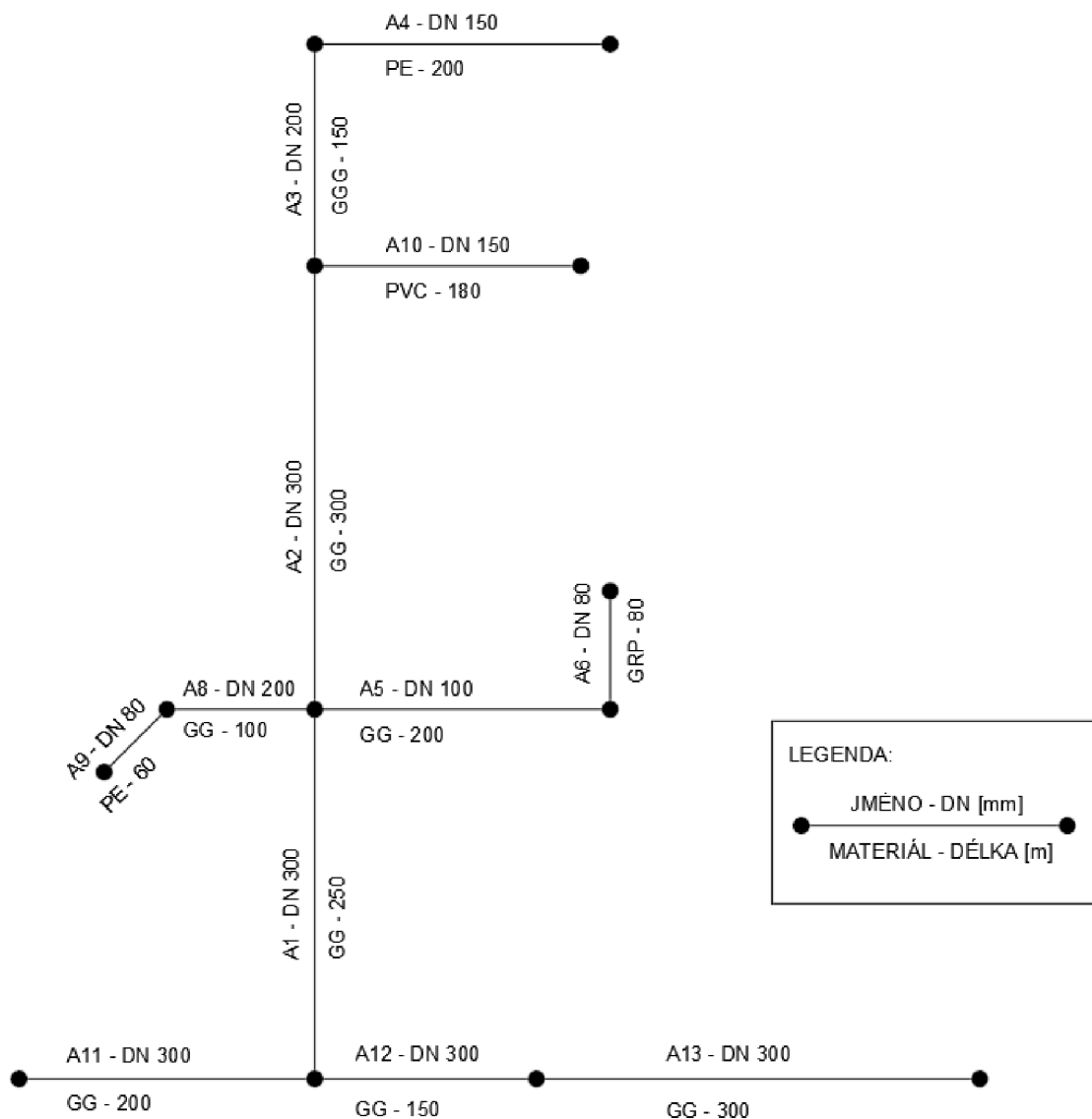
Tabulka 16: Základní údaje fiktivní sítě

označení	délka [m]	materiál	rok výstavby	DN [mm]	způsob uložení	poruchovost [pp/km/rok]
A1	250	GG	1960	300	komunikace	0.5
A2	300	GG	1960	300	komunikace	0.8
A3	150	GGG	1975	200	komunikace	0.7
A4	200	PE	1990	150	komunikace	0.9
A5	200	GG	1960	100	komunikace	0.5
A6	80	GRP	1970	80	zeleň	0.8
A7	150	PE	1980	150	komunikace	0.65
A8	100	GG	1960	200	zeleň	0.7
A9	60	PE	1980	80	zeleň	0.9
A10	180	PVC	2000	150	komunikace	0.2
A11	200	GG	1930	300	komunikace	0.5
A12	150	GG	1930	300	zeleň	0.7
A13	300	GG	1930	300	komunikace	0.8

V elektronické příloze Fiktivní síť ve formátu Microsoft Excel je na prvním listu uvedena kompletní tabulka s uvažovanou charakteristikou fiktivní sítě. Čísla v jednotlivých sloupečcích znamenají uvažovanou hodnotu faktorů pro hodnocení technického stavu (viz předchozí kapitola). Tyto hodnoty byly navrženy tak, aby byly vyzkoušeny různé varianty hodnocení a jejich vliv na výsledný plán obnovy.

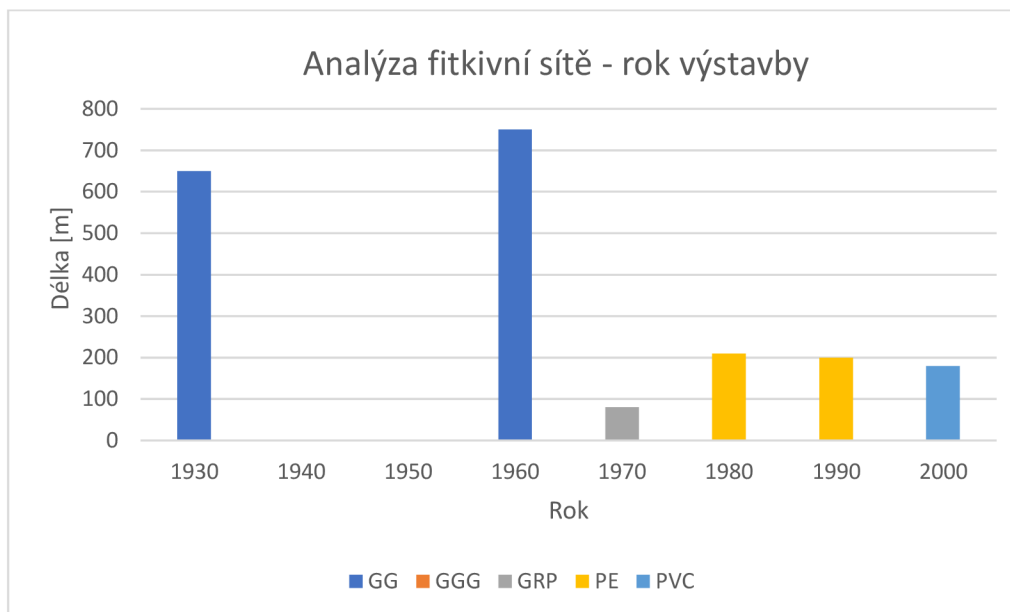
Topologie fiktivní sítě je patrná z následujícího schématu. Síť je uvažovaná jako větvená vodovodní síť. Řady A11, A12 a A13 jsou uvažovány jako přivaděč, který zásobuje zbytek fiktivní sítě a dále průběžně pokračuje. Tento přivaděč je vyroben z šedé litiny DN 300. Na tento přivaděč se napojují řady A1 a A2, které jsou uvažovány jako hlavní rozváděcí řady fiktivní sítě. Řady jsou vyrobeny z šedé litiny DN 300. Ostatní rozvodné a koncové řady jsou uvažovány různých průměrů a různých materiálů. Topologii sítě je potřeba znát pouze

k zjištění významnosti řadu v síti (v metodice se rozlišuje hlavní rozváděcí řad, rozváděcí řad a koncový řad).



Obrázek 12: Schéma fiktivní sítě

Rok výstavby jednotlivých řadů byl navržen tak, aby fiktivní síť byla rozmanitá a aby šlo dobře pozorovat výsledky navržených plánů obnovy. Nejstarší části sítě jsou z roku 1930, nejmladší vodovodní řady byly postaveny v roce 2000. Uvažované roky výstavby jednotlivých řadů a jejich délky jsou shrnuté do následujícího grafu. Na vodorovné ose jsou zobrazeny jednotlivé roky výstavby, na svislé ose je délka potrubí uváděná v metrech.



Obrázek 13: Fiktivní síť – rok výstavby

4.1.1 Použití navrhované metodiky

Pro každý vodovodní řad bylo provedeno hodnocení technického stavu a následně byl proveden odhad budoucího technického stavu podle postupu popsáném v předchozí kapitole. Budoucí technický stav byl posuzován ve třech scénářích (optimistickém, středním a pesimistickém). Hodnocení je prováděno v programu Microsoft Excel, soubor tvoří elektronickou přílohu diplomové práce – Fiktivní síť. Na druhém listu tohoto souboru s názvem „Údaje o hodnoceném řadu“ je potřeba vyplnit základní vlastnosti řadu (název, materiál, DN, délka apod.) Tyto údaje jsou v navrhované metodice dále používány a na dalších listech je na ně odkazováno.

Na dalším listu probíhá samotného hodnocení technického stavu. Uživatel vyplňuje pouze zeleně zvýrazněné buňky ve sloupcích hodnocení (lze zadat hodnoty 0,1,2 a 3) podle metodiky popsáné v předchozí kapitole. Ostatní buňky se sami přepočítávají. V horních řádcích jsou automaticky dopočítávány hodnoty stáří potrubí a poruchovosti v uvažovaném roce. Výsledné hodnocení se po vyplnění všech faktorů zobrazuje záhlaví stránky (řádky 6 a 7). Na listu „Výsledky“ se automaticky vyplňují souhrnné výsledky z předchozího listu.

Ukázka z vývoje hodnocení vodovodního řadu A12 ve třech scénářích je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 17: Hodnocení řadu A12

Optimistický scénář					
současnost	za 5 let	za 10 let	za 15 let	za 20 let	
B-	C	C	C	C	CELKOVÉ HODNOCENÍ
Střední scénář					
současnost	za 5 let	za 10 let	za 15 let	za 20 let	
B-	C	C	D+	D+	CELKOVÉ HODNOCENÍ
Pesimistický scénář					
současnost	za 5 let	za 10 let	za 15 let	za 20 let	
B-	C-	D+	D+	D+	CELKOVÉ HODNOCENÍ

Vodovodní řad A12 byl uvažován jako hlavní rozváděcí řad z šedé litiny DN 300, řad byl vybudován v roce 1930. Délka řadu je 150 m. Řad je převážně uložen v zeleni, tudíž na něj nepůsobí dopravní zatížení. Hloubka uložení je po celé jeho délce větší, než požaduje norma, ale zároveň menší než 2,5 m. Vzhledem k materiálu řadu a stáří řadu je protikorozní ochrana uvažována pouze jako starší pasivní. Poruchovost řadu má hodnotu 0,7 pp/km/rok a má přibližně stagnující tendenci. Významností se jedná o hlavní rozvodný řad, na který je napojeno cca 200 obyvatel a významný odběratel v podobě průmyslového objektu. Tlakové poměry na řadu jsou vynikající, maximální hydrostatický tlak je menší než 50 m v. sl. průměrný hydrodynamický tlak je menší než 45 m v. sl. Vzhledem k výše popsaným uvažovaným ukazatelům byl současný technický stav řadu A12 ohodnocen známkou B-.

Odhadem budoucího technického stavu podle navrhované metodiky dochází ve všech třech scénářích nejprve ke zhoršení na hodnocení C, u střední a pesimistické varianty průběžně i na hodnocení D+, které již značí zařazení do plánu obnovy. Zhoršení budoucího technického stavu je zapříčiněné především předpokládaným vývojem poruchovosti a zvýšením stáří potrubí. S tím souvisí i očekávané zhoršení stavu armatur a protikorozní ochrany. Některé faktory zůstávají po celou odhadovanou dobu beze změny. Jsou to například faktory: Maximální hydrostatický tlak, Průměrný dynamický tlak nebo Krytí potrubí. Vzhledem k tomu, že tyto faktory mají většinou výborné hodnocení, nedochází k dalšímu zhoršováním technického stavu. Ukázka z výsledků hodnocení je patrná z následujícího obrázku – jedná se o odhad technického stavu v období za 10 let. Z obrázku je patrné různé hodnocení některých ukazatelů a využití variant hodnocení (optimistická, střední, pesimistická). U jiných ukazatelů (např. Stavebně technické provedení řadu) je hodnocení ve všech variantách stejné. Kompletní hodnocení řadu A12 včetně ohodnocení jednotlivých faktorů je uvedeno v elektronické příloze Fiktivní síť.

ODHAD TECHNICKÉHO STAVU ZA 10 LET				
Hodnocení			Objekt, část	Váha
optimistické	střední	pesimistické		
C	C	D+	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
53	54	69	PROCENTO OPOTŘEBENÍ	
C	C	D	ST - Stavebně technické ukazatele	0.50
4	4	5	ST1 - Staří a stav vodovodního řadu	0.50
2	2	2	ST2 - Stavebně technické provedení řadu	0.40
3	4	5	ST3 - Protikorozní ochrana řadu	0.10
C	C	D	TP - Technologicko provozní ukazatele	0.50
4	4	5	TP1 - Poruchovost řadu	0.30
4	4	4	TP2 - Významnost řadu v pásmu	0.30
1	1	1	TP3 - Tlakové poměry na řadu	0.20
2	2	3	TP4 - Provozní ukazatel	0.20

Obrázek 14: Ukázka z hodnocení – technický stav za 10 let

Kromě hodnocení technického stavu byl proveden i odhad nákladů na obnovu jednotlivých vodovodních řadů. Tento odhad byl proveden rovněž ve třech variantách (I., II. a III.) a byl proveden pro všechna uvažovaná období (současnost, za 5 let, za 10 let, za 15 let a za 20 let). Postup výpočtu vychází z metodiky Ministerstva zemědělství a je popsán v předchozí kapitole.

Výpočet nákladů se provádí na listu „Výsledky“. Podle základních údajů o řadu vyplněných z druhého listu souboru je potřeba vybrat koeficient k z Tabulky 1 a měrný cenový ukazatel c_{mu} z Tabulky 2. Buňky pro oba doplňované údaje jsou zeleně zvýrazněny.

Jako měrný cenový ukazatel c_{mu} byl vybrán materiál litina DN 300 v nezpevněném povrchu. Velikost tohoto měrného ukazatele je $c_{mu} = 4\,610$ Kč/bm. Koeficient k , který znamená významnost obce byl zvolen jako $k = 0,85$ (ostatní obce) V následující tabulce je uveden odhad nákladů pro fiktivní řad A12.

Tabulka 18: Odhad nákladů na obnovu řadu A12

Výpočet cen	Cena [Kč]		
	I.	II.	III.
Současnost	-	587 775	-
Za 5 let	602 617	673 163	750 166
Za 10 let	617 834	770 956	957 424
Za 15 let	633 435	882 955	1 221 942
Za 20 let	649 430	1 011 225	1 559 542

Výsledky hodnocení ostatních fiktivních řadů včetně odhadu nákladů na obnovu jsou uvedeny v elektronické příloze diplomové práce Fiktivní síť na listu Zpracování.

4.1.2 Zpracování výsledků

Po provedení hodnocení všech fiktivních řadů následovalo zpracování výsledků. K tomu, aby byl konkrétní řad zařazen do plánů obnovy, musel být v uvažovaném scénáři ohodnocen písmenem D nebo E. Tato hodnocení znamenají kritický stav, který je potřeba řešit.

Pro výše uvedené hodnocení řadu A12 by to znamenalo, že v optimistickém scénáři obnovy by tento řad do plánu obnovy na následujících 20 let zařazen vůbec nebyl. Řad A12 po celých 20 let dosahuje maximálně hodnocení C.

Ve středním scénáři by byla pro tento řad doporučena obnova v 15letém časovém horizontu, protože v tomto období se hodnocení řadu změnilo z C na D+.

Pesimistický scénář vyšel pro řad A12 tak, že obnova řadu by měla nastat v časovém horizontu 10 let. V tomto období se změnilo hodnocení řadu z C na D+.

Obdobně byly do všech tří scénářů obnovy zařazeny všechny fiktivní vodovodní řady. Výsledky a jednotlivé varianty jsou pro přehlednost zpracovány graficky ve sloupcových grafech. Měřítko grafů je záměrně zvoleno stejně proto, aby šlo jednotlivé varianty snadno vizuálně porovnávat. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé roky, na ose y délka obnovované části sítě v metrech. V grafech je barevně rozlišen materiál potrubí viz legenda pod grafem.

Kromě plánu obnovy byl vypočítány i celkové náklady na obnovu. Pro přehlednost jsou náklady vždy shrnuty do grafu. Na ose x jsou zobrazeny jednotlivé roky, na ose y náklady uváděné v Kč. Každý graf obsahuje tři varianty – modře je zobrazena varianta I, oranžově varianta II a šedě varianta III.

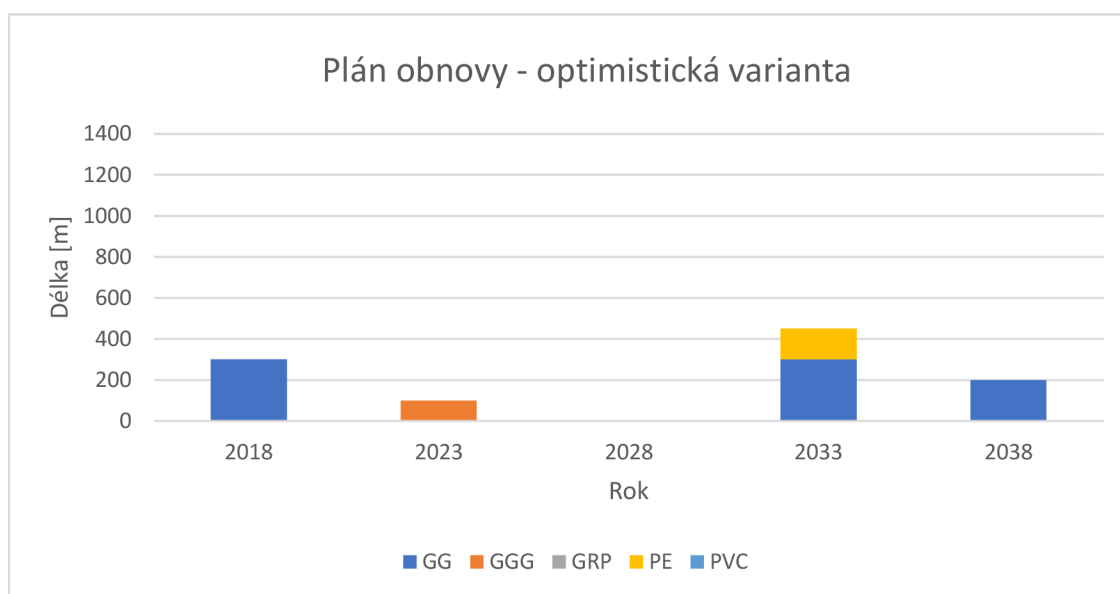
Vzhledem k různé významnosti jednotlivých ukazatelů a faktorů (přiděleným vahám) může dojít k situaci, kdy bude vodovodní řad ohodnocen známkou D a již nebude docházet ke zhoršování. To může být zapříčiněno například malou významností daného řadu, malým počtem napojených obyvatel nebo dobrými tlakovými poměry v síti. Tyto faktory pak mohou způsobovat „zlepšování“ celkového hodnocení. Z tohoto důvodu jsou do plánů obnovy zahrnovány i vodovodní řady, které dosáhnou hodnocení D.

4.1.2.1 Optimistická varianta

V této variantě byla celková délka obnovované části sítě navržena na 1050 m v průběhu následujících 20 let. Podle této varianty by mělo být v roce 2018 obnoveno 300 m

vodovodu z šedé litiny. V následujícím období (tj. do 5 let) by mělo být obnoveno 100 m z tvárné litiny. Na období do roku 2028 není naplánovaná obnova žádné části vodovodní sítě. Naopak na období do roku 2033 byla naplánována obnova největší části sítě – celkem 450 m, z čehož je 150 m polyetylenu a 300 m šedé litiny. V posledním posuzovaném období (za 20 let) je naplánováno obnovení 200 m potrubí z šedé litiny.

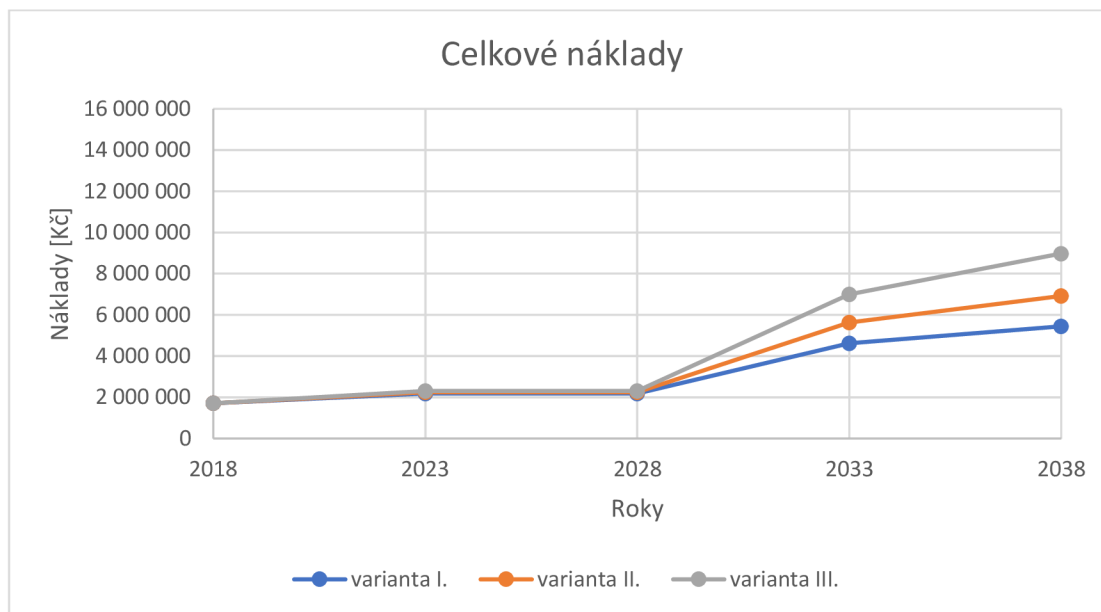
Celková délka obnovované sítě v optimistické variantě představuje zhruba 45 % z celé fiktivní sítě. Průměrné tempo obnovy vychází na obnovu cca 53 m sítě za rok (2,28 % ročně). Vzhledem k tomu, že se jedná o fiktivní vodovodní síť, nemají tyto hodnoty žádný vypovídající charakter. Jsou zde uváděny pouze jako ukázka možných výsledků navržené metodiky.



Obrázek 15: Optimistická varianta plánu obnovy

Odhad celkových nákladů za dlouhodobé plánování na 20 let se podle zvolené míry inflace pohybuje cca 5,4 mil Kč do 8,9 mil Kč. Vzhledem k průběhu potřebné obnovy patrné z předchozího grafu mají potřebné náklady nejprve téměř konstantní velikost. V období od roku 2028 do roku 2038 dochází k nárůstu nákladů. Tento nárůst je zapříčiněn větším množstvím potřebné obnovy.

U varianty jedna představují náklady na obnovu cca 270 tis. Kč ročně, u varianty II vycházejí průměrné roční náklady na 345 tis. Kč ročně. U varianty III dojde ke zvýšení průměrných ročních nákladů na cca 450 tis. Kč ročně. Tyto náklady mají vzhledem k fiktivní vodovodní síti pouze informativní charakter a jsou zde uvedeny jenom jako ukázka možného výstupu navržené metodiky.



Obrázek 16: Odhad celkových nákladů na optimistickou variantu

4.1.2.2 Střední varianta

Střední variantou bylo na obnovu v průběhu 20 let navrženo celkem 1730 m sítě. Podle této varianty by v roce 2018 mělo dojít k obnově 300 m potrubí z šedé litiny. V období do roku 2023 bylo k obnově navrženo celkem 250 m potrubí, z toho 100 m z tvárné litiny a 150 m polyethylenu. Na třetí uvažované období (tj. za 10 let) bylo na obnovu navrženo 400 m sítě z šedé litiny. Největší délka obnovované části sítě připadá na období do roku 2033. V tomto období bylo navrženo obnovit celkem 700 m potrubí z šedé litiny. Naopak nejmenší délka připadá na poslední uvažované období – 80 m potrubí ze sklolaminátu.

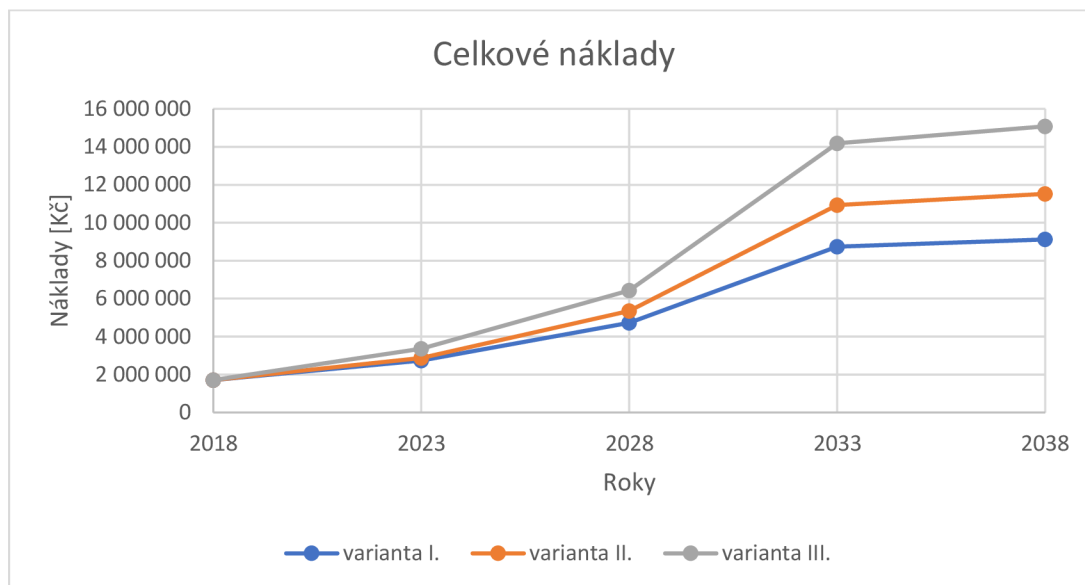
Celková délka sítě navržené na obnovu představuje cca 74 % celkové délky sítě. Průměrná roční obnova vychází na cca 87 m potrubí za rok (3,75 % ročně)



Obrázek 17: Střední varianta plánu obnovy

Celkové náklady na obnovu se u střední varianty plánu obnovy pohybují od 9,1 mil. Kč do 15 mil. Kč podle uvažované míry inflace. Pro první tři uvažovaná období dochází k přibližně rovnoměrnému růstu nákladů u všech variant výpočtu. To je způsobeno tím, že v těchto obdobích je navržena přibližně stejná délka obnovovaného potrubí. V dalším období dochází k nárůstu odhadovaných nákladů vlivem největšího obnovovaného úseku potrubí.

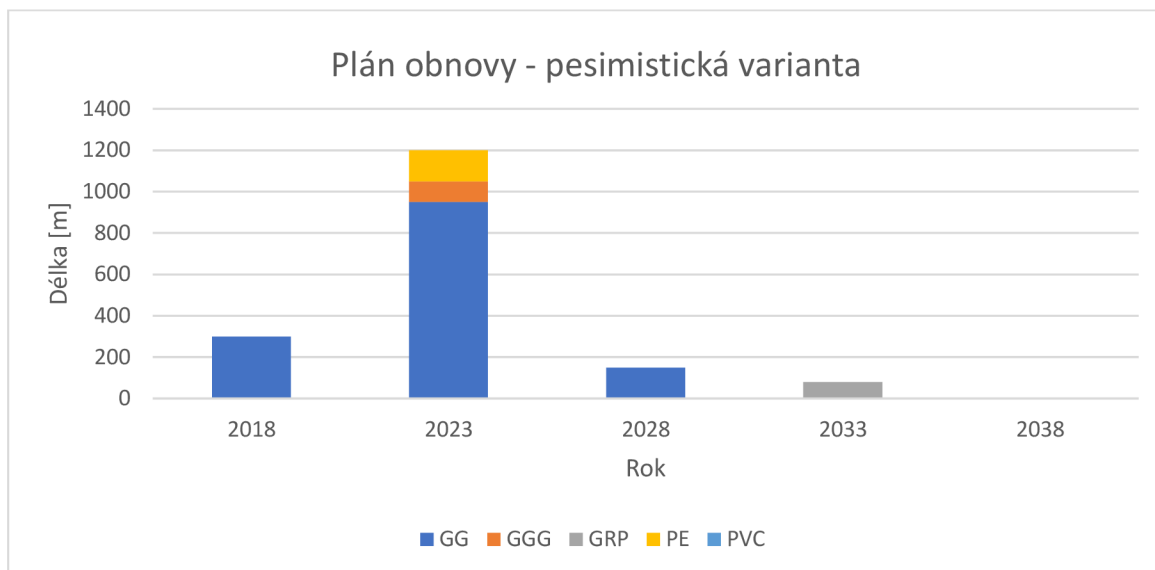
Ve variantě I. představují průměrné roční náklady cca 460 tis. Kč ročně, ve variantě II. dojde k navýšení nákladu na cca 576 tis. Kč ročně a ve variantě III. se průměrné roční náklady navýší dokonce na zhruba 754 tis. Kč ročně.



Obrázek 18: Odhad celkových nákladů na střední variantu obnovy

4.1.2.3 Pesimistická varianta

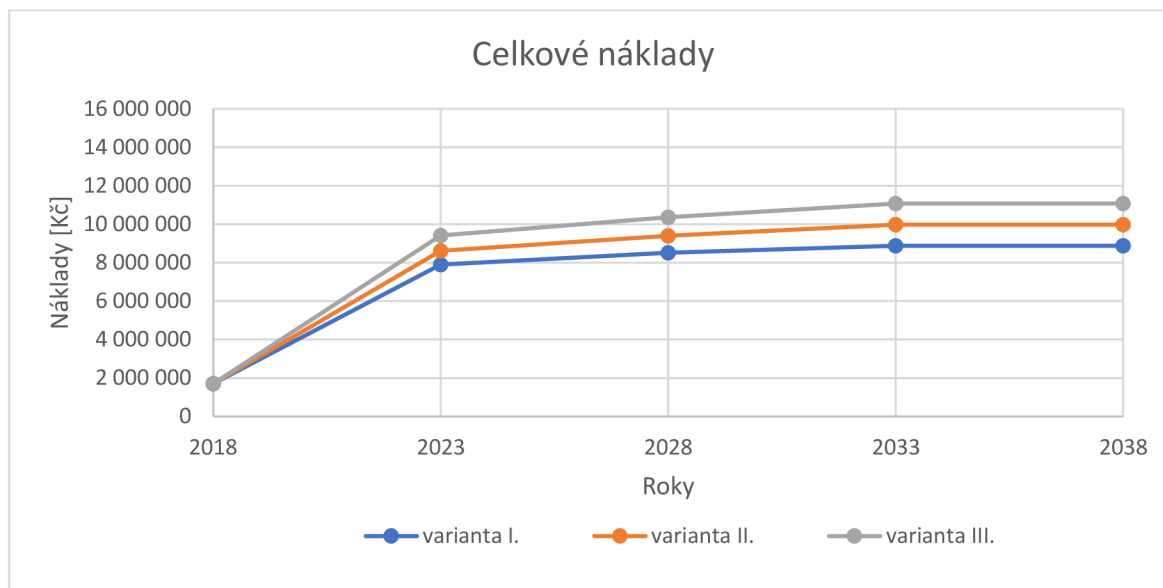
V poslední uvažované variantě dlouhodobého plánu obnovy bylo k obnovení navrženo celkem 1730 m fiktivní vodovodní sítě. V roce 2018 by mělo dojít k obnově 300 m potrubí z šedé litiny. Do období do roku 2023 se naakumulovalo největší množství obnovovaného potrubí. Celkem se jedná o 1200 m potrubí – 950 m vodovodu z šedé litiny, 100 m z tvárné litiny a 150 m z polyetylenu. V dalším období bylo k obnově navrženo 150 m potrubí z šedé litiny. Na období do roku 2033 bylo navrženo 80 m potrubí ze sklolaminátu. V pesimistické variantě není naplánována žádná obnova sítě v období do roku 2038. To je pravděpodobně způsobeno uvažovanou fiktivní sítí a jejím relativně malým rozsahem.



Obrázek 19: Pesimistická varianta plánu obnovy

Odhadované celkové náklady se u pesimistické varianty plánu obnovy pohybují od cca 8,9 mil. Kč do 11 mil. Kč. Největší nárůst nákladů nastává v období do roku 2023. To je způsobeno akumulací obnovované délky potrubí v tomto období. V následujících třech obdobích dochází pouze k malému nárůstu odhadovaných nákladů vzhledem k poměrně malým obnovovaným částem sítě.

Průměrné roční náklady pro variantu I. činí cca 440 tis. Kč. Pro variantu II. vychází roční náklady na cca 500 tis. Kč. Pro třetí variantu dojde k navýšení průměrných ročních nákladů na cca 550 tis. Kč ročně.



Obrázek 20: Odhad celkových nákladů na pesimistickou varianty obnovy

4.1.3 Porovnání jednotlivých variant

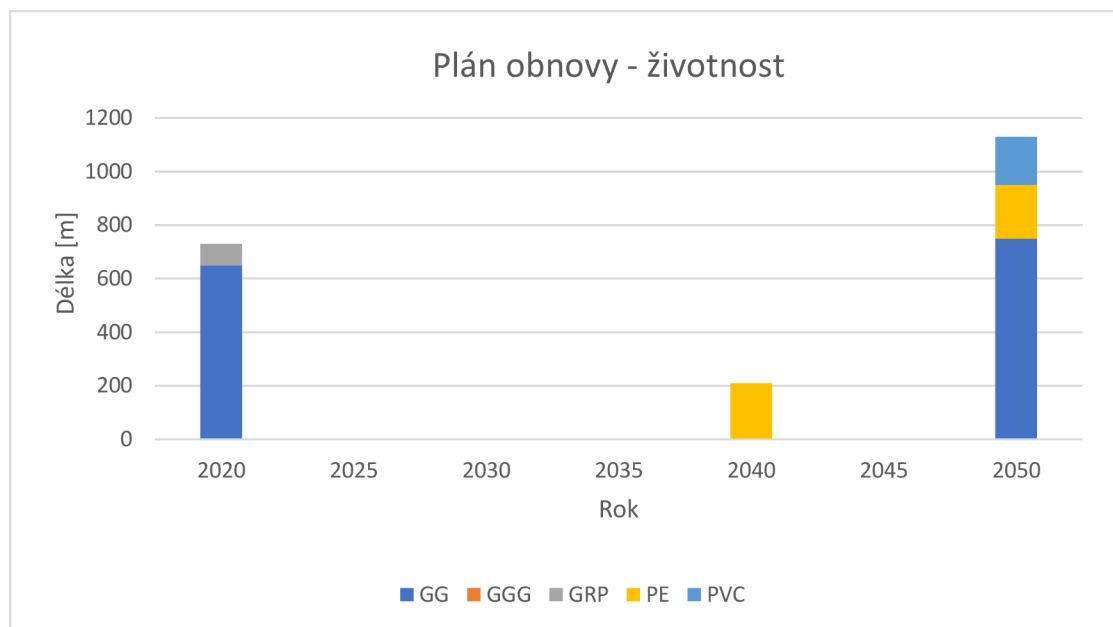
Výsledky jednotlivých třech posuzovaných variant dlouhodobých plánů obnovy se liší především v době, kdy je daný řad do plánu obnovy zařazen. Optimistická varianta předpokládá malé zhoršování technického stavu potrubí, tudíž dochází k „odsouvání“ obnovy jednotlivých řadů na pozdější dobu. Naopak pesimistická varianta uvažuje rychlé zhoršování technického stavu potrubí, tím pádem dochází k dřívější obnově celé sítě.

Průběh obnovy vyšel nejvíce rovnoměrně ve střední variantě, kdy byla v každém období obnovena přibližně stejná část sítě. Naopak v pesimistické variantě došlo k naakumulování obnovy poměrně velké části sítě do období do roku 2023. Tato akumulace je z hlediska financování obnovy velmi nevýhodná, protože by její provedení představovalo jednorázové vyložení značných finančních prostředků.

Z výsledků odhadovaných cen nákladů je patrné, že optimistická varianta nemusí znamenat nejmenší náklady, a naopak pesimistická varianta nemusí znamenat největší náklady na obnovu. V uvažované fiktivní síti byly celkové náklady ve střední variantě (cca 9,1 mil. Kč – 15 mil. Kč) vyšší, než uvažované celkové náklady v pesimistické variantě (8,9 mil. Kč – 11 mil. Kč). To je způsobeno tím, že v pesimistické variantě dojde k obnově největší části sítě dříve než ve střední variantě, tím pádem bude, vlivem inflace, obnova provedena za nižší cenu.

4.1.4 Porovnání s teoretickou životností potrubí

Pokud by se k plánování obnovy navržené fiktivní sítě přistupovalo pouze na základě teoretické životnosti, probíhal by plán obnovy podle následujícího obrázku.



Obrázek 21: Plán obnovy na základě životnosti potrubí

Uvažovaná životnost pro jednotlivé materiály je:

- Šedá litina: 90 let
- Tvárná litina: 100 let
- Sklolaminát: 50 let
- Polyetylen: 60 let
- Polyvinylchlorid: 50 let

Z uvedeného obrázku je patrné, že dojde k akumulaci potřebné obnovy v roce 2020 (730 m) a především v roce 2050 (1130 m). Navrhovaná metodika plánování obnovy tuto akumulaci rozmělnuje do plynulejšího tempa obnovování. To je způsobeno tím, že navrhovaná metodika bere životnost potrubí pouze jako jeden z posuzovaných faktorů.

Na druhou stranu dochází v navrhované metodice k obnově některých řadů dříve, než vyprší jejich teoretická životnost. Například část vodovodních řadů z šedé litiny má teoretickou životnost až do roku 2050, ale ve střední a pesimistické variantě navrženého plánu obnovy by k výměně těchto řadů došlo již v období kolem let 2020-2030 (tedy cca 20-30 let před koncem teoretické životnosti).

4.2 SKUTEČNÁ VODOVODNÍ SÍŤ – BABICE NAD SVITAVOU

4.2.1 Popis vodovodní sítě

Pro otestování navržené metodiky dlouhodobých plánů obnovy na skutečné vodovodní síti byla zvolena vodovodní síť obce Babice nad Svitavou. Babice nad Svitavou se nacházejí v Jihomoravském kraji zhruba 13 km severovýchodně od Brna. V současnosti zde žije cca 1300 obyvatel. Obec se nachází ve svažitém terénu. Nejvyšší místa v obci dosahují nadmořské výšky kolem 500 m n. m., nejnižší části obce se výškově pohybují okolo 380 m n. m. [20]

Vodovodní síť obce provozuje Vodárenská akciová společnost, a.s. – divize Brno-venkov. Vlastníkem vodovodní sítě je Svazek obcí pro vodovody a kanalizace Šlapanicko. [17] Vodovodní síť je zásobena z vodojemu Babice, který se nachází na okraji obce. Vodojem se skládá z dvou akumulčních nádrží o celkové kapacitě 200 m³. Maximální hladina ve vodojemu na kótě 502,15 m n. m. Součástí vodojemu je i automatická tlaková stanice. Vodojem je zásoben příváděcím řadem DN 125 z nedalekého Adamova. Materiál příváděcího řadu je částečně šedá litina a částečně PVC. Celková délka příváděcího řadu je cca 4000 m.

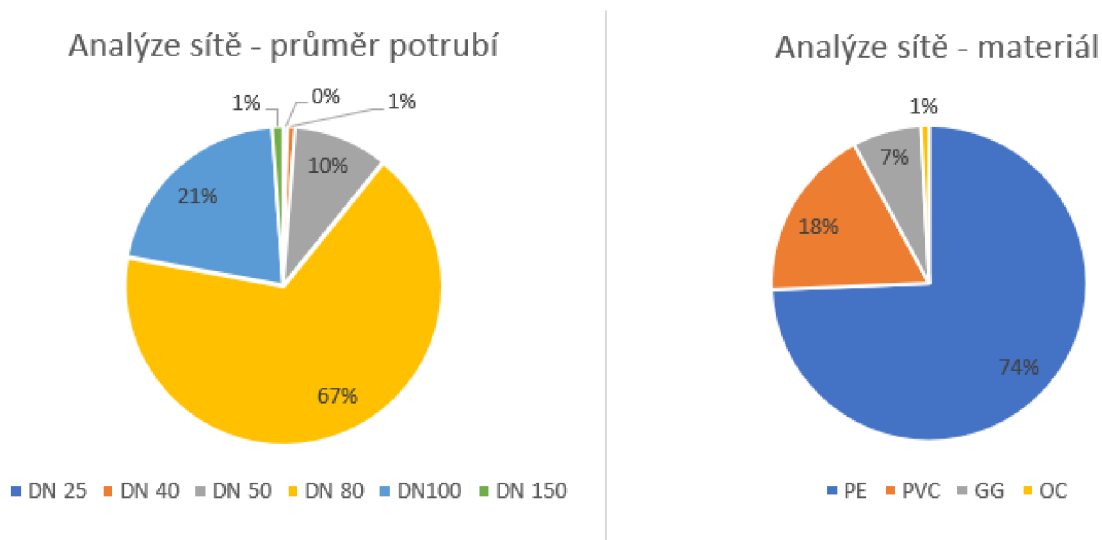


Obrázek 22: Schéma vodovodní sítě – Babice nad Svitavou [14]

Vzhledem k členitosti terénu a velkému převýšení je vodovodní síť rozdělena na 4 tlaková pásma. První tlakové pásmo s nejvyšší nadmořskou výškou je zásobeno z automatické tlakové stanice. Ostatní tlaková pásma jsou od sebe oddělena dvěma redukčními šachtami. Vstupní tlak do redukční šachty 1 je 6,5 bar, výstupní tlak je 2,5 bar. Vstupní tlak do redukční šachty 2 je 6,2 bar, výstupní tlak 2,2 bar. [19]

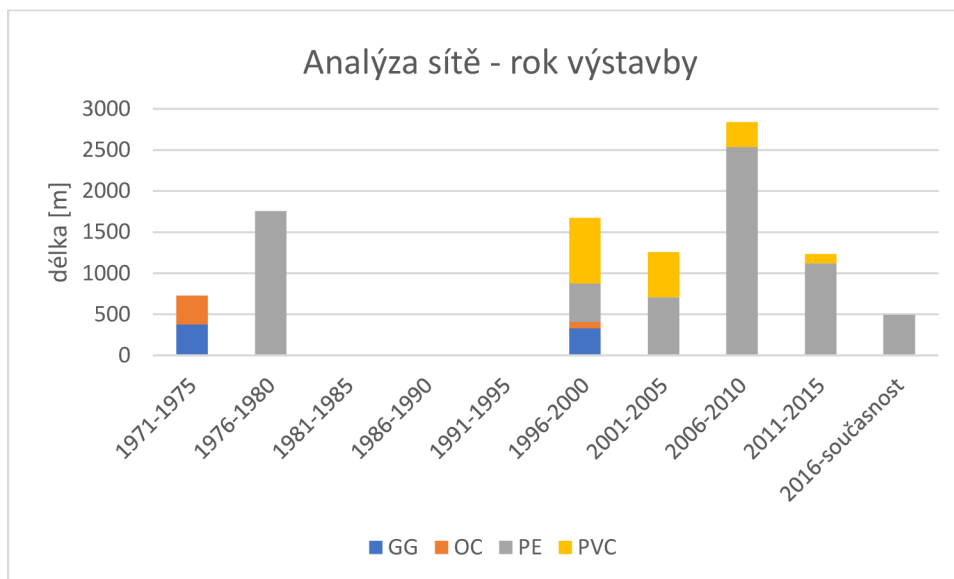
Celková délka vodovodní sítě je cca 10 km. Z této délky je nejvíce potrubí z polyetylenu – cca 7,4 km (74 % z celkové délky). Druhým nejvíce zastoupeným materiálem je PVC – cca 1,8 km (18 %). Dále se ve vodovodní síti obce vyskytuje porubí z šedé litiny o celkové délce zhruba 700 m (7 %). Nejméně je zastoupeno potrubí z oceli v délce 81 m (1 %).

Nejvíce zastoupeným průměrem potrubí je DN 80, kterého je cca 6,7 km (67 %). Největším profilem, který se vyskytuje ve vodovodní síti je profil DN 150 o celkové délce 110 m (1 %). Zajímavostí je, že se ve vodovodní síti obce Babice nad Svitavou vyskytují i velmi malé úseky s malými profily potrubí (DN 25 a DN 40). Délka tohoto potrubí však představuje pouze jedno procento z celkové délky potrubí. Zastoupení jednotlivých materiálů a jednotlivých profilů potrubí je patrné z následujícího obrázku (údaje na obrázku jsou zaokrouhlené na celá čísla).



Obrázek 23: Procentuální zastoupení podle průměru potrubí a materiálu

Nejstarší potrubí ve vodovodní síti pochází z roku 1973. Naopak nejmladší potrubí je z roku 2018. Časový průběh výstavby vodovodní sítě obce Babice nad Svitavou je patrný z následujícího grafu. Na ose x jsou zobrazena uvažovaná časová období rozdělená po 5 letech. Na svislé ose y je zobrazena délka postavené potrubí v daném časovém období v metrech. Barevně je v grafu rozděleno potrubí podle jednotlivých materiálů (viz legenda pod grafem).



Obrázek 24: Skutečná síť – rok výstavby

4.2.2 Použití navržené metodiky

4.2.2.1 Současný technický stav

Pro aplikování navržené metodiky dlouhodobých plánů obnovy byla vodovodní síť obce rozdělena na jednotlivé vodovodní řady. Těchto vodovodních řadů je celkem 64. Značení vodovodních řadů odpovídá jednotlivým tlakovým pásmům v obci. Tlaková pásma byla pro účely hodnocení označena A-D, poté následuje číslování řad jednotlivých řadů. Toto označení neodpovídá označení řadů, jaké používá provozovatel sítě.

Ukázka z provedení hodnocení a aplikování metodiky je v této kapitole podrobně předvedena na jednom vybraném vodovodním řadu. Obdobně bylo provedeno ohodnocení na všech 64 vodovodních řadech. Kompletní výsledky všech vodovodních řadů jsou k dispozici v elektronické příloze diplomové práce – Babice. Pro ukázkou byl vybrán vodovodní řad označený jako C4 z důvodu největší pestrosti dosažených výsledků.

Řad C4 byl postaven v roce 1973. Délka řadu je 165 m a potrubí je vyrobeno z šedé litiny. Průměr potrubí je DN 80. Za celou svojí dosavadní životnost byly na tomto řadu zaznamenány 2 poruchy. Výpočtem pak byla stanovena poruchovost na 0,27 pp/km/rok.

Podle základních údajů bylo nejprve provedeno hodnocení současného technického stavu. Vodovodní řad C4 byl ohodnocen známkou B, která znamená velmi dobrý technický stav. Hodnoty všech dílčích faktorů jsou uvedeny v elektronické příloze – Babice, na prvním listu s názvem „Vodovodní síť – Babice“. K celkem 3 faktorům se nepodařilo sehnat potřebné

informace. Jedná se o faktory: „Vývoj dynamiky poruch“, „Průměrný hydrodynamický tlak“ a „Kolísání hydrodynamického tlaku“. Tyto faktory byly pro všechny vodovodní řady hodnoceny 0. Výsledky jednotlivých ukazatelů jsou patrné z následujícího obrázku.

SOUČASNÝ TECHNICKÝ STAV

Hodnocení	Objekt, část	Váha
B	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
30	PERCENTO OPOTŘEBENÍ	
B	ST - Stavebně technické ukazatele	0.50
2	ST1 - Staří a stav vodovodního řadu	0.50
2	ST2 - Stavebně technické provedení řadu	0.40
3	ST3 - Protikorozní ochrana řadu	0.10
B	TP - Technologicko provozní ukazatele	0.50
1	TP1 - Poruchovost řadu	0.30
2	TP2 - Významnost řadu v pásmu	0.30
1	TP3 - Tlakové poměry na řadu	0.20
4	TP4 - Provozní ukazatel	0.20

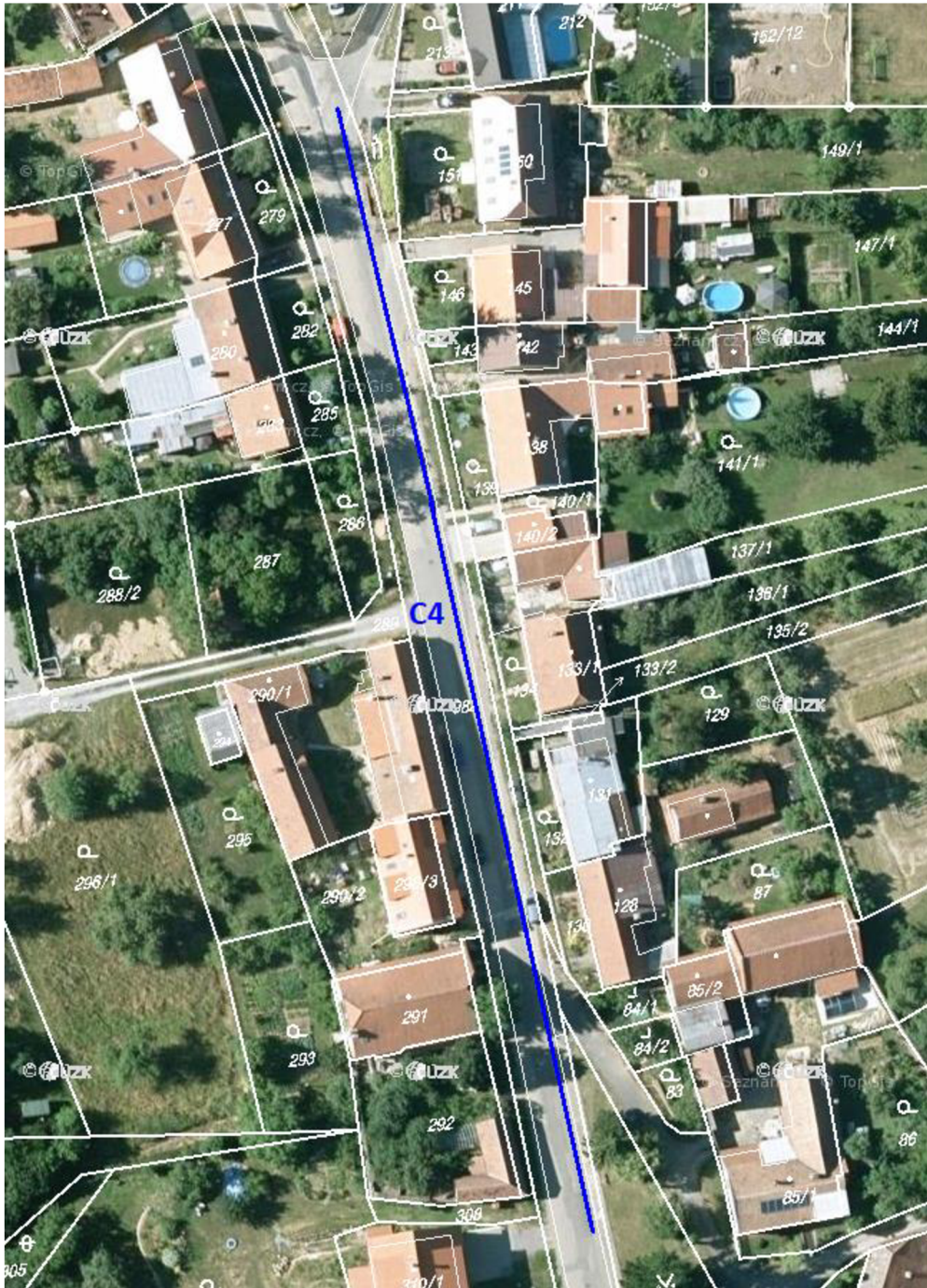
Obrázek 25: Současný technický stav vodovodního řadu C4

Většina údajů pro zjištění technického stavu byla poskytnuta Vodárenskou akciovou společností, a.s. Některé další údaje lze pak snadno zjistit z jiných zdrojů. Pro zjištění koordinace s ostatními sítěmi bylo osloveno 5 vlastníků a provozovatelů jiných inženýrských sítí, kteří poskytují informace o svých sítích zdarma. Osloveny byly tyto společnosti:

- E.ON Distribuce, a.s. – provozovatel elektrické distribuční sítě
- GasNet s. r. o. – provozovatel plynovodů
- CETIN a. s. – provozovatel telekomunikační sítě
- T-Mobile Czech Republic a.s. – provozovatel telekomunikační sítě
- Vodafone Czech Republic a. s. – provozovatel telekomunikační sítě

Z těchto společností v obci Babice nad Svitavou provozují svoje inženýrské sítě společnosti E.ON a CETIN. Obě společnosti poskytly informace o poloze sítí v elektronické podobě, tudíž se dalo u všech vodovodních řadů snadno určit faktor koordinace o ostatními sítěmi. Hodnota tohoto faktoru u řadu C4 byla ohodnocena známkou 2, což znamená souběh s ostatními inženýrskými sítěmi, ale nepříliš časté křížení sítí a dodržení minimálních vzdáleností.

Údaje o dopravním zatížení, počtu napojených obyvatel a hustotě přípojek lze snadno zjistit z mapových podkladů. Pro vodovodní řad byl počet napojených obyvatel odhadnut na 60-70. Počet napojovaných objektů byl odhadnut na cca 17, z čehož vyplývá hustota přípojek větší než 100 pp/km. Takto vysoká hustota přípojek se vyskytuje pouze u 3 vodovodních řadů v obci. Pro většinu ostatních řadů je typická hustota přípojek 50-100 pp/km.



Obrázek 26: Poloha vodovodního řadu C4 v katastrální mapě [15]

Faktor dopravního zatížení byl ohodnocen známkou 2, která znamená uložení v místní zpevněné komunikaci. Toto dopravní zatížení je specifické pro celou obec. Dalším často se vyskytujícím hodnocením faktoru dopravního zatížení je známka 1, která znamená uložení mimo komunikace, v zeleni. Hodnocení 3 se v celé obci nevyskytlo ani jednou, protože obcí neprochází žádná významná komunikace se silným dopravním zatížením.



Obrázek 27: Typická zástavba a komunikace v obci Babice nad Svitavou [16]

4.2.2.2 Odhad budoucího technického stavu

Na základě současného technického stavu byl proveden odhad budoucího technického stavu podle navržené metodiky. Ve všech třech variantách došlo v průběhu času ke zhoršení technického stavu. V optimistické variantě došlo v období za 20 let ke zhoršení na známku C+. Ve střední i pesimistické variantě došlo v období za 20 let ke zhoršení na známku D+. Tato známka již znamená zařazení vodovodního řadu do plánu obnovy. I když mají obě dvě tyto varianty stejné hodnocení, časový průběh se liší. Hodnocení vodovodního řadu C4 ve všech variantách a ve všech hodnocených obdobích je patrné z následujícího obrázku. Výsledky hodnocení ostatních vodovodních řadů jsou k dispozici v elektronické příloze Babice na listu „Zpracování“.

Optimistický					
současnost	za 5 let	za 10 let	za 15 let	za 20 let	
B	B	B	B-	C+	CELKOVÉ HODNOCENÍ
Střední					
současnost	za 5 let	za 10 let	za 15 let	za 20 let	
B	B-	B-	C+	D+	CELKOVÉ HODNOCENÍ
Pesimistický					
současnost	za 5 let	za 10 let	za 15 let	za 20 let	
B	C+	C	C-	D+	CELKOVÉ HODNOCENÍ

Obrázek 28: Souhrnné hodnocení řadu C4

Na následujících čtyřech obrázcích je zobrazeno hodnocení jednotlivých stavebně-technických a technologicko-provozních ukazatelů v hodnocených obdobích. U některých ukazatelů je patrné významné zhoršení v průběhu času, naopak u některých ukazatelů nedochází za celých 20 let odhadovaného vývoje k žádné změně.

Největší zhoršení je patrné na ukazateli Stáří a stav vodovodního řadu kdy dochází ke zhoršení známky z 2 (současný stav) až na hodnotu 4 (střední a pesimistická varianta za 20 let). Dalším významně se zhoršujícím ukazatelem je Poruchovost řadu. Ta dosahuje v současném stavu známky 1. Způsobem popsáním v kapitole 3.2.1 byl proveden odhad poruchovosti v následujících letech, který byl ve střední a pesimistické variantě za 20 let ohodnocen nejhorší možnou známkou 5.

Ukazatel, u kterého došlo pouze k minimální změně je Stavebně technické provedení řadu. Zde došlo ke zhoršení ze známky 2 (současný stav) na známku 3 (pesimistická varianta za 15 let). Toto zhoršení je způsobeno možnou zvýšenou koordinací s ostatními sítěmi. U ukazatele Významnosti řadu v pásmu došlo ke zhoršení ze známky 2 (současný stav) na známku 3 (střední a pesimistická varianta za 20 let). To je způsobeno očekávaným možným nárůstem počtu napojených obyvatel, případně připojení významného odběratele. Ukazatel Tlakové poměry na řadu zůstává po celou hodnocenou dobu nezměněn a je hodnocen známkou 1. Hodnocení 1 tohoto ukazatele převládá u naprosté většiny vodovodních řadů v obci.

ODHAD TECHNICKÉHO STAVU ZA 5 LET

Hodnocení			Objekt, část	Váha
optimistické	střední	pesimistické		
B	B-	C+	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
30	36	44	PROCENTO OPOTŘEBENÍ	
B	B	C	ST - Stavebně technické ukazatele	0.50
2	2	3	ST1 - Staří a stav vodovodního řadu	0.50
2	2	2	ST2 - Stavebně technické provedení řadu	0.40
3	3	5	ST3 - Protikorozi ochrana řadu	0.10
B	B	C	TP - Technologicko provozní ukazatele	0.50
1	3	3	TP1 - Poruchovost řadu	0.30
2	2	2	TP2 - Významnost řadu v pásmu	0.30
1	1	1	TP3 - Tlakové poměry na řadu	0.20
4	4	5	TP4 - Provozní ukazatel	0.20

Obrázek 29: Odhad technického stavu řadu C4 za 5 let

ODHAD TECHNICKÉHO STAVU ZA 10 LET

Hodnocení			Objekt, část	Váha
optimistické	střední	pesimistické		
B	B-	C	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
30	36	50	PROCENTO OPOTŘEBENÍ	
B	B	C	ST - Stavebně technické ukazatele	0.50
2	2	3	ST1 - Staří a stav vodovodního řadu	0.50
2	2	2	ST2 - Stavebně technické provedení řadu	0.40
3	3	5	ST3 - Protikorozi ochrana řadu	0.10
B	B	C	TP - Technologicko provozní ukazatele	0.50
1	3	5	TP1 - Poruchovost řadu	0.30
2	2	2	TP2 - Významnost řadu v pásmu	0.30
1	1	1	TP3 - Tlakové poměry na řadu	0.20
4	4	5	TP4 - Provozní ukazatel	0.20

Obrázek 30: Odhad technického stavu řadu C4 za 10 let

ODHAD TECHNICKÉHO STAVU ZA 15 LET

Hodnocení			Objekt, část	Váha
optimistické	střední	pesimistické		
B-	C+	C-	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
36	44	56	PROCENTO OPOTŘEBENÍ	
B	C	C	ST - Stavebně technické ukazatele	0.50
2	3	3	ST1 - Staří a stav vodovodního řadu	0.50
2	2	3	ST2 - Stavebně technické provedení řadu	0.40
3	5	5	ST3 - Protikorozní ochrana řadu	0.10
B	C	D	TP - Technologicko provozní ukazatele	0.50
3	3	5	TP1 - Poruchovost řadu	0.30
2	2	3	TP2 - Významnost řadu v pásmu	0.30
1	1	1	TP3 - Tlakové poměry na řadu	0.20
4	5	5	TP4 - Provozní ukazatel	0.20

Obrázek 31: Odhad technického stavu řadu C4 za 15 let

ODHAD TECHNICKÉHO STAVU ZA 20 LET

Hodnocení			Objekt, část	Váha
optimistické	střední	pesimistické		
C+	C-	D+	CELKOVÉ HODNOCENÍ	
42	61	67	PROCENTO OPOTŘEBENÍ	
C	D	D	ST - Stavebně technické ukazatele	0.50
3	4	4	ST1 - Staří a stav vodovodního řadu	0.50
2	3	3	ST2 - Stavebně technické provedení řadu	0.40
3	5	5	ST3 - Protikorozní ochrana řadu	0.10
B	C	D	TP - Technologicko provozní ukazatele	0.50
3	5	5	TP1 - Poruchovost řadu	0.30
2	2	3	TP2 - Významnost řadu v pásmu	0.30
1	1	1	TP3 - Tlakové poměry na řadu	0.20
4	5	5	TP4 - Provozní ukazatel	0.20

Obrázek 32: Odhad technického stavu řadu C4 za 20 let

4.2.2.3 Odhad potřebných nákladů na obnovu

Pro každý hodnocený řadu byl proveden odhad nákladů na jeho obnovu. Postup výpočtu je popsán v kapitole 3.2.4. Vodovodní řad je vyroben z šedé litiny DN 80 a délka řadu je 165 m. Pro koeficient k byla používána hodnota 0,85, která znamená ostatní obce. Vzhledem k materiálu, jmenovitému průměru potrubí a uložení řadu ve zpevněném povrchu

byla pro měrný cenový ukazatel c_{mu} použita hodnota 4000 Kč/bm. Vypočítané náklady na případnou obnovu vodovodního řadu C4 jsou patrné z následující tabulky.

Tabulka 19: Odhad nákladů na obnovu řadu C4

Výpočet cen	Cena [Kč]		
	I.	II.	III.
Současnost	-	561 000	-
Za 5 let	575 166	642 498	715 994
Za 10 let	589 690	735 836	913 810
Za 15 let	604 580	842 734	1 166 279
Za 20 let	619 846	965 160	1 488 500

Výpočet byl proveden pro každý vodovodní řad v obci Babice nad Svitavou. Výsledky pro ostatní řady jsou k dispozici v elektronické příloze diplomové práce – Babice, na listu „Zpracování“

4.2.3 Dlouhodobý plán obnovy obce Babice nad Svitavou

Po provedení všech hodnocení popsanych v předchozích 3 kapitolách pro všech 64 vodovodních řadů v obci, následuje vytvoření dlouhodobého plánu obnovy. Podle navržené metodiky má být do plánu obnovy zařazen takový vodovodní řad, který dosáhne hodnocení D+ a horší.

Ze všech vodovodních řadů v obci tohoto hodnocení však dosáhl pouze řad C4 zmíněný v přechozí kapitole, a to pouze ve střední a pesimistické variantě za 20 let. Dalšími nejhoršími dosaženými výsledky jsou: jedenkrát známka C- (pesimistická varianta za 20 let řadu C17) a u jedenácti řadů hodnocení C nebo C+. Takto hodnocené řady jsou ale ve vyhovujícím technickém stavu a není je potřeba zařazovat do plánů obnovy.

4.2.3.1 Střední a pesimistická varianta

Vzhledem k tomu, že do dlouhodobého plánu obnovy podle navržené metodiky byl zařazen pouze 1 vodovodní řad, který dosáhl stejného hodnocení (D+) ve střední i pesimistické variantě za 20 let, vypadá střední i pesimistická varianta dlouhodobého plánu obnovy stejně.

Podle obou variant by do 20 let mělo dojít k obnově 165 m potrubí z šedé litiny. Toto potrubí představuje cca 1,68 % celkové délky vodovodní sítě.



Obrázek 33: Střední varianta plánu obnovy vodovodní sítě obce Babice nad Svitavou

Odhad nákladů na obnovu se podle uvažované míry inflace pohybuje od cca 620 tis. Kč do cca 1,5 mil. Kč.

Obnovovaný řad je vyroben z šedé litiny. Teoretická živostnost šedé litiny je cca 90 let. Pokud by tedy mělo dojít k plánování obnovy pouze na základě životnosti materiálu potrubí, vodovodní řad C4 by měl být obnoven až kolem roku 2063.

To, že do dlouhodobého plánu obnovy byl v období následujících 20 let zahrnut pouze jeden vodovodní řad svědčí o výborném stavu vodovodní sítě obce Babice nad Svitavou. Hodnocení současného technického stavu v žádné části obce nedosáhlo horšího hodnocení než B.

5 ZÁVĚR

V první části diplomové práce byla vypracována rešerše týkající se současného stavu legislativy v České republice týkající se problematiky dlouhodobých plánů obnovy vodovodních sítí. Z rešerše vyplývá, že vlastníci vodárenské infrastruktury mají zákonnou povinnost zpracovávat Plány financování obnovy vodovodů a kanalizací, a to na dobu 10 let dopředu.

V další části práce byla provedena rešerše týkající se možných způsobů provádění dlouhodobých plánů obnovy vodovodních sítí. V této části jsou popsány možnosti, jakými lze dlouhodobým plánům přistupovat a různé metodiky používané v České republice a v zahraničí.

Hlavním tématem diplomové práce bylo navržení vlastní metodiky pro tvorbu dlouhodobých plánů obnovy založené na multikriteriálním hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury TEA Water. Z TEA Water byl použit modul TEAS, který slouží k hodnocení technického stavu vodovodních řadů. Tento modul byl rozšířen o odhad budoucího technického stavu v období za 5, za 10, za 15 a za 20 let. Dále byl popsán způsob, jak vytvářet odhad jednotlivých hodnocených faktorů. Vzhledem k nejistotám odhadu je odhad ve třech variantách – pesimistická, střední a optimistická. Součástí navržené metodiky je i odhad nákladů na obnovu, který počítá s třemi variantami inflace (růstu cenové hladiny).

Navržená metodika byla nejprve otestována na fiktivní vodovodní síti. Parametry a topologie fiktivní vodovodní sítě byly navrženy tak, aby došlo k vyzkoušení možností navržené metodiky. Výsledky dlouhodobého plánu obnovy byl zpracovány do přehledných grafů ukazujících potřebu obnovované části sítě v posuzovaném období 20 let.

Ověření použitelnosti navržené metodiky v praxi bylo testováno na vodovodní síti obce Babice nad Svitavou. Při tomto testování došlo ke spolupráci s Vodárenskou akciovou společností, a.s., která je provozovatelem této vodovodní sítě. Při provádění hodnocení technického stavu se nepodařilo zjistit potřebná data pro všechny hodnocené faktory. Nehodnocené faktory jsou: „*Vývoj dynamiky poruch*“, „*Průměrný hydrodynamický tlak*“ a „*Kolísání hydrodynamického tlaku*“. Po provedení hodnocení u všech 64 vodovodních řadů v obci došlo ke zjištění, že pouze jeden vodovodní řad (C4) splnil navržené podmínky pro zařazení do dlouhodobého plánu obnovy. To vypovídá o celkovém výborném stavu vodovodní sítě. Z tohoto důvodu jsou však výsledky dlouhodobého plánu obnovy obce Babice nad Svitavou poněkud jednodušší a nejsou na nich prezentovány veškeré možnosti navržené metodiky (grafické výstupy, procenta obnovy sítě, roční náklady na obnovu...) I tak přineslo otestování metodiky na skutečné vodovodní síti několik důležitých poznatků a prostoru pro zlepšení metodiky. Mezi nejvýznamnější patří:

- Náročnost na zpracování – hodnocení jednotlivých vodovodních řadů, a především zpracování výsledků, bylo prováděno ručně v softwaru Microsoft Excel. Pro případné použití na větší vodovodní sítě je nutné zautomatizování některých výpočtů, jinak je použití navrhované metodiky velmi časově náročné.
- Faktor koordinace s ostatními stavbami – koordinace s ostatními stavbami není navrženou metodikou vůbec zohledňována. Podle provozovatelů vodárenských sítí se však jedná o velmi důležitý faktor a je na něj při vytváření plánů obnovy často přihlíženo. Navrženou metodiku by tedy bylo vhodné o tento faktor rozšířit.
- Faktor ztráty vody – další faktor, který může hrát významnou roli při zařazování vodovodních řadů do plánu obnovy je faktor ztrát vody. Navržená metodika s tímto faktorem nepočítá a bylo by vhodné jej doplnit.
- Omezení hlavních faktorů – další možností pro zlepšení je určení hranic u hlavních faktorů. (např. poruchovosti) Po překročení určité navržené hodnoty by byl daný řad zařazen do plánů obnovy bez ohledu na výsledky ostatních faktorů.
- Úprava cenové hladiny – při odhadu nákladů na obnovu se vychází z metodiky Ministerstva zemědělství, která vychází z cen z roku 2009. Pro zpřesnění odhadu nákladů by bylo vhodné využít aktuální údaje, například ceníky v různých rozpočtových programech. Na tyto ceníky se však vztahují autorská práva a jejich použití je zpoplatněno.

Bylo by vhodné navrženou metodiku vyzkoušet na další skutečné vodovodní síti a ideálně výsledky dlouhodobého plánu porovnat s nějakým již existujícím plánem obnovy. Po odstranění nalezených nedostatků by navržená metodika mohla být použitelná v praxi, především pro obce s menší vodovodní sítí.

Hlavní výhodou navržené metodiky je zohlednění více provozních a technických ukazatelů při tvorbě dlouhodobého plánu. Tyto plány bývají často vytvářeny pouze na základě teoretické zbytkové životnosti materiálu potrubí, která nemusí správně vystihovat skutečný technický stav potrubí.

6 ZDROJE

- [1] RACLAVSKÝ, Jaroslav, Ladislav TUHOVČÁK a Stanislav MALANÍK. *Rekonstrukce vodohospodářských sítí*. Brno, 2006, 215 s.
- [2] *Zákon č. 274/2001 Sb.; o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. In: Česká Republika: Sběrka zákonů, 2001, číslo 274.
- [3] *Vyhláška č. 428/2001 Sb.; Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. In: Česká Republika: Sběrka zákonů, 2001, číslo 428.
- [4] *Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací (aktualizované) ceny objektů do Vybraných údajů majetkové evidence vodovodů a kanalizací, pro Plány rozvoje vodovodů a kanalizací a pro Plány financování obnovy vodovodů a kanalizací*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2010, 18 s.
- [5] *Technologie pro optimalizaci plánu obnovy vodovodních a kanalizačních sítí*. Vodovod.info [online]. Brno: Vodovod.info, 2016 [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/clanky/komerční-prezentace/333-technologie-pro-optimalizaci-planu-obnovy-vodovodnich-a-kanalizacnich-siti#.WMp23fk1-Uk>
- [6] ZHOU, Yi. *Deterioration and Optimal Rehabilitation Modelling for Urban Water Distribution Systems*. Čína, 2018. Disertace. Wuhan University. Vedoucí práce K. Vairavamoorthy, 249 s.
- [7] D'ERCOLE, Marianna a Maurizio RIGHETTI. *Rehabilitation planning of water distribution network through a reliability – based risk assessment*. 1. Bozen, Italy: Free University of Bozen, 2017, 14 s.
- [8] DEVERA, Jan Carlo. *Risk Assessment model for Pipe Rehabilitation and Replacement in a Water Distribution System*. 1. California, USA: Faculty of California Polytechnic State University, 2013, 127 s.
- [9] TUHOVČÁK, Ladislav. *Vybrané statě z vodárenství: Metodika hodnocení technického stavu vodovodů – TEA Water*. Brno, 2017.
- [10] TUHOVČÁK, Ladislav. *Vybrané statě z vodárenství: Plánování rekonstrukcí vodovodních sítí*. Brno, 2017.
- [11] *TEA Water* [online]. Brno [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.teawater.cz/>
- [12] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš SUCHÁČEK a Miloš TAUŠ. *Metodika hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury*. SOVAK. 2015, (12), 26-29. ISSN 1210-3039.

- [13] VESELÝ, Martin. *Žádost o spolupráci na diplomové práci* [elektronická pošta]. 19. listopadu 2018 [cit. 2018-12-30]. Osobní komunikace
- [14] Přehledná situace se zákresem vodovodů 1:50000. *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje* [online]. Brno: AQUATIS, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/GRAFIKA/PDF/Vodovody/BV_vod_50.pdf
- [15] [Katastrální území Babice nad Svitavou]. In: *IKatastr* [online]. 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://ikatastr.cz/#kde=49.28768,16.698,19&mapa=letecka&vrstvy=parcelybudovy&info=49.28877,16.69974>
- [16] [Babice nad Svitavou – panorama]. In: *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.6978175&y=49.2873385&z=18&pano=1&pid=47574256&yaw=6.126&fov=1.257&pitch=0.087>
- [17] [Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje - Babice nad Svitavou]. In: *Jihomoravský kraj* [online]. Brno: Krajský úřad Jihomoravského kraje, 2018 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: [https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/PRVK%20Brno-venkov/A.3%20Popisy%20vodovodu%20a%20kanalizaci%20v%20obcích%20\(karty%20obcí\)/374.doc](https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/PRVK%20Brno-venkov/A.3%20Popisy%20vodovodu%20a%20kanalizaci%20v%20obcích%20(karty%20obcí)/374.doc)
- [18] PETR, Tomáš. *Metodický pokyn pro výpočet ceny objektů pro PFOVK - aktualizace cen* [elektronická pošta]. 24. října 2018 [cit. 2018-12-30]. Osobní komunikace
- [19] SVOBODA, *Tlaky redukční šachty Babice nad Svitavou* [elektronická pošta]. 17. prosince 2018 [cit. 2018-12-30]. Osobní komunikace
- [20] *Babice nad Svitavou* [online]. Babice nad Svitavou: Galileo Corporation, 2018 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.babice-nad-svitavou.cz/>
- [21] Vodovody pro veřejnou potřebu. In: *Český statistický úřad* [online]. Praha: ČSÚ, 2018 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt-vyhledavani&vyhltext=vodovod&bkvt=dm9kb3ZvZA.&katalog=all&pvo=ZPR11#w=>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAD	... Computer Aided Design
CARE-W	... Computer Aided Rehabilitation of Water Network
CETIN	... Česká telekomunikační infrastruktura a.s.
ČOV	... Čistírna odpadních vod
ČR	... Česká republika
DI	... Stupeň dopadu (Degree of Impact)
DN	... Jmenovitý profil potrubí
F	... Faktor
FMEA	... Failure Mode and Effect Analysis
GG	... Šedá litina
GGG	... Tvárná litina
GIS	... Geografický informační systém
GRP	... Sklolaminát
ID	... Identifikační číslo
LTP	... Long-term Rehabilitation Planning nad Investment
OC	... Ocel
PE	... Polyetylen
PF	... Pravděpodobnost poruchy (Probability of Failure)
PFOVK	... Plán financování obnovy vodovodů nebo kanalizací
PVC	... Polyvinylchlorid
RSE	... Rehab Strategy Evaluator
RSM	... Rehab Strategy Manager
Sb.	... Sběrka
SČVK a.s.	... Severočeské vodovody a kanalizace, a.s.
ST	... Stavebně technická část
SVS a.s.	... Severočeská vodárenská společnost a.s.
SW	... Scenario Writer
TEA	... Technický a energetický audit (Technical and Energy Audit)
TEAA	... Technický a energetický audit pro vodojemy (Accumulation)
TEAM	... Technický a energetický audit pro příváděcí řady (Main)
TEAN	... Technický a energetický audit pro rozvodnou síť (Net)
TEAP	... Technický a energetický audit pro čerpací stanice (Pump)
TEAR	... Technický a energetický audit pro vodní zdroje (Resources)
TEAS	... Technický a energetický audit pro vodovodní síť (Single)
TEAT	... Technický a energetický audit pro úpravny vody (Treat)
TP	... Technologicko provozní část
TU	... Technický ukazatel
USA	... Spojené státy americké
UVHO	... Ústav vodního hospodářství obcí
VAS, a. s.	... Vodárenská akciová společnost, a. s.

VÚME ... Vybrané údaje majetkové evidence
VUT ... Vysoké učení technické v Brně

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1: Rozdělení druhů plánování obnovy [1].....	8
Tabulka 2: Tabulka PFOVK [3].....	10
Tabulka 3: Koeficienty velikosti obce k [4].....	11
Tabulka 4: Měrné cenové ukazatele C_{mu} v Kč/bm potrubí [4].....	12
Tabulka 5: Nejvýznamnější poruchy v případové studii města Laives [7].....	19
Tabulka 6: Životnost potrubí podle materiálů v rocích [8].....	21
Tabulka 7: Úprava zbytkové životnosti podle poruchovosti [8].....	22
Tabulka 8: Skóre pravděpodobnosti poruchy – PF [8].....	22
Tabulka 9: Hodnocení skóre DI [8].....	24
Tabulka 10: Vyhodnocení rizika [8].....	25
Tabulka 11: Kategorie hodnocení [12].....	32
Tabulka 12: Modul TEAS [11].....	32
Tabulka 13: Ohodnocení stáří potrubí podle materiálu [11].....	33
Tabulka 14: Hodnocení tlakových faktorů [11].....	39
Tabulka 15: Odhad roční míry inflace.....	41
Tabulka 16: Základní údaje fiktivní sítě.....	42
Tabulka 17: Hodnocení řadu A12.....	45
Tabulka 18: Odhad nákladů na obnovu řadu A12.....	46
Tabulka 19: Odhad nákladů na obnovu řadu C4.....	64

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Kritéria a jejich váha pro hodnocení technického stavu vodovodu [5]	14
Obrázek 2: Výstup – Mapa plánů rekonstrukce [5]	15
Obrázek 3: Dvacet nejvýznamnějších rizik seřazených podle velikosti [7]	20
Obrázek 4: Schéma výpočtu hodnocení rizik [8]	21
Obrázek 5: Matice rizik [8]	24
Obrázek 6: Výsledky případové studie Arroyo Grande [8]	26
Obrázek 7: Ukázka výstupu z nástroje RSM [10]	27
Obrázek 8: Moduly TEA Water [9]	29
Obrázek 9: Struktura hodnocení TEA Water [9]	30
Obrázek 10: Schéma postupu hodnocení objektu [9]	31
Obrázek 11: Vanová křivka poruchovosti [1]	37
Obrázek 12: Schéma fiktivní sítě	43
Obrázek 13: Fiktivní síť – rok výstavby	44
Obrázek 14: Ukázka z hodnocení – technický stav za 10 let	46
Obrázek 15: Optimistická varianta plánu obnovy	48
Obrázek 16: Odhad celkových nákladů na optimistickou variantu	49
Obrázek 17: Střední varianta plánu obnovy	50
Obrázek 18: Odhad celkových nákladů na střední variantu obnovy	51
Obrázek 19: Pesimistická varianta plánu obnovy	52
Obrázek 20: Odhad celkových nákladů na pesimistickou variantu obnovy	53
Obrázek 21: Plán obnovy na základě životnosti potrubí	54
Obrázek 22: Schéma vodovodní sítě – Babice nad Svitavou [14]	55

Obrázek 23: Procentuální zastoupení podle průměru potrubí a materiálu	56
Obrázek 24: Skutečná síť – rok výstavby	57
Obrázek 25: Současný technický stav vodovodního řadu C4	58
Obrázek 26: Poloha vodovodního řadu C4 v katastrální mapě [15]	59
Obrázek 27: Typická zástavba a komunikace v obci Babice nad Svitavou [16]	60
Obrázek 28: Souhrnné hodnocení řadu C4	61
Obrázek 29: Odhad technického stavu řadu C4 za 5 let	62
Obrázek 30: Odhad technického stavu řadu C4 za 10 let	62
Obrázek 31: Odhad technického stavu řadu C4 za 15 let	63
Obrázek 32: Odhad technického stavu řadu C4 za 20 let	63
Obrázek 33: Střední varianta plánu obnovy vodovodní sítě obce Babice nad Svitavou ..	65

SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ A ROVNIC

Rovnice (1): Teoretická doba akumulace [3]	9
Rovnice (2): Výsledná cena objektu pro měrný cenový ukazatel [4]	11
Rovnice (3): Výsledná cena objektu pro cenový ukazatel [4]	11
Rovnice (4): Výpočet ztrát podle Shamira a Howarda (1979) [8]	37

SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

1. Fiktivni_sit.xlsx

- Příloha se vztahuje ke kapitole 4.1. Fiktivní vodovodní síť. Příloha je ve formátu Microsoft Excel, je rozdělena na 5 listů a obsahuje kompletní výsledky provedení dlouhodobého plánu obnovy podle navržené metodiky.

2. Babice.xlsx

- Příloha se vztahuje ke kapitole 4.2. Skutečná vodovodní síť – Babice nad Svitavou. Příloha je ve formátu Microsoft Excel, je rozdělena na 5 listů. Obsahuje veškeré potřebné údaje o vodovodní síti obce Babice nad Svitavou a obsahuje výsledky provedení dlouhodobého plánu obnovy podle navržené metodiky.

SUMMARY

The first part of this diploma thesis is theoretical search about legislation in Czech Republic about long-term rehabilitation planning of water distributional network. Then there are shown different methods, that are used to rehabilitation planning in Czech Republic and abroad.

The main topic of this thesis is creating own method to make long-term rehabilitation plans. This method is based on TEA Water application. TEA Water is application to asset technical condition of water supply infrastructure. This application was extended to estimate future technical condition of water distribution mains (in 5 years, 10 years, 15 years and 20 years). Estimate is made in three variant (optimistic, middle and pesimistic). Another part of created method is estimate of rehabilitation costs.

This method was tested on fictional water distributional network. Technical condition of fictional network was designed to be very diverse (age, pipe material, pipe diameter, etc.). The diversion was good to test all kinds of different results of created method. Results of long-term rehabilitation plans are shown in clearly graphs.

Testing on real network was made on Babice nad Svitavou network. This testing was made in cooperation with Vodárenská akciová společnost, a. s. Data provided by this company shown, that water distibutional network is in very good condition. Only one water main was included in long-term rehabilitation plan. This is the reason why are results of testing very simple.

Despite those poor result, testing on real network gave valuable knowledge how to improve created method in future. After improving, this method could be useful tool to creating long-term rehabilitation plans. The biggest advantage is using multi-criterial evaluation, not only remainig life expectancy as many other methods.