



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU VODÁRENSKÉ INFRASTRUKTURY

TECHNICAL AUDIT OF WATER SUPPLY INFRASTRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Eliška Straková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV TUHOVČÁK, CSc.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Eliška Straková
Název	Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

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] TUHOVČÁK, L. Vybrané statě z vodárenství: Metodika hodnocení technického stavu vodovodů – TEA Water. Brno, 2017.
- [3] TEA Water [online]. Brno [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.teawater.cz/>
- [4] TUHOVČÁK, L.; SUCHÁČEK, T.; TAUŠ, M. Metodika hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. SOVAK. 2015, (12), 26-29. ISSN 1210-3039.
- [5] 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.
- [6] HOS, L. 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.
- [7] TANISTROVÁ, Lucie, Bc. Hodnocení technického stavu a posouzení rizik vodojemů. Brno, 2020. 104 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [8] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems. Cincinnati, 2012. Dostupné z: <http://nepis.epa.gov/Exe/>
- [9] 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: Sbírnka zákonů České republiky. 2001.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem bakalářské práce bude provedení zhodnocení technického stavu vybraných prvků vodárenské infrastruktury (zdroje, úpravy vody, přiváděcí řady, vodojemy, čerpací stanice, vodovodní síť, vodovodní řady) pro konkrétní systémy zásobování pitnou vodou s využitím metodiky technického auditu a softwarové aplikace TEA Water. Budou zpracovávána data z projektové, majetkové a provozní evidence doplněná osobní prohlídkou vybraných objektů, stanoveny hodnoty příslušných ukazatelů a provedeno jejich vyhodnocení. Předpokládá se spolupráce se slováckými vodárnami a kanalizacemi, a.s.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tématem hodnocení technického stavu vybraných prvků vodárenské infrastruktury. V teoretické části práce jsou vypsány legislativní požadavky na hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury, faktory ovlivňující technický stav a metody využívané k hodnocení v České republice i v zahraničí. Pro zpracování praktické části práce byla využita metodika technického auditu a softwarová aplikace TEA Water. Konkrétní moduly jsou v práci blíže popsány a následně aplikovány na vybraný systém zásobování pitnou vodou.

Klíčová slova

Technický stav, audit, metodika hodnocení, vodovodní síť, ztráty vody, vodojem

Abstract

This bachelor thesis deals with the topic of evaluating the technical condition of selected elements of water supply infrastructure. In the theoretical part of the thesis are listed the legislative requirements for evaluating the technical condition of water infrastructure, factors affecting the technical condition and methods used for evaluation in the Czech Republic and in the other countries. The methodology of technical audit and software application TEA Water were used for the elaboration of the practical part of thesis. Specific modules are described in thesis in more details and then applied to a selected drinking water supply system.

Keywords

Technical condition, audit, assessment methodology, water network, water losses, water tank

Bibliografická citace

Eliška Straková. *Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury*. Brno, 2021. 93 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Eliška Straková*

VUT ID studenta: *205723*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma závěrečné práce: *Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 28. května 2021

podpis autora

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Ladislavu Tuhovčákovi, CSc. za odborné vedení, vstřícnost a cenné rady k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji pracovníkům Slováckých vodáren a kanalizací, a. s. za umožnění osobní návštěvy vodárenských objektů a za ochotu při získávání potřebných dat k vypracování práce. Jmenovitě děkuji panu Karlu Čejkovi a panu Ing. Milanovi Večeřovi.

V Brně dne: 21. května 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
1. ÚVOD	14
2. TECHNICKÝ AUDIT VODÁRENSKÉ INFRASTRUKTURY	15
2.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY V ČR.....	15
2.1.1 <i>Zákon č. 274/2001 Sb.</i>	15
2.1.2 <i>Vyhláška č. 428/2001 Sb.</i>	16
2.1.3 <i>Majetková a provozní evidence</i>	16
2.2 POROVNÁNÍ LEGISLATIVY V ČR A NA SLOVENSKU	17
2.3 METODIKY VYUŽÍVANÉ VODÁRENSKÝMI SPOLEČNOSTMI V ČR	19
2.3.1 <i>Metodika společnosti DHI</i>	20
2.4 HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU JAKO PODKLAD PRO PFO.....	21
2.4.1 <i>PRVKŮK</i>	22
2.5 HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU JAKO PODKLAD PRO ZPRACOVÁNÍ RIZIKOVÉ ANALÝZY	22
3. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TECHNICKÝ STAV VODÁRENSKÝCH SÍTÍ	24
3.1 VLASTNÍ FAKTORY	25
3.1.1 <i>Materiál potrubí</i>	25
3.1.2 <i>Trubní spoje</i>	25
3.1.3 <i>Vnitřní a vnější ochrana před korozi</i>	25
3.1.4 <i>Vady z výroby</i>	26
3.1.5 <i>Poškození při manipulaci a skladování</i>	26
3.1.6 <i>Stáří potrubí</i>	26
3.1.7 <i>Jmenovitá světlost potrubí</i>	26
3.1.8 <i>Koroze a chemická degradace</i>	26
3.2 ENVIRONMENTÁLNÍ FAKTORY	27
3.2.1 <i>Vysoké teploty a pohyb zeminy</i>	27
3.2.2 <i>Nízké teploty</i>	28
3.2.3 <i>Sezónní změny</i>	28
3.2.4 <i>Další nebezpečí pohybu zeminy</i>	28
3.3 PROVOZNÍ FAKTORY.....	29
3.3.1 <i>Vnitřní tlak vody</i>	29
3.3.2 <i>Dřívější poruchy</i>	29
3.4 TLAKOVÉ POMĚRY VE VODOVODNÍ SÍTI.....	29
3.5 ZTRÁTY VODY	30
3.6 PORUCHOVOST	31
4. METODY HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU V ČR	35
4.1 RISK-BASED INSPECTION	37
4.2 METODY K INSPEKCI POTRUBÍ.....	37
4.2.1 <i>Základní NDT metody</i>	38
4.2.2 <i>Speciální NDT metody</i>	42

4.3	METODY K URČENÍ ZTRÁT VODY	46
4.3.1	Měření průtoků.....	46
4.3.2	Korelátory.....	47
4.3.3	Půdní mikrofony.....	48
4.3.4	Detekční plyn	48
4.3.5	Poslechové tyče.....	49
4.3.6	Satelitní analýza.....	49
4.3.7	SmartBall	50
4.3.8	Sahara.....	51
4.3.9	MTA Pipe-Inspector.....	52
4.3.10	WCS – Water control systems.....	53
4.4	METODY HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU V ZAHRANIČÍ.....	54
5.	APLIKACE TEA WATER.....	56
5.1	MODULY APLIKACE TEA WATER	58
5.1.1	TEAN – rozvodná síť.....	58
5.1.2	TEAA – vodojemy.....	59
5.2	PROSTŘEDÍ APLIKACE TEA WATER	60
6.	POSOUZENÍ VYBRANÉ VODOVODNÍ SÍŤE	65
6.1	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	66
6.1.1	Základní údaje o obci.....	66
6.1.2	Základní údaje o vodovodní síti v obci.....	67
6.2	VODOJEM PODOLÍ	69
6.2.1	Popis objektu.....	69
6.2.2	Hodnocení objektu	71
6.2.3	Fotodokumentace.....	75
6.3	VODOVODNÍ SÍŤ PODOLÍ	79
6.3.1	Popis vodovodní sítě.....	79
6.3.2	Hodnocení vodovodní sítě.....	81
7.	ZÁVĚR.....	83
8.	POUŽITÁ LITERATURA	85
	SUMMARY	91

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1</i> Prostředí aplikace MPVaK (verze 3.21.0.1)	17
<i>Obr. 2.2</i> Příklad rozdělení váhy kritérií pro vodovod a kanalizaci	20
<i>Obr. 3.1 a)</i> zlom po obvodu <i>b)</i> podélné rozdělení	24
<i>Obr. 3.2 a)</i> díra v potrubí <i>b)</i> porucha spoje	24
<i>Obr. 3.3</i> Přibližná doba výstavby potrubí z jednotlivých materiálů	25
<i>Obr. 3.4</i> Póry a nečistoty v materiálu potrubí	26
<i>Obr. 3.5</i> Grafitizace a bodová koroze potrubí	27
<i>Obr. 3.6</i> Vliv sezónních změn na stav potrubí	27
<i>Obr. 3.7</i> Důsledek bobtnání půdy	28
<i>Obr. 3.8</i> Voda nefakturovaná v roce 2019 v ČR [3]	31
<i>Obr. 3.9</i> Příklad analýzy faktorů – Austrálie, 2020 [25]	32
<i>Obr. 3.10</i> Poruchovost vztahena ke stáří potrubí – USA a Kanada, 2018 [27]	34
<i>Obr. 4.1</i> Vizuelní zkouška (VT) [38]	39
<i>Obr. 4.2</i> Penetračně kapilární zkouška (PT) [39]	39
<i>Obr. 4.3</i> Magnetická prášková zkouška (MT) [40]	40
<i>Obr. 4.4</i> Zkouška prozářením (RT) [41]	40
<i>Obr. 4.5</i> Zkouška ultrazvukem (UT) [42]	41
<i>Obr. 4.6</i> Metoda PEC [45]	42
<i>Obr. 4.7</i> Zkouška těsnosti (LT) [46]	43
<i>Obr. 4.8</i> Metoda SLOFEC™ [47]	43
<i>Obr. 4.9</i> Metoda Guided Waves [48]	44
<i>Obr. 4.10</i> Metoda TOFD [49]	44
<i>Obr. 4.11</i> Metoda Phased Array [50]	45
<i>Obr. 4.12</i> Metoda EMAT [51]	45
<i>Obr. 4.13</i> Technologie SmartBall [55]	50
<i>Obr. 4.14</i> Technologie Sahara [56]	51
<i>Obr. 4.15</i> Technologie MTA Pipe-inspector	52
<i>Obr. 4.16</i> MTA Pipe-inspector, vložení a vyjmutí [57]	52
<i>Obr. 4.17</i> Technologie WCS – Water control systems	53
<i>Obr. 4.18</i> WCS webové rozhraní [58]	54
<i>Obr. 5.1</i> Struktura hodnocení technického stavu objektu aplikací TEA Water	57
<i>Obr. 5.2</i> Postup hodnocení technického stavu	57
<i>Obr. 5.3</i> Aplikace TEA Water – detaily projektu	61
<i>Obr. 5.4</i> Aplikace TEA Water – vytvoření nového objektu	61
<i>Obr. 5.5</i> Aplikace TEA Water – základní údaje objektu	62
<i>Obr. 5.6</i> Aplikace TEA Water – hodnocení technického stavu	63
<i>Obr. 5.7</i> Aplikace TEA Water – výsledky auditu	63
<i>Obr. 5.8</i> Aplikace TEA Water – ukazatele a faktory	64

<i>Obr. 5.9 Aplikace TEA Water – ukazatele a faktory [60]</i>	64
<i>Obr. 6.1 Schéma vodovodní sítě obce Podolí</i>	65
<i>Obr. 6.2 Mapa obce Podolí</i>	66
<i>Obr. 6.3 Poloha obce Podolí</i>	67
<i>Obr. 6.4 Situace vodovodu v obci Podolí</i>	68
<i>Obr. 6.5 Provozní schéma vodojemu</i>	70
<i>Obr. 6.6 Hodnocení stavebně-technického stavu vodojemu</i>	72
<i>Obr. 6.7 Graf kolísání hladiny, chlorování a přítoku a odběru z vodojemu</i>	73
<i>Obr. 6.8 Hodnocení technologicko-provozního stavu vodojemu</i>	74
<i>Obr. 6.9 Souhrnné hodnocení VDJ Podolí</i>	74
<i>Obr. 6.10 Čelní pohled na vodojem</i>	75
<i>Obr. 6.11 Vstup do akumulární nádrže</i>	75
<i>Obr. 6.12 Akumulační nádrž vodojemu</i>	76
<i>Obr. 6.13 Odkrytá výztuž betonového stropu akumulární nádrže</i>	76
<i>Obr. 6.14 Degradace materiálu objektů akumulární nádrže vlivem stáří a koroze</i>	77
<i>Obr. 6.15 Vstup do armaturní komory</i>	77
<i>Obr. 6.16 Armaturní komora vodojemu</i>	78
<i>Obr. 6.17 Armaturní komora vodojemu</i>	78
<i>Obr. 6.18 Rozdělení materiálů po délce vodovodní sítě</i>	80
<i>Obr. 6.19 Graf závislosti délek potrubí, materiálů potrubí a roku zprovoznění</i>	80
<i>Obr. 6.20 Hodnocení stavebně-technického a technologicko-provozního stavu sítě</i>	82
<i>Obr. 6.21 Souhrnné hodnocení vodovodní sítě Podolí</i>	82

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2.1 Kategorie míry opotřebení majetku [10]</i>	18
<i>Tabulka 2.2 Počet vlastníků a provozovatelů vodohospodářské infrastruktury v ČR....</i>	19
<i>Tabulka 2.3 Tabulka plánu financování obnovy vodovodů a kanalizací [7]</i>	22
<i>Tabulka 3.1 Průměrná poruchovost jednotlivých materiálů – Polsko, 2015 [26]</i>	33
<i>Tabulka 3.2 Průměrná poruchovost materiálů potrubí – USA a Kanada, 2018</i>	33
<i>Tabulka 4.1 Metody hodnocení technického stavu – Kanada [59]</i>	55
<i>Tabulka 5.1 Kategorie hodnocení</i>	58
<i>Tabulka 5.2 Modul TEAN</i>	59
<i>Tabulka 5.3 Modul TEAA [60]</i>	60
<i>Tabulka 6.1 Výkonové parametry vodovodu Podolí</i>	67
<i>Tabulka 6.2 Informace o příváděcím řadu a rozvodných řadech obce Podolí</i>	79
<i>Tabulka 6.3 Základní statistické údaje vodovodní sítě</i>	80

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČR	Česká republika,
VUT	Vysoké učení technické v Brně,
FAST	Fakulta stavební,
ÚVHO	Ústav vodního hospodářství obcí,
MPVaK	Vybrané údaje majetkové a provozní evidence vodovodů a kanalizací,
VÚME	Vybrané údaje majetkové evidence,
VÚPE	Vybrané údaje provozní evidence,
IČME	Identifikační číslo majetkové evidence,
IČPE	Identifikační číslo provozní evidence,
MZe	Ministerstvo zemědělství,
SVS, a.s.	Severočeská vodárenská společnost, a.s.,
SČVK, a.s.	Severočeské vodovody a kanalizace, a.s.,
PVK, a.s.	Pražské vodovody a kanalizace, a.s.,
SVK a.s.	Slovácké vodárny a kanalizace a.s.,
EPA	United States Environmental Protection Agency,
DN	Jmenovitý průměr potrubí [mm],
ČOV	Čistírna odpadních vod,
VDJ	Vodojem,
A_h	Provozní objem vodojemu [m^3],
A_p	Požární objem vodojemu [m^3],
A_r	Rezervní objem vodojemu [m^3],
A_c	Celkový objem vodojemu [m^3],
PE	Polyethylen,
PVC	Polyvinylchlorid,
LT	Litina,
Q	Průtok [m^3/s ; l/s],
Q_d	Průměrný denní průtok [m^3/d],
Q_h	Maximální hodinový průtok [m^3/h],
Q_{max}	Maximální denní průtok [m^3/d],
Q_p	Požární průtok [l/s],
bm	Jednotka běžný metr,
PRVKÚK	Plán rozvoje vodovodů a kanalizací na území kraje,
PFO	Plán financování obnovy vodovodů,
SOVAK	Sdružení oboru vodovodů a kanalizací,
JUVNF	Jednotkový únik vody nefakturované,
VVR	Voda vyrobená k realizaci (voda dodaná do vodovodní sítě),
VFC	Voda fakturovaná celkem,

% VNF	Procento vody nefakturované,
% VNFP	Procento vody nefakturované na přípojku,
JÚVNF	Jednotkový únik vody nefakturované,
EIZ	Ekonomický index ztrát,
EI	Ekonomický index,
IZ	Index ztrát,
ILI	Infrastructure Leakage Index (index ztrát infrastruktury),
GIS	Geografický informační systém,
TIS	Technický informační systém,
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (dispečerské řízení a sběr dat),
RBI	Risk Based Inspection,
DT	Destructive Testing,
NDT	Non-destructive Testing,
VT	Visual Testing,
PT	Dye penetrant inspection,
MT	Magnetic-particle inspection,
RT	Radiographic testing,
UT	Ultrasonic Testing,
ET	Electromagnetic testing,
AT, AE	Acoustic emission,
PEC	Pulsed Eddy Current,
SLOFEC	Saturated Low Frequency Eddy Current,
TOFD	Time of flight diffraction,
EMAT	Electro-Magnetic Acoustic Transducer,
MMM	Metal Magnetic Memory,
EDMET	Electromagnetic method of metallic tubes,
DCVG	Direct Current Voltage Gradient,
TEA Water	Metodika Technického a Energetického Auditů,
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (analýza možného výskytu a vlivu vad),
TU	Technický ukazatel,
$L_{přep}$	Přepočtená délka sítě vztažená k dimenzi profilu DN 150.

1. ÚVOD

Historie vodovodů v ČR sahá až do počátku prvního osídlování území. Mezi první zdroje vody patřily studny a jímky na povrchovou a dešťovou vodu. Vodárenské systémy vyvinuté v období renesance byly v zásadě využívány až do moderní doby. S rozvojem techniky, který znamenal i vyšší nároky na hygienu a zvyšující se spotřebu vody, došlo k významnému rozvoji vodárenství. V místech, kde nebylo možné přivádět vodu samospádem, vznikaly vodní věže a jiné formy nadzemních nádrží a zdokonalila se také výstavba gravitačních vodovodů, jejichž odběrnými místy byly zejména kašny. Vodárenské objekty z přelomu 16. a 17. století byly využívány až do poloviny 19. století. Poté nastala moderní éra v zásobování pitnou vodou. V některých místech se ale tyto projekty podařilo realizovat až ve druhé polovině 20. století. [1]

Obecně lze říci, že systém zásobování pitnou vodou patří v současnosti společně s dodávkou elektrické energie mezi nejdůležitější prvky infrastruktury, jelikož je na jejich provozuschopnosti závislá řada odvětví, služeb a také obyvatelstvo. V souvislosti se zajištěním spolehlivého provozu je velmi aktuální otázkou obnova těchto systémů. Velká část vodovodních sítí se v dnešní době ocitá na hranici, nebo dokonce za hranici své teoretické životnosti. Tyto sítě pak vykazují více poruch a havárií, čemuž se provozovatelé a vlastníci snaží čelit často improvizovanými opravami. Ty však problém zpravidla neřeší, nýbrž jen odkládají a kumulují jeho intenzitu. [2]

Stárnutí vodovodní sítě dříve nebyla věnována příliš velká pozornost, nicméně v současnosti je snaha o systematický přístup k obnově a renovaci infrastruktury. Vlastníci vodárenské infrastruktury jsou nuceni především omezenými finančními prostředky pečlivě vybírat prvky určené k obnově. Z tohoto důvodu byla na ÚVHO na Fakultě stavební VUT vyvinuta aplikace TEA Water umožňující hodnocení základních objektů na vodovodní síti. To následně může pomoci vlastníkům k účelnějšímu rozdělení finančních prostředků určených k obnově infrastruktury. Aplikace by také mohla sjednotit metodiky využívané k hodnocení technického stavu infrastruktury, což by dalo společností možnost výsledky vzájemně porovnávat a vyhodnocovat.

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení technického stavu vybraných prvků vodárenské infrastruktury v obci Podolí. K posouzení bude využita metodika technického auditu a softwarová aplikace TEA Water. Budou zpracována data z projektové, majetkové a provozní evidence doplněná osobní prohlídkou vybraných objektů, stanoveny hodnoty příslušných ukazatelů a provedeno jejich vyhodnocení. Data budou poskytnuta společností Slovácké vodárny a kanalizace, a.s. Práce se bude konkrétně zabývat posouzením technického stavu vodovodní sítě a vodojemu. V teoretické části budou podrobně rozebrány náležitosti související s hodnocením technického stavu vodárenského systému, jako jsou legislativními požadavky, faktory ovlivňující technický stav a dostupné metody k hodnocení.

2. TECHNICKÝ AUDIT VODÁRENSKÉ INFRASTRUKTURY

Ve vodovodních sítích dochází každoročně ke značným ztrátám dopravované pitné vody v důsledku závad na potrubí.

V České republice byl v roce 2019 podíl ztrát vody v síti k celkovému množství vyrobené vody 14,5 % a každoročně dochází ke snižování tohoto čísla. [3]

V porovnání s dalšími zeměmi v Evropě patří Česká republika k lepšímu evropskému průměru. S výrazně vyššími ztrátami se potýká například Belgie, Španělsko, Finsko, Francie, Irsko, Itálie, Švédsko či Velká Británie. [4] Ve Velké Británii například ztráty dosahují až 22 %. [5]

Při poruchách je často také nutné přistoupit k omezením dodávky pitné vody. Na společnosti provozující tyto sítě je proto v současnosti vyvíjen velký tlak na snížení úniků vody, omezení přerušování dodávek vody a na zvýšení udržitelnosti.

Kvalitně provedený, spravovaný a udržovaný systém zásobování pitnou vodou má velmi významný vliv na kvalitu života, hygienu i zdraví obyvatel a tvoří jeden ze základních segmentů urbanizovaného území. Aby bylo možné systém kvalitně provozovat, je nezbytné znát zejména jeho stavebně-technický stav, na jehož základě je následně prováděna údržba a opravy. [2]

2.1 Legislativní požadavky v ČR

V České republice v současné době zákon nestanovuje žádnou metodiku, podle níž by mělo být prováděno vyhodnocení technického stavu systémů pro zásobování pitnou vodou. Provozovatelé a vlastníci vodovodů si vyhodnocení svých staveb zajišťují buďto sami s využitím svých dosavadních zkušeností, případně přebírají již vyhotovené metodiky. Další možností je pro provozovatele či vlastníky sítí zadání této práce jinému subjektu, který vyhodnocení za úplatu zpracuje. [2]

2.1.1 Zákon č. 274/2001 Sb.

Zákon 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), jakožto základní právní dokument v oblasti vodovodů a kanalizací v ČR, pojednává v § 8 odstavci 12 o povinnosti vlastníků vodovodů či kanalizací monitorovat technický stav svých objektů a na vyžádání tyto informace poskytnout ministerstvu ve stanovené lhůtě včetně specifikace nákladů na výstavbu nebo obnovu.

V § 38 je specifikován technický audit vodovodů a kanalizací jako specializovaná odborná činnost sloužící ke kontrole technického stavu vodovodů a kanalizací a k oprávněnosti vynaložených financí. Provedení technického auditu ministerstvo vyhlásí z vlastního podnětu nebo z podnětu obce, vlastníka či provozovatele vodovodu

nebo kanalizace, dále vodoprávního úřadu nebo krajského úřadu, úřadu pro ochranu hospodářské soutěže nebo ministerstva financí. Vlastník nebo provozovatel vodovodu nebo kanalizace je povinen poskytnout potřebné údaje k provedení technického auditu. Dle § 38 je výsledkem technického auditu zpráva se zjištěními a doporučeními ke zlepšení hospodárnosti provozu či rozvoje vodovodů a kanalizací. [6]

2.1.2 Vyhláška č. 428/2001 Sb.

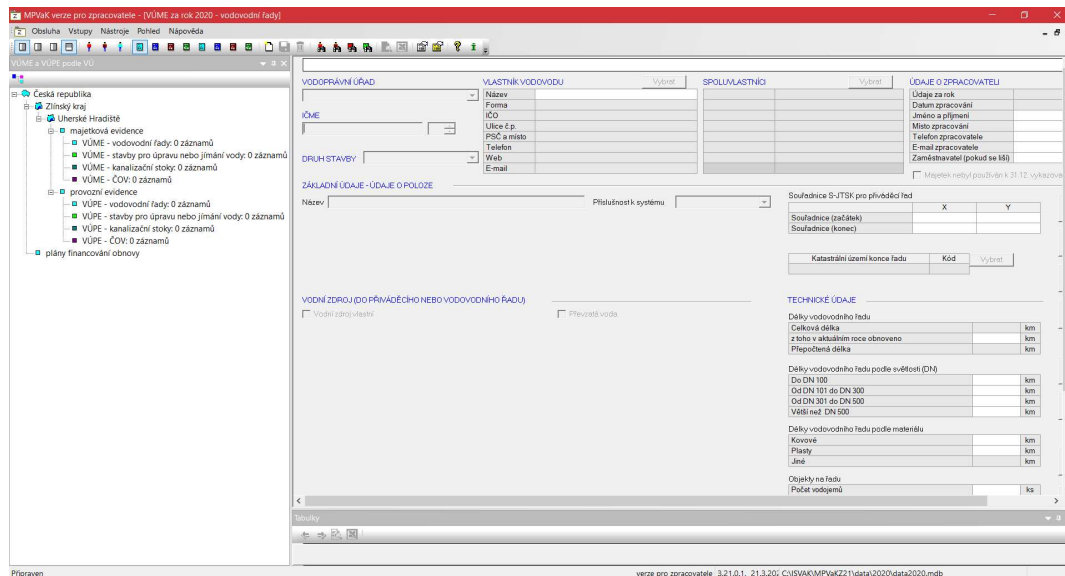
Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., definuje v části 15 § 36 podobu, kterou by měl mít technický audit. Z následujícího výčtu budou vybrány pouze body věcně příslušné dle konkrétního zadání:

- a) Úvod (zadání auditu),
- b) výchozí podklady (např. údaje provozní evidence, cenové kalkulace, smlouvy týkající se provozu),
- c) specifikace majetku podle majtkové evidence,
- d) provozní údaje (popis výroby a její vyhodnocení, zhodnocení zajištění jakosti vyráběné pitné vody a vypouštění odpadní vody, rozbor nákladů a cenových kalkulací, personální vyhodnocení – počet a zařazení zaměstnanců, popis a vyhodnocení smluvních vztahů),
- e) analýzu současného stavu (srovnávací a úvahou),
- f) závěry v oblastech (péče o infrastrukturní majetek a jeho provozuschopnost, provozování – výroba a vztah k odběratelům, ekonomie a ceny, smluvní vztahy),
- g) návrh opatření pro vlastníka vodovodu nebo kanalizace, obce, provozovatele, vodoprávní úřad a ministerstvo. [7]

2.1.3 Majetková a provozní evidence

Vyhláška 428/2001 Sb. ukládá vlastníkům vodovodů a kanalizací povinnost na vlastní náklady vést majetkovou a provozní evidenci svých vodovodů a kanalizací a vybrané údaje předat v předepsané elektronické formě v rozsahu příloh 1–8 vyhlášky územně příslušnému vodoprávnímu úřadu. Data jsou zpracovávána vždy za předchozí rok, nejpozději do 28. února.

Ministerstvo zemědělství nechalo zpracovat pro potřeby vyplnění a předání dat aplikaci MPVaK určenou pro zpracovatele evidence, která je zdarma ke stažení na stránkách eagri.cz. Součástí aplikace je uživatelská příručka pro vyplnění dat VÚPE a VÚME, stručný úvod, jak postupovat při prvním spuštění aplikace a dále návod, jakým způsobem data předat příslušnému vodoprávnímu úřadu. [8]



Obr. 2.1 Prostředí aplikace MPVaK (verze 3.21.0.1)

Z výše uvedeného vyplývá, že legislativa stanovuje povinnost hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury, ale nepředkládá metody k samotné realizaci hodnocení ani ukazatele, kterými má být vodovodní síť popsána.

V ČR doposud nebyl vytvořen jednotný postup pro provádění auditu. Z toho důvodu v praxi každá vodárenská společnost hodnotí svůj majetek procentem opotřebením na základě svého uvážení, což vede k tomu, že není možné objektivně porovnávat technický stav systémů zásobování pitnou vodou mezi jednotlivými společnostmi. [9]

2.2 Porovnání legislativy v ČR a na Slovensku

Na Slovensku, obdobně jako v ČR, jsou práva a povinnosti vlastníků a provozovatelů vodovodů a kanalizací dána zákonem. Nejdůležitějším zákonem v této oblasti je zákon č. 442/2002 Z. z. o veřejných vodovodech a veřejných kanalizacích a o změně a doplnění zákona č. 276/2001 Z. z. o regulaci v síťových odvětvích. Podle prvního odstavce paragrafu 15 je vlastník veřejného vodovodu povinen zpracovat plán obnovy veřejného vodovodu na nejméně 10 let a obnovu následně v souladu s tímto plánem realizovat.

Bližší se plánem obnovy veřejného vodovodu zabývá vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 262/2010 Z. z., kterou se ustanovuje obsah plánu obnovy veřejného vodovodu a postup k jeho vypracování.

V paragrafu 1 je uveden postup vypracování plánu obnovy, který by dle této vyhlášky měl obsahovat mimo jiné posouzení existujících informací o stavu objektů a zařízení veřejných vodovodů, zatřídění na základě posouzení stavu objektů a specifické nedostatky technického stavu objektů.

Paragraf 4 se dále zabývá posouzením technického stavu. Jsou zde definovány 4 základní ukazatele:

- a) věk,
- b) poruchovost,
- c) stav využití kapacity a
- d) soulad s platnou právní úpravou a s požadavky určenými v povoleních na vodní stavby.

Objekty a zařízení veřejných vodovodů se po posouzení jejich technického stavu zařadí do těchto tříd, které vyhláška stanovuje:

- a) T1 – vyhovující hodnota ukazatele, která nevyžaduje žádné opatření v rámci obnovy,
- b) T2 – průměrná hodnota ukazatele, která nevyžaduje okamžité řešení a je potřeba potenciálně uvažovat s obnovou,
- c) T3 – kritická hodnota ukazatele, která vyžaduje realizaci opatření na řešení existujícího stavu a je potřeba plánovat obnovu,
- d) T4 – nevyhovující hodnota ukazatele, která indikuje, že objekt a zařízení si vyžaduje obnovu nevyhnutelně, jsou ohroženy jeho základní funkce a představuje zvýšené riziko.

Po zařazení do příslušné třídy se stanoví míra opotřebení, kterou je vyjádřena naléhavost potřeby obnovy. Míra opotřebení se vypočítá jako součin tříd posuzovaných technických ukazatelů.

Zatřídění do kategorie míry opatření se provede podle tabulky 1, která je uvedena v přílohách vyhlášky.

Kategorie míry opotřebení	Popis prioritizace (naléhavosti) obnovy	Rozsah hodnot míry opotřebení majetku pro příslušnou kategorii
MOM – 1. kategorie	vyhovující hodnota míry opotřebení majetku, která nevyžaduje žádné opatření v rámci obnovy	1 – 16 ale žádný ukazatel, okrem věku, nesmie byť zaradený do T4
MOM – 2. kategorie	vyhovující hodnota, ktorá nevyžaduje žádné opatření v rámci obnovy (potenciálně treba uvažovať s obnovou)	17 – 36 ale žádný ukazatel, okrem věku, nesmie byť zaradený do T4
MOM – 3. kategorie	kritické hodnoty, ktoré vyžadujú realizáciu opatření na riešenie existujúceho stavu (treba plánovať obnovu)	37 – 144
MOM – 4. kategorie	nežiaduci stav existujúceho majetku, ktorý vyžaduje obnovu prioritne, nakoľko sú ohrozené jeho základné funkcie a predstavuje zvýšené riziko	145 – 256

Tabulka 2.1 Kategorie míry opotřebení majetku [10]

Narozdíl od ČR tedy Slovenská republika předkládá metodiku k hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. Jelikož jsou kritéria poměrně přesně

stanovena, je tím více omezeno subjektivní ovlivnění hodnocení a výsledky lze lépe porovnávat mezi jednotlivými vodárenskými společnostmi.

Výhodou této metodiky hodnocení technického stavu je bezpochyby její jednoduchost a přehlednost, což se ale ve výsledku stává i jejím zásadním nedostatkem. Metodika není přizpůsobena k hodnocení objektů vodovodní sítě, jako jsou jímací objekty, úpravny vody, čerpací stanice nebo vodojemy, a její aplikace právě na tyto objekty je velmi obtížná a pro hodnotitele bude náročné ukazatele správně zatřídit.

2.3 Metodiky využívané vodárenskými společnostmi v ČR

V roce 2015 existovalo v ČR více než 5000 vlastníků a více než 2000 provozovatelů vodárenské infrastruktury. Kromě velkých vlastníků a provozovatelů je zde také velké množství malých, a zejména ti pak mohou čelit problémům týkajících se obnovy, zejména pak plánování a dostupnosti potřebných finančních prostředků. [11]

V tabulce 2 zpracované Ministerstvem zemědělství v roce 2020 lze vidět porovnání počtu vlastníků a provozovatelů vodárenské infrastruktury z dat VÚME a VÚPE v letech 2014–2019. Každoroční nárůst počtu vlastníků je způsoben především výstavbou nové vodohospodářské infrastruktury a zvýšenou aktivitou MZe při zajišťování jejich evidence. [12]

Ukazatel	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Index % 2019/2018
Vlastníci	6 270	6 433	6 668	6 795	6 932	7 480	107,9
Provozovatelé	2 571	2 745	2 853	2 878	2 941	2 992	101,7

Tabulka 2.2 Počet vlastníků a provozovatelů vodohospodářské infrastruktury v ČR

V roce 2012 byl Ústavem vodního hospodářství obcí FAST VUT v Brně proveden dotazníkový průzkum. Z něj vyšlo, že i mezi velkými společnostmi není znalost technického stavu vlastněné či provozované infrastruktury pravidlem. Dotazník byl zaslán 50 největším společnostem z pohledu objemu vody vyrobené k realizaci, které představují asi 90 % dodávané pitné vody v ČR. Nazpět bylo získáno 27 vyplněných dotazníků (54 %). Výsledky dotazníku byly následující:

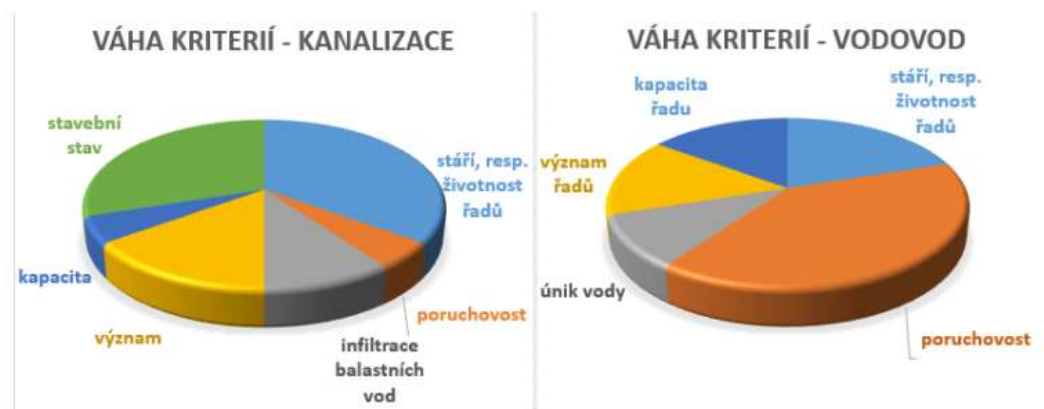
- Nazpět bylo získáno 27 vyplněných dotazníků (54 %),
- 93 % dotázaných uvedlo, že mají zpracované plány financování obnovy,
- Pouze 59 % společností mělo zpracovány krátkodobé roční plány obnovy, ještě méně společností disponovalo střednědobými plány obnovy a jen malá část oslovených společností měla dlouhodobé plány obnovy,
- 59 % dotázaných společností provádělo v té době hodnocení technického stavu vodovodů v určité časové periodicitě. [11]

2.3.1 Metodika společnosti DHI

Jednou z metodik pro systematické plánování obnovy vodohospodářských objektů je metodika společnosti DHI. Metodika je určena pro vodovodní i kanalizační sítě. Její vyhodnocení je založeno na multikriteriální analýze, kde volba kritérií i způsob k jejich vyhodnocení jsou volitelné. Je podporováno provázání na celkovou koncepci rozvoje infrastruktury a také provázání s GIS, s programovými prostředky pro hodnocení úniků vody atd. Metodika simuluje proces stárnutí sítě a rekonstrukci kritických úseků v následujících letech. Metodika nabízí podporu ke zpracování poruch, úniků vody, koordinaci s finančním plánem i technickou a finanční optimalizaci. Program je možné implementovat jako běžnou uživatelskou aplikaci i jako klient-server aplikaci. Je dostupná jako desktop i jako webové uživatelské rozhraní.

Postup byl využit například v Praze a dalších významných městech spravovaných SVS a.s. a provozovaných SČVK a.s., kde je plán obnovy součástí každého generelu zásobování vodou. V Olomouci byl zpracován obsáhlý projekt generelu vodohospodářské infrastruktury, jehož součástí byl i plán obnovy vodovodů a kanalizací. Dále byl takto zpracován plán obnovy kanalizační sítě v Mariánských Lázních a plán obnovy kanalizační a vodovodní sítě v Táboře, kde je program soustavně využíván.

Metodika využívá jednotlivé technické ukazatele, kterým je následně přiřazena váha dle jejich významu pro technický stav sítě a plánování rekonstrukcí. Na obrázku 2.2 je uveden příklad rozdělení váhy kritérií. Volba metodiky a způsobu hodnocení technického stavu infrastruktury ale vždy vychází z konkrétních potřeb vlastníka nebo provozovatele.



Obr. 2.2 Příklad rozdělení váhy kritérií pro vodovod a kanalizaci

Dle zkušeností byly jako základní technické ukazatele pro vodovod použity:

- Kapacita řadu,
- stáří, resp. životnost řadů,
- poruchovost,
- únik vody a
- význam řadů.

Výběr dalších technických ukazatelů vychází ze zkušeností a priorit.

Výsledkem analýzy technických ukazatelů je celkový počet vážených bodů, přičemž maximální počet je obvykle 1000. Na základě toho je následně určen časový požadavek na investice nebo obnovu vodovodní či kanalizační sítě. Hraniční limit pro zařazení určitého segmentu posuzované sítě do plánu investic je, dle odborných zkušeností a např. pražských standardů, obvykle překročení hodnoty 550–610 bodů.

Vyhodnocení technického stavu a návrh priority obnovy se opírá o hromadné zpracování dat. Základní technické ukazatele pro hodnocení jsou určovány na základě podkladů z GIS. Provozní vstupy jsou získávány z databáze technicko-provozní evidence (TIS), z měřených dat přístupných na portálu SCADA nebo jiných provozních aplikací.

Stanovení optimální dlouhodobé strategie obnovy by mělo být softwarově podpořeno vhodnými nástroji plánování. Potřeba využití nástrojů vyplývá zejména z velkého objemu vstupních dat a potřeby automatizace procesů vyhodnocení technického stavu sítí dle dílčích kritérií. Časovou náročnost dílčích výpočtů zvyšuje potřeba predikce a plánování obnovy sítí v dlouhodobého horizontu. Z těchto důvodů je bez vhodného softwarového nástroje proces optimalizace plánu obnovy vodovodních a kanalizačních sítí dnes již těžko představitelný. [13]

2.4 Hodnocení technického stavu jako podklad pro PFO

Zákon 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích ukládá vlastníkovu vodovodní sítě povinnost zpracovat a realizovat plán financování obnovy vodovodů. Vlastník vodovodu by tak měl každoročně vynaložit určité množství finančních prostředků na kontrolu technického stavu tohoto stavebního objektu a jeho následnou obnovu. V praxi ale bohužel stále častěji dochází k situaci, kdy finanční prostředky na obnovu vodovodních sítí jsou natolik kráceny, že jen stěží pokryjí náklady na havarijní opravy vodovodů a jejich následná obnova tedy není z finančního hlediska možná, ačkoliv je podložena platnou legislativou. [2]

Vyhláška č. 428/2001 Sb. specifikuje obsah plánu financování obnovy vodovodů a kanalizací a pravidla pro jeho zpracování. Dle § 13 je obsahem plánu financování obnovy vodovodů a kanalizací:

- a) *„Vymezení infrastrukturního majetku v členění podle vybraných údajů majetkové evidence v reprodukční pořizovací ceně,*
- b) *vyhodnocení stavu majetku vyjádřené v procentech opotřebení,*
- c) *uvedení teoretické doby akumulace finančních prostředků,*
- d) *roční potřeba finančních prostředků a její krytí,*
- e) *doklady o čerpání vytvořených finančních prostředků včetně faktur nebo jejich kopií.“ [7]*

Všechny údaje se zpracovávají do tabulky uvedené v příloze č. 18 k vyhlášce č. 428/2001 Sb. Ve čtvrtém sloupci této tabulky je potřeba vyplnit stav majetku vyjádřený v procentech opotřebení. Způsob stanovení opotřebení není ve vyhlášce pevně určen.

Vlastník může využít svoji metodiku nebo procento odvodit z délky životnosti. Určení procent za větší celky se provede váženým průměrem podle ceny.

Číslo řádku	Majetek podle skupin pro vybrané údaje majetkové evidence (VÚME)	Hodnota majetku v reprodukční pořizovací ceně ** podle VÚME v mil. Kč na 2 desetinná místa	Stav majetku vyjádřený v % opotřebení	Teoretická doba akumulace finančních prostředků v počtu let	Délka potrubí v roce schválení plánu v km	Finanční prostředky zajišťované na obnovu* vodovodů a kanalizací v mil. Kč na 2 desetinná místa						
						Od roku 2009-2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024-2030
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	Vodovody, přiváděcí řady + rozvodná						+					
3	vodovodní síť						**					
4	Úpravny vody + zdroje bez úpravy						+					
5							**					
6	Technologie ***						+					
7							**					
8							+					
9	Vodovody celkem						**					
10	Kanalizace, přiváděcí stoky+ stoková síť						+					
11							**					
12	Čistírný odpadních vod						+					
13							**					
14	Technologie ***						+					
15							**					
16	Kanalizace celkem						+					
17							**					
18	CELKEM						+					
19	Celkem prostředky z vodného a stočného: řádky 2,4,6,10, 12,14						**					
20	Celkem finanční prostředky ostatní: řádky 3,5,7,11, 13, 15						+					

Tabulka 2.3 Tabulka plánu financování obnovy vodovodů a kanalizací [7]

2.4.1 PRVKÚK

Plány rozvoje vodovodů a kanalizací území krajů ČR jsou základním prvkem plánování v oboru vodovodů a kanalizací. Jejich obsahem je koncepce řešení zásobování pitnou vodou a koncepce odkanalizování a čištění odpadních vod v určitém územním celku. Základním a rozhodujícím hlediskem pro každé řešení zásobování pitnou vodou, odkanalizování a čištění odpadních vod musí být udržitelný rozvoj. Ten je možné zajistit jen, pokud je možné na něj generovat finanční prostředky na obnovu vodohospodářské infrastruktury v reálných sociálně únosných cenách pro vodné a stočné. [14]

PRVKÚK je potřeba průběžně doplňovat, aby byl stále aktuální. Jedním z hlavních důvodů pro nutnost aktualizace je ten, kdy současný stav zásobování pitnou vodou, odkanalizování a čištění odpadních vod v obci nebo její části neodpovídá stavu uvedenému ve schváleném PRVKÚK.

Aby tedy bylo možné efektivně zpracovávat plány rozvoje vodovodů a kanalizací, je nezbytné znát aktuální technický stav vodohospodářské infrastruktury.

2.5 Hodnocení technického stavu jako podklad pro zpracování rizikové analýzy

V dubnu roku 2018 byla vydána vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 70/2018 Sb., kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb. Vyhláška obsahuje paragraf 3a: Postup vypracování posouzení rizik a hodnocení jeho výsledků. Tímto paragrafem byla zavedena do oboru vodárenství riziková analýza vodárenských systémů vyplývající ze zákona

č. 267/2015 Sb., který posouzení rizik zavedl do legislativy ČR. Přechodné ustanovení novely zákona č. 267/2015 Sb., udává termín předložení návrhu provozního řádu vodovodu včetně posouzení rizik do 6 let, tzn. do 1.11.2023. [15]

Odhadování rizika se provádí pro ty nežádoucí stavy, které byly předchozím postupem vybrány pro podrobnou analýzu. Předchozím postupem je právě hodnocení technického stavu, které by mohlo odhalit problémové úseky potrubí náchylné k poruchám. Při provádění rizikové analýzy se stanoví míra analyzovaného nežádoucího stavu. Odhadování rizika sestává z analýzy četností, analýzy následků a stanovení míry rizika.

Posouzení rizik vodovodních systémů je prováděno v řadě evropských i mimoevropských zemí. Mezi hlavní očekávané výhody patří zlepšení kvality vody, zlepšení ochrany vodních zdrojů, snížení počtu a následků poruch, snížení počtu akutních onemocnění u odběratelů, lepší poznání systému zásobování, snížení nákladů na renovace a opravy, lepší pozice dozorových orgánů při kontrole provozovatele, zlepšení provozního monitorování atd.

Zásadními nevýhodami jsou pro provozovatele především vyšší administrativní zátěž a náklady spojené se zavedením posouzení rizik. [16]

O tom, do jaké míry bude posouzení rizik prospěšné pro stav a provozování vodárenské infrastruktury v ČR, rozhodují především 2 faktory, a to přístup společností ke zpracování a následným opatřením a kolik peněz budou do zpracování společnosti moci investovat. Nicméně i při minimálních investicích a úsilí lze předpokládat odhalení a náprava alespoň drobných vad systémů, které mohou být velmi rizikové. [15]

3. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TECHNICKÝ STAV VODÁRENSKÝCH SÍTÍ

Existuje mnoho různých mechanismů selhání potrubí. Komplexní vztah mezi faktory a jejich relativními účinky na mechanismus selhání je pro každý materiál potrubí a pro každou zeměpisnou oblast rozdílný.

Mezi hlavní typy selhání potrubí patří zlom po obvodu potrubí. Ten je často způsoben tahovými silami (pohybem zeminy nebo změnami teploty) nebo zatížením od dopravy.

Dalším velmi častým typem selhání je podélné rozdělení potrubí, které je často způsobeno příčnými a radiálními silami (např. vnitřním tlakem vody). Ve spojení s již existujícími defekty se z něj stává slabé místo potrubí



Obr. 3.1 a) zlom po obvodu b) podélné rozdělení

Mezi další závady patří poruchy spojů potrubí, které jsou obvykle způsobeny tahovými nebo tlakovými silami a dále díry v potrubí, obvykle způsobeny radiálními silami ve spojení s korozí.

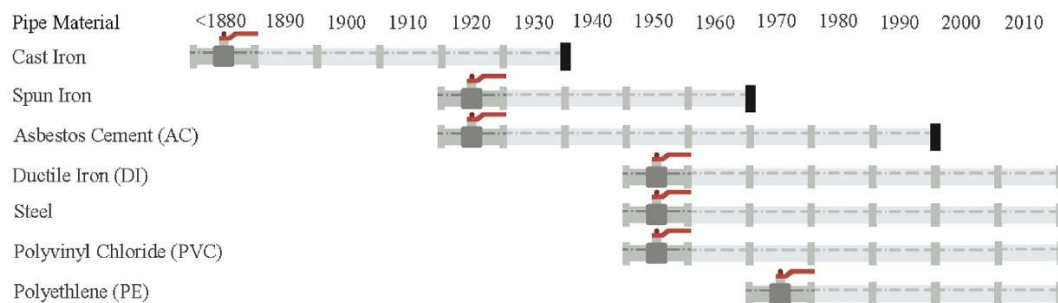


Obr. 3.2 a) díra v potrubí b) porucha spoje

3.1 Vlastní faktory

3.1.1 Materiál potrubí

Ocel je pevnější a tvárnější než litina, ale má nižší pevnost v tahu a odolnost vůči korozi než tvárná litina. Nicméně, ocel je levnější a je výhodná ve vysokotlakých potrubích. Azbestocement byl levný na výrobu i provoz a měl nízký třecí odpor. Jde o tuhý a křehký materiál a je méně pružný než tvárná litina a ocel. Výroba azbestocementového potrubí byla zastavena kvůli negativnímu vlivu azbestu na zdraví. PVC poskytuje korozi odolnou a flexibilní alternativu k azbestocementu. Disponuje nízkými výrobními náklady, odolností proti korozi a snadnou montáží. Oproti PVC polyethylen odolává vyššímu tlaku a zaručuje delší výdrž.



Obr. 3.3 Přibližná doba výstavby potrubí z jednotlivých materiálů

3.1.2 Trubní spoje

Mezi poruchy trubních spojů patří netěsnost, která může být výsledkem špatné instalace, špatné volby typu spoje nebo následného pohybu země. Dále rozlomení spoje, rozpojení nebo závada na těsnění, ke které dochází v důsledku stáří, vysychání nebo ztráty pružnosti.

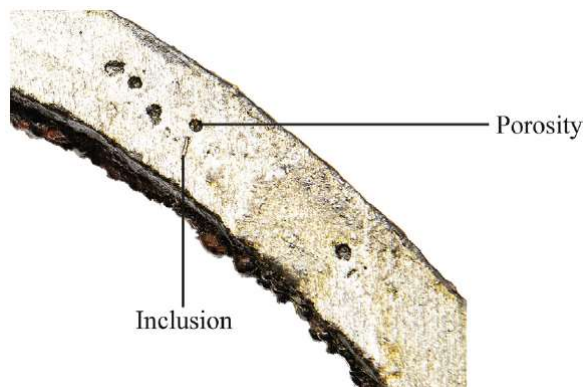
Typicky tuhé spoje prosakují v důsledku špatné instalace a jsou náchylnější k úniku a prolomení v důsledku pohybů země, zatímco pružné spoje vydrží malé posuny a jsou příznivé v oblastech nerovnoměrného sedání.

3.1.3 Vnitřní a vnější ochrana před korozi

Původně byla potrubí instalována nechráněná, ale později byla obložena cementovou maltou nebo potažena epoxidovou pryskyřicí. Plastová potrubí obvykle tato opatření nevyžadují, protože jsou odolnější vůči korozi. Potrubí z tvárné litiny a ocele jsou ke korozi náchylnější, proto jsou na povlacích a obloženích závislá.

3.1.4 Vady z výroby

Mezi vady litiny patří nerovnoměrná tloušťka stěny, pórovitost, nečistoty v materiálu, vady vzniklé při odlévání litiny a mikrotrhliny. Hlavní závadou u azbestocementových potrubí je nerovnoměrné rozložení vláken v cementové matrici. Potrubí z PVC mohou mít podobně jako u litiny problémy s nečistotami, pórovitostí a s mikrotrhlinami.



Obr. 3.4 Póry a nečistoty v materiálu potrubí

3.1.5 Poškození při manipulaci a skladování

Špatná manipulace s potrubím může způsobit neviditelná promáčknutí, praskliny nebo zanesení nečistot do ochranného povlaku. Problémy s instalací také vyplývají z nesprávného podsypu a špatné montáže potrubí. Dalším rizikem jsou výkopy v okolí uloženého vodovodního potrubí.

3.1.6 Stáří potrubí

Ačkoliv se uvádí, že má lineární vztah k četnosti poruch, vztah je ve skutečnosti složitější a lze očekávat, že četnost poruch bude v měsících po instalaci vyšší, poté se sníží a po několika desetiletích začne opět růst.

3.1.7 Jmenovitá světlost potrubí

Nejvíce poruchová jsou potrubí se jmenovitou světlostí menší než 200 mm. Poruchovost je spojena s nízkou odolností vůči pohybu zeminy, korozi, se špatnou spolehlivostí spojů a náchylností k blízké stavební činnosti. U potrubí o větších jmenovitých světlostech jsou největším problémem díry a podélné rozdělení potrubí.

3.1.8 Koroze a chemická degradace

Koroze a chemická degradace ovlivňují celistvost materiálu potrubí ztenčením jeho stěny. Dochází také ke změně průřezu, což má vliv na trubní spoje. Koroze závisí na vlastnostech půdy, které jsou pro každé místo odlišné. U kovových potrubí dochází převážně k bodové korozi a grafitizaci. PVC i polyetylen jsou odolné vůči korozi ale citlivé na organické chemikálie.

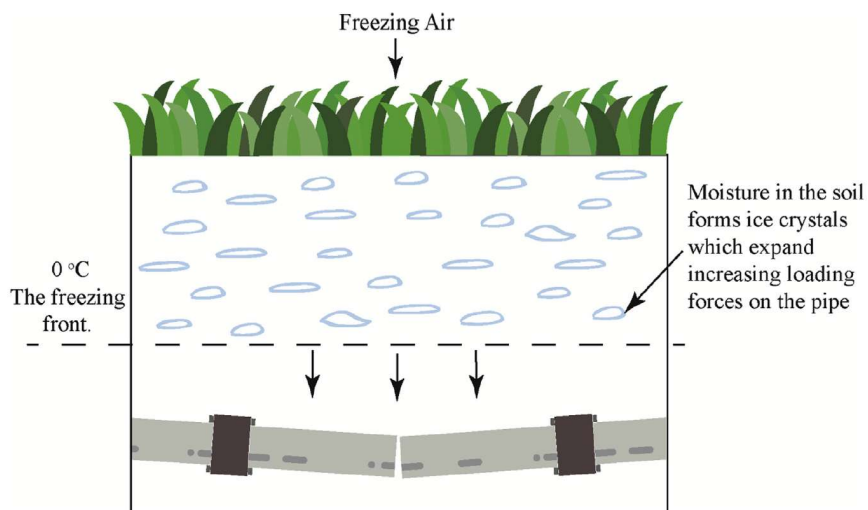


Obr. 3.5 Grafítizace a bodová koroze potrubí

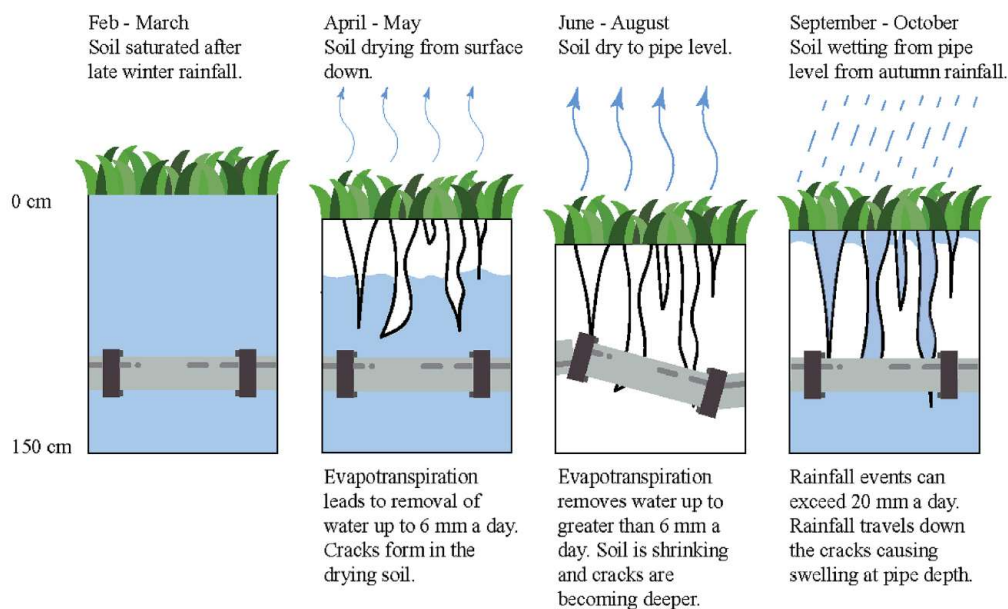
3.2 Environmentální faktory

3.2.1 Vysoké teploty a pohyb zeminy

Příčinou poruch způsobených vysokými teplotami je tepelná roztažnost potrubí a rozdíly teplot půdní a dopravované vody. Diferenciální pohyb půdy a vícesměrný tlak na potrubí může vést k jeho selhání. K nejmenšímu množství poruch dochází na jaře, kdy jsou půdy konzistentně mokré. Pozdní léto a začátek podzimních měsíců mají největší vliv na poruchovost, protože se nejvíce mění vlhkost půdy a teplota, což lze vidět na obrázku 3.6. Na obrázku 3.7 lze vidět důsledek bobtnání půdy, které je způsobeno změnami půdní vlhkosti.



Obr. 3.6 Vliv sezónních změn na stav potrubí



Obr. 3.7 Důsledek bobtnání půdy

3.2.2 Nízké teploty

Na nízké teploty je nejvíce náchylná litina. Účinky mrazu se obvykle projevují v nižších hloubkách, proto je při instalaci vyžadováno dodržení nezámrazné hloubky. Plastová potrubí mají schopnost odolávat teplotní expanzi i kontrakci, nicméně mají v zimě vysokou poruchovost spojů.

3.2.3 Sezónní změny

Sezónní změny mají vliv na četnost poruch, která je vyšší během suchého léta a podzimu a během chladné zimy. Opak byl pozorován u vlhkých let nebo u mírného podzimu a zimy. Nejvyšší četnost poruch u oceli je v zimních měsících, zatímco azbestocement i PVC mají vyšší poruchovost během léta. Tvárná litina, ocel a polyetylen vykazují v důsledku sezónních změn pouze malé odchylky.

3.2.4 Další nebezpečí pohybu zeminy

Mezi další pohyby půdy, které mají nepříznivý vliv na uložení potrubí, patří smršťování rašeliny, vymývání písku, vytlačování a stlačování půdy. Měkké půdy mají obecně špatnou únosnost a tím i malou podporu pro potrubí. Výsledkem pak je prověšené nebo „přemostěné“ potrubí.

3.3 Provozní faktory

3.3.1 Vnitřní tlak vody

Hlavní vliv na změnu vnitřního tlaku v potrubí mají cyklický a přechodný rázový tlak. Cyklický provozní tlak vede k periodám vysokého a nízkého tlaku. Vysoký tlak uvnitř potrubí způsobený vodním rázem je běžná příčina selhání potrubí o velkých průměrech. Potrubí menšího průměru jsou k poruše způsobené vnitřním tlakem méně náchylná, hlavně kvůli nízkým tlakům v takových potrubích.

3.3.2 Dřívější poruchy

Předchozí závady na potrubí mohou mít za následek kaskádové poruchy, kde počáteční závada může mít za následek sekundární nebo více po sobě jdoucích poruch lokalizovaných časově i prostorově blízko první závadě. [5]

3.4 Tlakové poměry ve vodovodní síti

Dodržení vhodných tlakových poměrů je prevencí před vznikem vodního rázu a přímo či nepřímo o nich pojednává několik dokumentů.

Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů nestanovuje konkrétní hodnoty, ale v § 11 pojednává o tom, že: *„Vodovody musí být navrženy a provedeny tak, aby bylo zabezpečeno dostatečné množství zdravotně nezávadné pitné vody a nepřetržitá dodávka pitné vody pro odběratele. Je-li vodovod jediným zdrojem pro zásobování požární vodou, musí splňovat požadavky požární ochrany na zajištění odběru vody k hašení požáru, je-li to technicky možné.“* [6]

Norma ČSN EN 805 Vodárenství – požadavky na vnější síť a jejich součásti definuje pojem přetlak. Dále specifikuje, že organizace zajišťující zásobování vodou musí stanovit předpokládané provozní přetlaky, průtočná množství a stálost zásobování v místě napojení odběratele na vodovod. Zabývá se také návrhem potrubí, kde dle normy musí být potrubí posouzeno na vnitřní přetlak při největším a nulovém průtoku i krátkodobých změnách průtoku (vodním rázu). Potrubí musí být navrženo tak, aby vydrželo přechodný podtlak 80 kPa vzhledem k atmosférickému tlaku (absolutní tlak přibližně 20 kPa). Je také nutno stanovit návrhový provozní přetlak, nejvyšší výpočtový přetlak a vzít v úvahu zkušební přetlak. Detailně je v normě popsána tlaková zkouška. [17]

Norma ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí stanovuje nejvyšší návrhový přetlak v nejnižších místech rozváděcích řadů budovaných pro zásobování budov, který nemá převyšovat 0,6 MPa (v odůvodněných případech 0,7 MPa). Pokud tento přetlak není pro vysoké budovy dostatečný, je v nich nutno zřídit zařízení pro zvýšení tlaku. Dále norma definuje, že při návrhu trubního materiálu je třeba zohlednit pracovní a zkušební přetlak, popř. podtlak, vodní rázy, statické a dynamické zatížení, únosnost a agresivitu

půdy, přítomnost bludných proudů, jakost dopravované vody a důležitost odběrů, provozní spolehlivost a hledisko celého životního cyklu potrubí. [18]

Vyhláška č. 428/2001 Sb. Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 o vodovodech a kanalizacích uvádí minimální i maximální tlak: „*Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa. V odůvodněných případech se může zvýšit na 0,7 MPa. Při zástavbě do dvou nadzemních podlaží hydrodynamický přetlak v rozvodné síti musí být v místě připojení vodovodní přípojky nejméně 0,15 MPa. Při zástavbě nad dvě nadzemní podlaží nejméně 0,25 MPa.*“ [7]

Norma ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – zásobování požární vodou uvádí, že u nejneprůzračnějšího položeného nadzemního (podzemního) hydrantu má být zajištěn statický (zásobovací) přetlak 0,2 MPa. Nižší hodnoty musí být doloženy hydraulickým výpočtem a analýzou zdolávání požáru příslušného objektu. [19]

3.5 Ztráty vody

Ztrátám vody se částečně věnuje kapitola 2, kde je uveden podíl ztrát k celkovému množství vyrobené vody v roce 2019 a porovnání s dalšími zeměmi Evropy.

Snižování ztrát vody nebo alespoň zajištění jejich trvale nízké úrovně je jednou z priorit provozovatelů vodovodních sítí. Ačkoliv je průměrná úroveň ztrát vody v ČR na relativně nízké úrovni, v souvislosti se suchem je problematika ztrát vody z distribučních sítí stále velmi aktuálním tématem.

Průměrná hodnota ztrát vody z distribuční sítě se vyjadřuje ukazatelem % VNF (procento vody nefakturované). Ukazatel % VNF je nejrozšířenější a nejnadhodněji stanovitelný ukazatel ztrát vody. Vyjadřuje procentuální poměr objemu celkového množství vody nefakturované a vody určené k realizaci. Jelikož tento ukazatel příliš dobře nevyhovuje o technickém stavu distribuční sítě, jeví se jako vhodnější způsob vyjadřování ztrát vody použití více ukazatelů současně, což umožní vzájemné porovnání výsledků.

Kromě již zmíněného % vody nefakturované byly proto vytvořeny i další ukazatele, jako jsou například % vody nefakturované na přípojku (% VNFP), jednotkový únik vody nefakturované (JÚVNF) nebo v zahraničí často používaný index ztrát infrastruktury (Infrastructure Leakage Index – ILI), který vyjadřuje poměr skutečných a teoreticky nevyhnutelných ztrát vody.

Další možností pro vyjádření ztrát vody je jejich vyčíslení na základě vyhodnocení minimálního nočního průtoku.

Hodnota ztrát vody byla v roce 2017 16,4 % VNF. Ve velkých městech dosahuje hodnota % VNF nižších úrovní – např. Praha 15,1 %, Brno 10,0 %, Ostrava 12,4 %. U některých vodovodních sítí ale hodnota ztrát vody může přesahovat průměrnou celorepublikovou úroveň. [20]

Na webových stránkách mnoha vodárenských společností lze najít článek týkající se úspěšného snižování ztrát. Například Pražské vodovody a kanalizace uvádí, že se jim

ztráty vody podařilo snížit z původních 42,52 % v roce 1995 na 12,9 % v roce 2020. V roce 2020 PVK zkontrolovaly 2 385 km vodovodní sítě a našly 277 skrytých úniků vody. [21]

Ostravské vodárny a kanalizace uvedly, že v roce 2017 byly z hlediska jejich objemu ztráty vody nejnižší v historii společnosti, a to konkrétně 12,4 %. V roce 1996 dosahovaly ztráty k 16 milionům kubíků, což odpovídalo 36 % ztracené pitné vody. [22]

V ČR se celkem za vodné a stočné vybere zhruba 36 miliard korun ročně, přičemž 12 až 15 miliard se vrací do obnovy potrubí. Dle ředitele Sdružení oborů vodovodů a kanalizací (SOVAK) Oldřicha Vlasáka je stále co zlepšovat a optimální by byla částka kolem 20 miliard. [23]

Na obrázku 3.8 lze vidět tabulku hodnot vody nefakturované pro jednotlivé kraje z roku 2019, kterou vytvořil Český statistický úřad. Nejvýraznější podíl ztrát vody se objevuje u Ústeckého, Libereckého a Královéhradeckého kraje, zatímco nejnižší ztráty lze vidět u Jihomoravského kraje. Rozdíl mezi krajem s nejvyššími a nejnižšími ztrátami činí 12,9 %.

1.1.5 Vodovody v roce 2019

WATER SUPPLY SYSTEMS IN 2019

Území, kraj	Voda nefakturovaná Water not invoiced				
	celkem (tis. m ³)	z toho ztráty vody v trubní síti (tis. m ³)	podíl ztrát z vody vyrobené urč. k realizaci (%)	vlastní potřeba vody (tis. m ³)	ostatní nefakturovaná voda (tis. m ³)
Territory, region	Total (thous. m ³)	Losses in pipeline networks (thous. m ³)	Share of losses from water produced to be implemented (%)	Own consumption of water (thous. m ³)	Other water not invoiced (thous. m ³)
Česká republika Czech Republic	101 384	86 301	14,5	13 160	1 922
Hl. město Praha	13 481	12 228	12,7	1 065	188
Středočeský	10 663	9 132	13,9	826	704
Jihočeský	6 301	5 623	17,2	640	39
Plzeňský	5 502	4 891	15,9	544	67
Karlovarský	2 776	2 179	12,6	592	5
Ústecký	12 482	10 954	21,6	1 494	34
Liberecký	6 789	5 459	21,0	1 245	85
Královéhradecký	7 346	6 445	20,6	871	30
Pardubický	4 627	3 850	14,1	644	132
Vysočina	4 003	3 405	13,4	441	156
Jihomoravský	6 586	5 467	8,7	1 028	91
Olomoucký	4 751	3 917	12,6	731	103
Zlínský	5 171	4 238	14,6	771	161
Moravskoslezský	10 908	8 514	12,6	2 269	126

Obr. 3.8 Voda nefakturovaná v roce 2019 v ČR [3]

3.6 Poruchovost

Poruchovost vyjadřuje počet poruch vztažený k délce vodovodního řádu, na kterém se poruchy vyskytly v určitém časovém intervalu. Poruchovost je obvykle uváděna jako

počet poruch na km řadu za rok, je ale možnost vyjádřit ji i v jiných jednotkách, např. počet poruch na 100 km za rok.

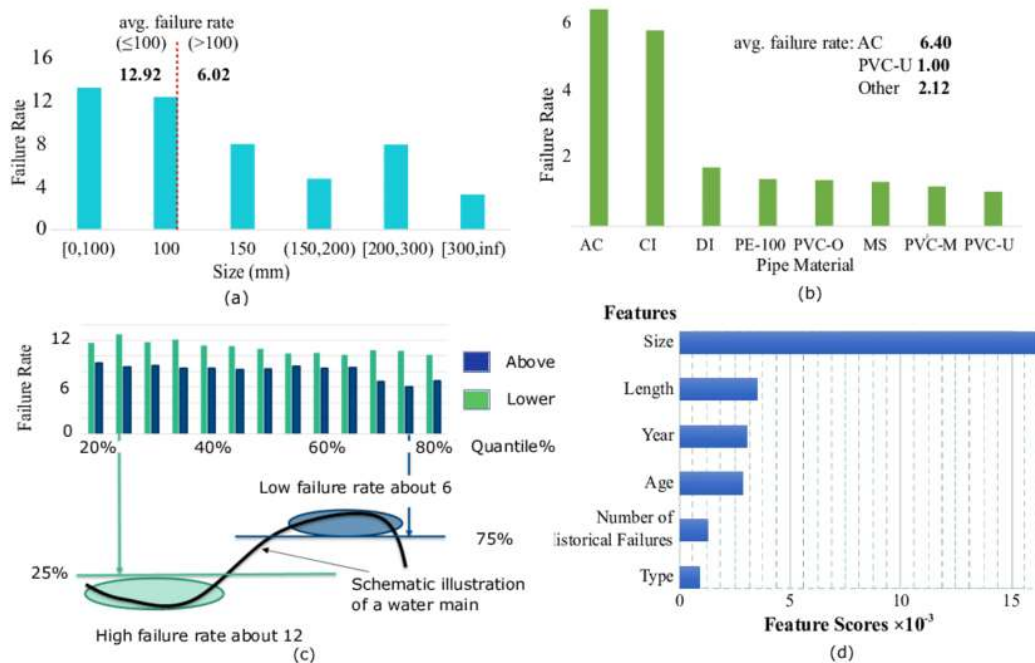
Poruchovost je obecně uvažována jako neklesající funkce. Hodnoty poruchovosti je možné vyčíslit pro celou vodovodní síť, pro jednotlivá tlaková pásma nebo pro jednotlivé vodovodní řady. Je možné stanovit poruchovost celkově i pro jednotlivé trubní materiály.

Za maximální přijatelnou hodnotu poruchovosti je brána hodnota 0,2 pp/km/rok, zatímco hodnoty nad 0,8 pp/km/rok jsou považovány za kritické.

U poruchovosti byla vypořazována více či méně významná závislost na několika faktorech, a to na stáří, užitém trubním materiálu, profilu potrubí a tlakových poměrech. Blíže jsou faktory mající na poruchovost potrubí vliv rozepsány v kapitolách 3.1–3.3 [24]

Zkoumáním vlivů jednotlivých faktorů na poruchovost se stále zabývá velké množství odborníků z ČR i zahraničí a jejich závěry se mírně liší s ohledem na zeměpisnou polohu a další okolnosti. V následujících grafech a tabulkách bude prezentováno několik závěrů vycházejících ze studií na téma poruchovosti potrubí a téma analýzy faktorů, které mají na vznik poruchy vliv.

Z Australské studie prováděné v roce 2020 vychází grafy na obrázku 3.9. V prvním grafu lze vidět poruchovost vodovodů na základě průměru potrubí z oblasti západně od města Melbourne. V druhém grafu je poruchovost vztažena k materiálu potrubí. Třetí graf prezentuje vliv hloubky uložení potrubí na poruchovost v oblasti západně od města Sydney. V posledním grafu lze vidět důležitost jednotlivých faktorů ve státě Victoria stanoveny metodou vzájemného zisku entropie.



Obr. 3.9 Příklad analýzy faktorů – Austrálie, 2020 [25]

Polská studie z roku 2015 prezentuje následující tabulku. V tabulce je vyobrazena poruchovost potrubí v závislosti na materiálu potrubí. Je ale potřeba si uvědomit, že při posuzování celkové poruchovosti je nutné zohlednit více faktorů, zejména rok uložení potrubí a jmenovitý průměr. Jelikož potrubí postupem času degraduje a stává se tak náchylnějším ke vzniku poruchy.

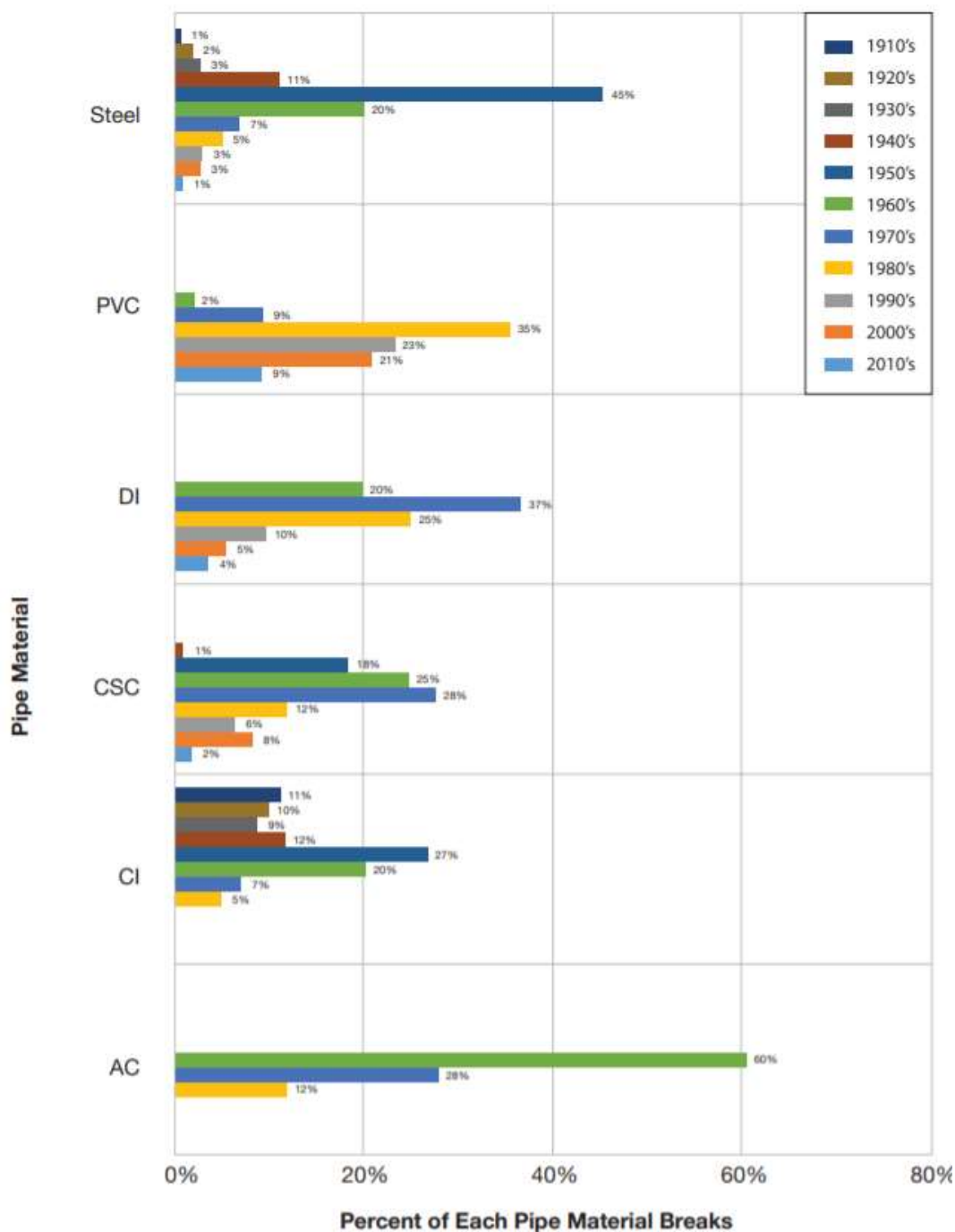
Materiál potrubí	Délka [km]	Počet poruch v letech 2008-2012	Průměrná poruchovost [pp/(km.rok)]	Jedna porucha na potrubí délky [km]
Litina	643	1397	0,43	2,30
Ocel	39	46	0,24	4,24
PVC	424	265	0,13	8,00
PE	208	64	0,06	16,25
Azbestocement	92	134	0,29	3,43
Další (PP, železobeton)	22	13	0,12	8,46

Tabulka 3.1 Průměrná poruchovost jednotlivých materiálů – Polsko, 2015 [26]

Studie poruchovosti potrubí v Kanadě a USA z roku 2018 prezentuje několik tabulek a grafů, které zobrazují poruchovost v závislosti na různých faktorech. V první tabulce je poruchovost vztažena k materiálům potrubí, obdobně jako u Polské studie. Poruchovost (Break Rate) je zde uvedena v jednotkách pp/(100 mil/rok). Při porovnání poruchovosti v roce 2012 a 2018 lze vidět, že u některých materiálů došlo k jejímu snížení, ale u některých se poruchovost dokonce zvýšila. To je způsobeno především stářím materiálu. Z tohoto důvodu přikládá studie podrobný graf obsahující poruchovost vztaženou k trubnímu materiálu a roku uložení potrubí. Graf lze vidět na obrázku 3.10.

	Length	Failures	2018 Break Rate	2012 Break Rate	% Change
AC	21,589	2,240	10.4	7.1	46%
CI	48,471	16,864	34.8	24.4	43%
CSC	4,940	152	3.1	5.4	-43%
DI	47,595	2,627	5.5	4.9	13%
PVC	37,704	878	2.3	2.6	-10%
Steel	4,765	362	7.6	13.5	-44%
Other	5,506	680	12.4	21	-41%
Total	170,569	23,803	14.0	11	27%

Tabulka 3.2 Průměrná poruchovost materiálů potrubí – USA a Kanada, 2018



Obr. 3.10 Poruchovost vztahena ke stáří potrubí – USA a Kanada, 2018 [27]

Dle průzkumu z roku 2013 prováděného v ČR u několika vodárenských společností se celková poruchovost u vodovodních sítí pohybuje od 0,21 do 0,35 poruch/km/rok. Poruchovost potrubí z tvárné litiny je uvedena 0,00–0,019 poruch/km/rok. [28]

4. METODY HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU V ČR

Posouzení zakopaných potrubí není nikdy jednoduché a konkrétně vodovody jsou obzvláště náročné, jelikož jsou obtížně přístupné, existují obavy týkající se kontaminace vody a je potřeba udržovat funkční systém pro hygienu, obchod a požární bezpečnost.

Metody pro posuzování zahrnují například počítačové studie, detekce úniků vody, ale i plnohodnotné kamerové průzkumy po celé délce potrubí ve vysokém rozlišení. Volba metody je založena na mnoha faktorech. Pro posuzování většiny potrubí se doporučuje vícestupňový přístup, kdy se začíná s jednoduššími a levnějšími zkouškami a v případě potřeby se přejde k nákladnější a přesnější metodě. Je potřeba brát na vědomí, že některé příčiny poruch, jako jsou například pohyb zeminy, tlakový ráz, vady z výroby, špatně provedené svary a jiné problémy týkající se spojů potrubí může být náročné (či dokonce nemožné) zjistit před samotným selháním. Je také důležité pochopit omezení různých inspekčních metod: pro jaké průměry potrubí již metoda není vhodná, zda byla metoda ověřena nezávislou třetí stranou a jaká má metoda slepá místa. Některé metody například mají potíže s hledáním defektů v blízkosti spojů potrubí a některé metody jsou například použitelné pouze pro kovová či železobetonová potrubí. Žádná metoda není dokonalá a nezjistí všechny možné vady.

Posouzení stavu lze definovat jako identifikaci pravděpodobnosti, že prvek bude i nadále plnit požadovanou funkci. Jako součást hodnocení jsou údaje a informace shromažďovány přímými a/nebo nepřímými metodami a poté analyzovány, aby byly určeny fyzikální vlastnosti potrubí a také to, jak mohou tyto vlastnosti ovlivnit pravděpodobnost poruchy.

Posouzení stavu lze provést v terénu, pomocí počítače nebo kombinací obojího. Základním cílem je provést hodnocení, aktualizovat ho a podle potřeby upravit.

Posuzování v terénu zahrnuje přímé a nepřímé sledování prvku a jeho okolí a následné zdokumentování jeho technického stavu.

Hodnocení pomocí počítače spoléhá více na existující data, plánovací dokumentaci, znalosti zaměstnanců, informační systémy, zkušenosti z oboru a další zdroje k určení nebo přiblížení technického stavu potrubí bez nutnosti fyzické prohlídky.

Metody k hodnocení technického stavu jsou využívány například pro identifikaci ztráty integrity potrubí a úniků vody, k identifikaci ztráty strukturální celistvosti materiálu, oslabení nebo snížení tloušťky stěny potrubí, k nalezení důkazů o selhání vložky, obložení nebo nátěru a k rozpoznání dalších závad.

Při hodnocení technického stavu jsou potřeba spolehlivá data, která mají dostatečnou úroveň podrobnosti a přesnosti umístění. Řada faktorů, zahrnující kalibraci používaných zařízení, přesnost poskytnutých dat a předpoklady založené na vlastnostech potrubí, může ovlivnit spolehlivost dat pro hodnocení.

Možnosti pro hodnocení technického stavu mohou ve společnostech limitovat nedostatečné finance nebo technické problémy, kam se řadí i provozní komplikace. V některých případech společnosti nemusí mít k dispozici požadované informace o systému, jako je například dokumentace o potrubí či objektech, výrobní údaje, umístění nebo informace o rekonstrukcích. Po ukončení projektu nemusí obslužný program pochopit význam zjištění a nemusí vědět, jak s informacemi pracovat. V mnoha případech data nemusí být kompatibilní s existujícími datovými formáty a může být obtížné je integrovat. Často také program řádně nepředává o systému informace, jako jsou propojení potrubí, uzavírací ventily, předchozí opravy nebo provozní parametry. Pro dodavatele může být obtížné data zadat správně do systému a pro obslužný program pak může být složité zadaná data správně vyhodnotit.

Znalosti a data získaná z hodnocení technického stavu mohou být použity v prediktivní analýze k předpovědi pravděpodobných časových období, kdy by mohlo dojít k selhání potrubí. Aplikováním znalostí o aktuálním stavu zachycených v hodnocení je možné konstruovat typicky realističtější křivku selhání potrubí než za předpokladu lineární degradace v čase založené pouze na takových attributech, jako jsou materiál, věk, typ potrubí atd.

Software pro geografické a hydraulické modelování může být užitečný pro přístup, správu a sdělování informací prediktivní analýzy nebo hodnocení v reálném čase. Modelování lze také použít jako nástroj pro stanovení, která potrubí by měla mít prioritu pro hodnocení stavu. Prediktivní analýza je obzvláště užitečná v situacích, kdy je aktuální technický stav neznámý, nepřístupný nebo je jeho zjišťování ekonomicky neúnosné.

Mezi náklady spojené s prediktivní analýzou patří zachycení, správa a manipulace s různými daty k potrubí a informacemi týkajícími se technického stavu. Náklady také zahrnují čas zaměstnanců strávený prediktivním modelováním a mohly by také zahrnovat pořízení softwaru pro geografické a hydraulické modelování, ačkoliv takový software již může mít společnost k dispozici. [29]

Základní „obraz“ o technickém stavu potrubního systému je získán prostřednictvím záznamu zpracovaného na základě diagnostiky potrubí provedené vnitřní nebo vnější inspekci. Jednotlivé vady odhalené inspekci se zařídí do kategorií podle jejich rozsahu a stanoví se jejich závažnost. Na jejím základě jsou vybrané vady lokalizovány přímo na potrubí. Výsledek lokální diagnostiky je následně porovnán se záznamem z inspekce potrubí a je vytvořen závěrečný protokol o kontrole stavu potrubí v místě vady. [30]

V případě, že členitost potrubí umožňuje provedení vnitřní inspekce, je vybrána vhodná metoda a provedena inspekce. V případě, že není možné provést vnitřní inspekci, je provedeno zhodnocení stavu na vybraných úsecích některou z jiných vhodných metod pro inspekci stavu potrubí. [31]

Výběr kritických míst může být proveden na základě analýzy rizika metodou Risk Based Inspection (RBI). [32]

4.1 Risk-Based Inspection

Metodou RBI lze na základě analýzy a hodnocení provozních rizik provádět inspekci a kontrolu stavu potrubí. Na základě získaných výsledků této analýzy a hodnocení rizik je následně doporučena lhůta a rozsah výkonu kontroly, inspekce a případně i revize konkrétních technických zařízení. [32]

RBI vyžaduje kvalitativní nebo kvantitativní posouzení pravděpodobnosti a důsledků poruchy v závislosti na každém posuzovaném prvku. Jednotlivé prvky by měly být zaříděny do kategorií podle rizik, která vyvolávají, a podle této kategorizace by následně měla být technická inspekce nastavena.

RBI se využívá především k identifikaci a porozumění rizikům, rizikovým faktorům a tomu, v jaké fázi se zařízení nachází v jeho životním cyklu. RBI může určit, zda je nutná kontrola stavu zařízení. Lze také použít k upřednostnění činností souvisejících s inspekci, obvykle prostřednictvím nedestruktivních zkoušek (NDT). RBI může nastínit typ a časový rozvrh následné inspekce.

Výhody:

- a) Metoda RBI přímo navazuje na analýzu rizik a při provádění analýzy může být rovněž stanovena velikost maximální dovolené pravděpodobnosti poruchy,
- b) přímé návaznosti na analýzu rizik lze využít při provozování zařízení, například při stanovení intervalu inspekce, a to v případě, že nebude překročena maximální dovolená pravděpodobnost poruchy,
- c) pro přímý výpočet pravděpodobnosti poruchy lze využít experimentálně získané a statisticky zpracované únavové křivky,
- d) ve zkušebním provozu nebo v prvním zatěžovacím cyklu lze zatížení od teploty a tlaku změřit a z těchto hodnot průběžně zaznamenávat, počítat a vyhodnocovat zvyšování pravděpodobnosti poruchy, úbytek spolehlivosti či životnosti,
- e) zlevnění provozování zařízení při současném dodržení požadované bezpečnosti,
- f) zjednodušení dalších kroků inspekce.

Nevýhody:

- a) V současné době není známo mnoho statisticky zpracovaných materiálových a rozměrových veličin,
- b) pro tlaková zařízení musí být proveden současně s výpočtem touto metodou i výpočet klasický (deterministický), protože systém bezpečnosti konstrukce je vázán na nejvyšší dovolený tlak a nejvyšší dovolenou teplotu, které musí tlaková sestava vydržet. [33]

4.2 Metody k inspekci potrubí

K detekci závad na potrubí i úniků vody je možné použít různé metody. Tyto metody lze rozdělit dle způsobu provádění do dvou kategorií, a to destruktivní metody (DT) a nedestruktivní metody (NDT).

Destruktivní testování je definováno jako technika testování, která mění chemické složení, rozměry nebo geometrii testovaného materiálu. Příkladem DT je externí instalace hardwarových zařízení na vodovodních potrubích. Hardwarové testovací metody, jako jsou například akustické senzory a snímání z optických vláken, jsou obtížně proveditelné kvůli složitému procesu instalace a provozu. Zemina nad potrubím musí být odstraněna, aby bylo možné rozmístit senzory a detektory po celé délce vodovodního potrubí. Kromě toho oprava a údržba těchto senzorů dále zvyšuje náklady na provádění DT.

Vzhledem ke složitosti DT jsou v současné době preferovány NDT, jelikož umožňují vyhodnotit vlastnosti a stav materiálu, resp. vodovodního potrubí, bez nutnosti změny struktury vodovodních sítí, odstranění půdy nad potrubím i narušení provozuschopnosti systému. Metody detekce úniků NDT lze rozdělit do dvou skupin:

1) Biologické metody: U těchto metod provádí zkušený personál vizuální, hmatovou, zvukovou a čichovou kontrolu k detekci úniků vody a závad na vodovodních potrubích. Tato metoda je však velmi nespolehlivá, protože výsledky kontroly závisí na zkušenostech personálu, který potrubí kontroluje.

2) Softwarové metody: Počítačový software se používá ke zpracování vnitřních parametrů potrubí. Některé příklady zahrnují tlakovou analýzu, objemovou bilanci, hmotnostní bilanci atd. Ve srovnání s hardwarovými metodami se tyto metody snáze implementují a jsou ekonomičtější, protože nevyžaduje mnoho externích zařízení. Mohou však nastat chyby v detekci úniků, které by mohly vést k falešným poplachům nebo nezjištěným únikům. Například při analýze tlaku může být pokles tlaku v potrubí způsoben otevřením nebo zavřením vodovodního kohoutku a může být falešně detekován jako únik ve vodovodním potrubí. [34]

Každý materiál může obsahovat povrchové vady, vnitřní vady nebo nežádoucí odchylky tvaru a struktury. Přítomnost takových vad může podstatně ovlivnit životnost výrobku nebo konstrukce. Požadavek, aby výrobek nebo materiál neobsahoval žádné vady, je zcela nereálný. Z toho důvodu musí být v příslušných normách, zákonech či předpisech stanoveny hranice pro přípustnost, resp. nepřípustnost vad. [35]

NDT se dělí na screeningové metody a kvantifikační metody. Screeningové metody mohou podat rychlý obraz o celkovém technickém stavu konstrukce (potrubí, svarů apod.) v situaci, kdy ještě není možné definovat a lokalizovat případnou vadu, protože se ještě neprojevuje nebo je potřeba problémovou oblast identifikovat rychle. Kvantifikační metody jsou využívány pro přesné určení rozměrů vady, určení její pozice, orientace, charakteru apod. [36]

4.2.1 Základní NDT metody

Rozeznává se šest základních NDT metod – vizuální zkouška (VT), penetrační kapilární zkouška (PT), magnetická prášková zkouška (MT), zkouška prozářením – radiografická metoda (RT), zkouška ultrazvukem (UT) a metoda vířivých proudů (ET). K těmto „tradičním“ metodám je řazena i modernější metoda akustické emise (AT, AE).

Všechny tyto metody vychází z určitých fyzikálních principů a využívají specifické vlastnosti materiálů. Postupy jsou různě náročné na technické vybavení i na kvalifikaci personálu a použití konkrétní metody vždy záleží na situaci. [37]

Metoda VT je využívána ke zjištění povrchových vad zkoušených objektů. Vykonává se pomocí speciálních měřitek. Objekt musí být před provedením zkoušky očištěn na kovově čistý povrch bez strusky, nátěru apod. Jde o nejjednodušší, účinný a levný způsob, který je nejvíce využíván pro kontrolu svarových spojů.



Obr. 4.1 Vizualní zkouška (VT) [38]

Metoda PT využívá vysokou vzlínavost a smáčivost kapalin s nízkým povrchovým napětím tzv. penetrantů. Penetrant pronikne po aplikaci na odmaštěný a suchý povrch materiálu do vad ústících na povrch. Poté se nanese indikační látka, do které vyvzlíná penetrant z vad a tím danou vadu zviditelní. Pro zkoušku je nutný neporézní zkoušený povrch. Zkoušku je možné využít pro kontrolu povrchových trhlin v materiálu, resp. svarech, ale pouze za předpokladu možnosti přístupu k oběma stranám povrchu zkoušeného objektu.



Obr. 4.2 Penetračně kapilární zkouška (PT) [39]

Metoda MT využívá zviditelnění změn intenzity magnetického pole, které se mění v místě s povrchovými nebo těsně podpovrchovými vadami. Každá taková vada, která má směr přibližně kolmý na směr magnetického pole, se chová jako překážka. Tím dochází ke vzniku rozptylového pole, které se zviditelní a jeho velikost přibližně odpovídá velikosti vady, která toto pole vyvolala. Podmínkou zkoušky je feromagnetický materiál.



Obr. 4.3 Magnetická prášková zkouška (MT) [40]

Metoda RT umožňuje detekci vnitřních vad materiálu. Je využívána interference gama-záření s hmotou, rozdílné zeslabení intenzity vlivem vnitřních vad a jeho následné zobrazení na RTG film. Film se fotochemicky zpracuje, proto je třeba počítat s časovou rezervou na vyvolání a usušení snímků a následné vyhodnocení prozařované oblasti. Při zkoušce je nutný přístup ze dvou protilehlých stran. Gama-záření má ionizační charakter, proto se při práci ve vytyčené oblasti nesmí nacházet žádný personál.



Obr. 4.4 Zkouška prozářením (RT) [41]

Metoda UT využívá mechanické vlnění, které generuje ultrazvukový přístroj a sonda, procházející materiálem a jejich schopnost odrazu od materiálového rozhraní. Čas přechodu materiálem umožňuje určit polohu indikace a velikost. Při zkoušce postačuje přístup ke svarovým spojům nebo ke kontrolované oblasti z jednoho povrchu, který musí být hladký a očištěný. Materiál musí být pro zkoušku akusticky prozvučitelný. Metodou UT lze měřit i tloušťku stěn.



Obr. 4.5 Zkouška ultrazvukem (UT) [42]

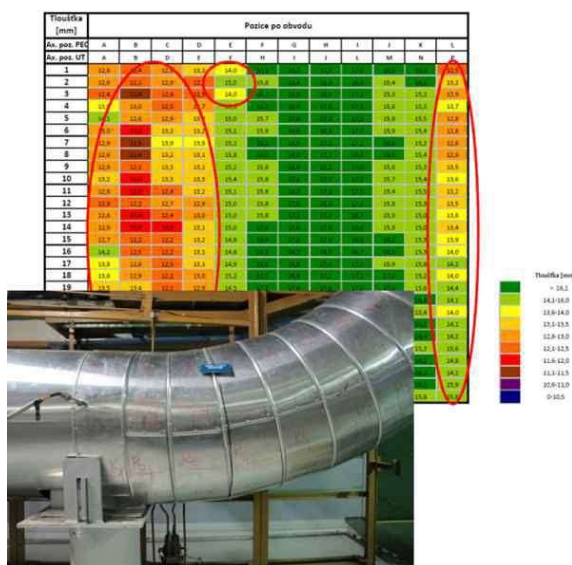
Metoda ET vychází z principu elektromagnetické indukce. Používá se pro zkoušení elektricky vodivých materiálů. Využívá se zejména při detekci povrchových a těsně podpovrchových vad (např. trhlin). Nejčastěji zkoušené materiály metodou ET jsou slitiny Al, Cu, Ti, ale také feritická a austenitická ocel. [43]

Metoda AT (AE) využívá postupných vlnových pulsů, kdy signály akustické emise doprovázejí dynamické procesy v materiálu a následně se projeví jako elastické vlnění, jehož zdrojem je náhle uvolněná energie v materiálu. Proces je doprovázen deformačními, lomovými, resp. fázovými přeměnami v materiálu. Tato metoda je běžně využívána pro určení vzniku nebo rozšiřování prasklin, změnu poddajnosti, k odhalování tvorby plastické zóny, vzniku únavy, koroze, tečení, rázového lomu apod. [44]

4.2.2 Speciální NDT metody

Mezi speciální metody nedestructivního testování patří pulzní vířivé proudy (PEC), zkouška těsnosti (LT), metoda SLOFECTTM, metoda Guided Waves, metoda TOFD, Phased Array (PA), EMAT a metody MMM, EDMET a DCVG.

Metoda PEC (Pulsed Eddy Current) je screeningová metoda využívaná pro rychlé zmapování tloušťky stěny potrubí. Naměřené hodnoty reprezentují záznam změny tloušťky stěny (resp. úbytek materiálu) kontrolovaného objektu ve srovnání s referenční hodnotou. Toto měření lze provést přes izolaci tloušťky 100–150 mm i přes nevodivý a nemagnetický materiál, jako je např. izolace či nerezový plech. Je použitelná při tloušťce stěny 6–65 mm a teplotách objektu od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Přesnost metody je $\pm 5\%$.



Obr. 4.6 Metoda PEC [45]

Zkouška těsnosti je využívána u trubních systémů, tlakových nádob apod. Metodou lze prokázat i ty vady, které vzhledem k jejich nepatrným rozměrům nelze zjistit běžnými metodami NDT. Jde obvykle o vady na hranici zrn struktury, které způsobují netěsnosti, prostupují-li skrze celou stěnu. Metoda spočívá ve vytvoření rozdílného tlaku mezi vnějším a vnitřním povrchem. Základní techniky zkoušení jsou zkouška integrální, která je často používaná a jednoduchá, ale nelze jí určit konkrétní místo úniku, a zkouška lokalizační, sloužící k nalezení místa netěsnosti. Zkoušky lze provádět jako přetlakové, kdy se diferenciálním manometrem sleduje pokles tlaku za čas, dále se provádí jako vakuové na principu měření vzestupu tlaku, a bublinkové. Ty jsou buď přetlakové, kde se používá potírání povrchu pěnivým roztokem, nebo vakuové s použitím příložených průhledných vakuových komůrek.



Obr. 4.7 Zkouška těsnosti (LT) [46]

Metoda SLOFEC™ využívá nasycené nízkofrekvenční vířivé proudy k rychlému zjištění materiálových úbytků ve formě korozního napadení, plošné či bodové koroze a nedovařených svarů potrubí a nádrží. Tyto vady dokáže zjistit i přes vrstvu izolace nebo nátěru do tloušťky 6 mm. Zkoušet je možné feromagnetické i neferomagnetické materiály s tloušťkou stěny do 30 mm. Metoda se využívá pro potrubí, tlakové nádoby a nádrže.



Obr. 4.8 Metoda SLOFEC™ [47]

Metoda Guided Waves vychází z řízených ultrazvukových vln s velkou vlnovou délkou a používá se především pro rychlé zjištění korozních úbytků a plošných vad pod izolací. Jde o objemovou metodu, kdy jedním měřením můžeme zkontrolovat 20–100 bm potrubí na obě strany od nasazeného prstence. Délka měření se odvíjí od celkové situace a konfigurace potrubí a jeho příslušenství. Průměrná délka měření je cca 20 bm na obě strany potrubí, celkem tedy 40 m potrubí. Použitelnost metody je omezena pro některé druhy kapalin, a to zejména kapaliny bahnité konzistence.



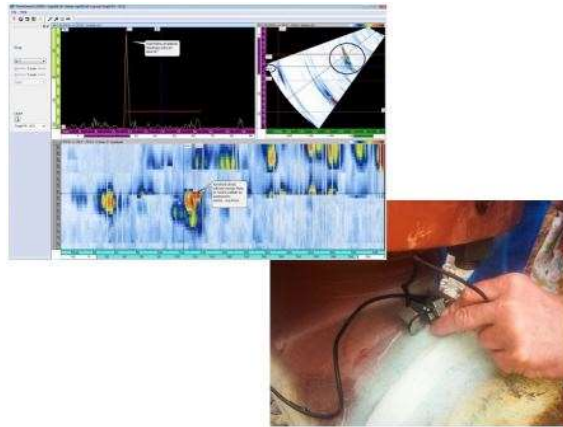
Obr. 4.9 Metoda Guided Waves [48]

Metoda TOFD využívá podélné i příčné ultrazvukové vlny, přičemž jedna sonda vlny vysílá a druhá přijímá. Tato metoda je vhodná pro zkoušení svarů, potrubí, nádrží atd. Výsledky je možné vyhodnotit ihned po ukončení skenování a pravděpodobnost detekce vad je až 98 %. Při zkoušce není vyzařováno ionizační záření. Metoda umožňuje i zkoušení materiálů obtížně kontrolovatelných (např. nerez) z důvodu vysokého útlumu šumu. Je možná zapojit až 4 páry TOFD sond najednou pro kontrolu silných materiálů. Metoda není využitelná při špatném stavu povrchu, ze kterého je zkouška prováděna, nebo pokud je povrch pokryt nátěrem.



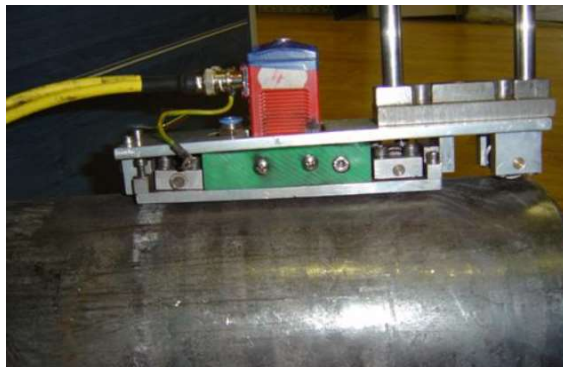
Obr. 4.10 Metoda TOFD [49]

Metoda Phased Array (PA) využívá elektronické řízení ultrazvukového svazku využívaného při diagnostice a kontrole geometricky složitých součástí (lopatky turbín, odlitky apod.), složitých svařenců, při kontrole kvality tupých svarů, kontrole svarů mostních konstrukcí apod. Záznam z měření lze nahrát v digitální formě a uschovat k pozdějšímu využití. Kontrola svarů pomocí metody Phased Array je dle normy EN 12732 považována za rovnocennou se základní NDT metodou prozářením (RT).



Obr. 4.11 Metoda Phased Array [50]

Metoda EMAT (ElectroMagnetic Acoustic Transducer) se užívá pro feromagnetické materiály a je založena na vzniku Lorencovy síly v magnetickém poli vytvářeném EMAT sondou. Vhodnou orientací pole vzniká ultrazvuková vlna, která vniká do materiálu. Oproti klasickému ultrazvuku není pro transport ultrazvukové vlny do materiálu potřeba vazební prostředek (olej, voda apod.). Metoda je nejčastěji používána pro kontinuální měření tloušťky stěny, ale v současnosti je možné i zkoušení úhlovou sondou.



Obr. 4.12 Metoda EMAT [51]

Metoda MMM (Metal magnetic memory) je založena na snímání zbytkových magnetických polí materiálu. Pomocí skenovacího zařízení je možné zaznamenat intenzitu magnetického pole a její gradient do tzv. magnetogramu. Tyto zaznamenané změny magnetického pole poukazují na změny v materiálu (např. místa s koncentrací napětí). Metoda je využívána pro nalezení SCZ (Stress Concentration Zones), poruch a heterogenity v mikrostruktuře materiálu a svarových spojů. Skenovací zařízení se liší hlavně počtem a umístěním sond a jsou určena pro potrubí v hloubce 1 až 2 m. [33]

Metoda EDMET využívá znalosti o šíření elektrického proudu na rozhraní vodiče a dielektrika. Rychlost šíření elektrického proudu lze měřit speciálními přístroji a podle vztahu změny elektrické rezistence a úbytku průřezu vodiče, v tomto případě kovového

potrubí. Metoda je aplikovatelná za provozu na potrubí délky 20–100 m o různých průměrech a tloušťkách stěn. Výsledky umožňují predikci poruch a predikci zbytkové životnosti trubek. Jedná se o velmi přesné měření a o srovnávací metodu. Speciálním algoritmem bude možné získat soubor výsledných hodnot kombinací s metodou měření proudové hustoty při napájení střídavými proudy. Při ní se využívá tzv. skin efektu projevujícího se při vyšších frekvencích vyšší proudovou hustotou u vnějšího povrchu měřeného tělesa. Se znalostí geometrie měřeného kovového tělesa lze určit průměrnou tloušťku mezi měřicími elektrodami. [33]

Metoda DCVG (Direct current voltage gradient) je založena na tom, že při hledání vady je do obvodu s potrubím zapojen improvizovaný systém katodické ochrany, do kterého je zapojen přerušovač proudu vytvářející proudové impulzy s charakteristickou periodou a frekvencí. Tím odlišuje hledaný signál od jiných zdrojů stejnosměrného napětí. Na povrchu terénu nad potrubím nebo podzemním zařízením je snímán napěťový rozdíl vytvářený průchodem proudu do místa poškození izolace. Měření velikosti a směru proudu, tekoucího směrem k epicentru defektu, se provádí milivoltmetrem. Směr vady umožňuje určit asymetričnost pulsu. Krokováním měření a opakováním v obou osách je možné lokalizovat epicentrum vady. Pro proměření vady je v jejím místě využita velikost gradientu proti vzdálené zemi odečtená z přístroje. Tato hodnota se procentuálně porovnává s předpokládanou hodnotou rozdílu potenciálů při zapnuté a vypnuté katodické ochraně. V případě, že na potrubí není instalována katodická ochrana, je úsek potrubí napájen přenosným zdrojem s elektrocentrálou. Základní měření metodou DCVG může být rozšířeno o doplňková měření. [33]

4.3 Metody k určení ztrát vody

4.3.1 Měření průtoků

Úniky vody se vyskytují jak na vodovodních řadech, tak i na domovních přípojkách. Mohou způsobit problémy nejen se zásobováním vodou, ale také přivodit značné ekonomické ztráty spotřebitelům a dodavatelům. Z toho důvodu v současné době nabízí několik firem, jako například Megger, Kamstrup nebo Asio, inteligentní vodoměry, které jsou schopny úniky vody identifikovat a přesně určit jejich místo.

Měření průtoků slouží provozovatelům a vlastníkům vodovodů k řadě účelů, a to například pro správné rozdělování vody v systému, pro přehled o aktuální spotřebě, ale také lze pomocí měření průtoků identifikovat úniky vody v systému.

K rychlé identifikaci a odhalení úniku vody slouží například přístroje na monitoring průtoků sledující odběrové diagramy v dané oblasti. Ty umožňují rychlou reakci na nově vzniklý únik, čímž následně minimalizují způsobené ztráty. K tomuto účelu slouží především univerzální dataloggery, které jsou schopny měřit průtoky vody operativně, ale také slouží k dlouhodobému měření. Tato zařízení je dále možno propojit s jakýmkoliv dalším měřidlem nebo čidlem.

Další variantou jsou přenosné nebo trvale osazené ultrazvukové průtokoměry, umožňující měření průtoku v místech, kde není umístěno jiné měřicí zařízení. Při osazování není potřeba potrubí upravovat destruktivními metodami.

Měření průtoku vody může pomoci odhalit skryté úniky vody, zejména díky pokročilému systému vyhodnocení. Dokáže také upozornit na nesrovnalosti ve fakturaci nebo na neoprávněné odběry, čímž zabrání případným ekonomickým ztrátám. [52]

4.3.2 Korelátoři

Korelace funguje na principu porovnávání zvuku zjištěného na dvou různých místech potrubí. Za předpokladu konzistentního materiálu a průměru potrubí se zvuk šíří z úniku v obou směrech konstantní rychlostí, takže pokud je únik ve stejné vzdálenosti mezi dvěma senzory, budou tyto senzory detekovat hluk současně. Naopak, pokud únik není ve stejné vzdálenosti od obou sensorů, pak senzory detekují stejný hluk v různých časech – tento rozdíl v dobách se měří procesem korelace.

Rychlost zvuku závisí na materiálu a průměru potrubí a v menší míře na okolní zemině. Často se používají teoretické hodnoty rychlosti zvuku, což je v pořádku pro první aproximaci polohy úniku. Rychlost se však bude měnit kvůli mnoha faktorům, a to významně, pokud existuje na potrubí opravovaný úsek z jiného materiálu. Je proto potřeba případně provést více korelací.

Při všech korelačních technikách by si pracovníci měli být vědomi toho, že jakýkoliv okolní zdroj zvuku může vést ke korelační špičce, a až do potvrzení by se proto mělo se všemi výsledky zacházet jako s „body zájmu“. Potvrzení, že v „bodě zájmu“ dochází skutečně k úniku vody, se obvykle provádí pomocí půdního mikrofónu.

Je také důležité si uvědomit, že možnost využití korelátorů závisí na tlaku a úrovni šumu v okolí potrubí. Kromě toho může být využití korelace znemožněno, protože vyžaduje dva monitorovací body (jeden na každé straně úniku) a útlum často způsobí, že zvukové signály úniku v jednom, nebo dokonce v obou bodech, zmizí.

Korelace vyžaduje zvukový signál. Běžně jsou využívány dva typy snímačů: akcelerometry a hydrofony. Ty mají významné rozdíly v jejich vlastnostech i použití.

Aby bylo možné provést korelaci pomocí akcelerometrů, jsou na armatury potrubí umístěny dva senzory, takže není vyžadován přístup k vodě uvnitř potrubí. Akcelerometry mají tendenci více reagovat na vyšší frekvence. Jsou neúčinnější u kovových potrubí, a naopak méně účinné u nekovových potrubí. To je způsobeno jak rychlým útlumem vysokofrekvenčních signálů u nekovových potrubí, tak i nesouladem impedance mezi materiálem potrubí a kovovými armaturami, které se běžně používají pro umístění akcelerometru. Jejich snadná montáž a nízké náklady z nich však činí atraktivní volbu při snaze o lokalizaci úniků.

Určení místa netěsnosti u plastových potrubí a potrubí s velkým průměrem je obtížné, jelikož se stávají pružnějšími, když je materiál potrubí měkký nebo se zvyšuje poměr

tloušťky stěny k celkovému průměru trubky. To má za následek rychlejší absorpci energie úniku do materiálu potrubí a okolní půdy a dochází tak k útlumu při současném zvětšování vzdálenosti od místa úniku.

Akcelerometry umístěné na vnější straně potrubí detekují energii ztracenou ve stěně potrubí. Vlna přenášená vodou je detekována přímo hydrofony umístěnými do vody na vhodných armaturách, jako jsou požární hydranty. V kombinaci s pokročilou technologií filtrování jsou hydrofony prospěšné v tom, že umožňují lokalizaci netěsností na plastových potrubí a na potrubí o větších průměrech. [53]

4.3.3 Půdní mikrofony

Půdní mikrofon se používá na povrchu nad potrubím pro určení polohy úniku po částečné lokalizaci například poslechovou tyčí, pokud nejsou k dispozici žádná kontaktní místa na potrubí nebo pokud jde o nekovový materiál, na kterém se zvuk úniku špatně přenáší.

Půdní mikrofon se pohybuje po povrchu terénu a následuje dráhu potrubí pod zemí, přičemž operátor zaznamenává změny v intenzitě zvuku, dokud není identifikována oblast jeho maximální hlasitosti.

Pro potřebu zjištění polohy úniku pod zemí je možnost na zem nad podezřelé potrubí umístit akusticky stíněnou trojnožku nebo stojánek. To je užitečné zejména na tvrdém povrchu a zajišťuje izolaci od okolního ruchu, což umožňuje jeho použití v hlučných i větrných podmínkách. Na měkkém podkladu je obvykle použít stativ s hroty. K zajištění dobré akustické vazby u armatur lze použít také ruční sondu, která napomáhá zajistit jasnější a hlasitější zvuk úniku.

Je důležité si uvědomit, že hlasitost se bude jevit větší tam, kde je menší tloušťka zásypu, jelikož zvuk úniku bude vždy následovat cestu nejmenšího (akustického) odporu.

Ačkoliv lze elektronický půdní mikrofon použít pro kompletní průzkum úniků a určení polohy, jeho použití je velmi náročné na pracovní sílu a pracovníci musí překonávat chůzi velké vzdálenosti. V současné době jsou k dispozici další moderní technologie pro rychlejší a efektivnější průzkum velkých ploch, jako například nasazení akustických záznamníků zvuku podél potrubí v měřené oblasti.

Moderní pozemní mikrofony se proto dnes primárně používají pro potvrzení výsledků korelace před samotným kopáním. Tím se zabrání mylné lokalizaci úniku, což by mohlo vést k nesprávně umístěnému nebo zbytečně velkému výkopu. [53]

4.3.4 Detekční plyn

Tato metoda využívá detektor plynu ke zjištění přítomnosti trasovacího plynu injektovaného do potrubí. Přestože lze použít helium, nejběžněji využívaným plynem pro tuto metodu je vodík kvůli jeho nízkým nákladům a vysoké účinnosti.

Vodík je nejlehčí plyn a má nejnižší viskozitu. Typicky se trasovací plyn skládá z 5 % z vodíku a z 95 % z dusíku. Plyn může být injektován například do podzemních

a potrubních kabelů, trubních sítí, vnitřních rozvodů včetně podlahového topení, kanalizačního potrubí atd.

Metodu vstřikování plynu lze využít k detekci úniků vody ve všech materiálech potrubí od průměru 75 mm do 1000 mm. Může být použita také na potrubí většího průměru, k tomu by ale bylo zapotřebí velké množství plynu, proto není tato metoda pro potrubí o větších průměrech příliš vhodná. Potrubí může být prázdné nebo v provozu.

Aby bylo možné přesně lokalizovat unikající plyn na povrchu potrubí, musí být znám směr toku vody a plyn by měl být udržován v potrubí, kde je podezření na únik. To vyžaduje uzavření všech odboček na potrubí a všech odběrů, jelikož mohou způsobit ředění nebo únik plynu z daného potrubí mimo místo závady.

Smíchání plynu s vodou nemá žádný vliv na kvalitu vody. Tuto metodiku lze použít ve všech typech uzavřených potrubí, včetně kabelů. Materiál potrubí nemá vliv na vstřikovaný plyn. [53]

4.3.5 Poslechové tyče

Stetoskop nebo poslechová tyč má sluchátko a je využívána k poslechu unikající vody na tvarovkách a potrubí a k určení místa netěsnosti. Jedná se o široce používané zařízení u mnoha vodárenských společností. Materiál poslechové tyče může být kov, dřevo nebo plast. Tato technika závisí na schopnosti pracovníka slyšet unikající vodu a nepoužívá žádné elektronické zařízení k vylepšení zvuku.

Tato metoda je nejvhodnější pro použití na kovových potrubích o průměru mezi 75 mm a 250 mm. Materiál nebo průměr potrubí nemají vliv na schopnost poslechové tyče určit místo úniku vody, nicméně šum v pozadí, schopnosti pracovníka, tlak vody opouštějící potrubí nebo zásyp potrubí mohou schopnost určení místa úniku ovlivnit. [53]

4.3.6 Satelitní analýza

Společnosti Pražské vodovody a kanalizace, a. s. a Vodovody a kanalizace Zlín, a. s. začaly v roce 2021 využívat technologicky nejvyspělejší metodu vyhledávání poruch založenou na satelitní analýze vodovodní sítě UTILIS.

Družice monitoruje zemský povrch z výšky 628 km pomocí mikrovlnného paprsku. UTILIS následně data přepočítá a zobrazí potenciální místa úniku vody ze sítě. Senzor na satelitu zachycuje vyslané radarové impulsy schopné rozlišit typ vody, zda se jedná o povrchovou, odpadní či pitnou. Systém je funkční za každého počasí a radarové odrazy pronikají až do tří metrů hloubky v závislosti na typu povrchu. Vyhodnocení snímků trvá řádově dny.

Dle slov Petr Mrkose, generálního ředitele společnosti PVK, bylo pomocí této metody snímáno zhruba 500 kilometrů vodovodní sítě. Systém označil 45 oblastí, kde by potenciálně mohlo docházet k úniku pitné vody. Následným průzkumem těchto oblastí bylo nalezeno 26 skrytých úniků vody.

Projekt realizuje brněnská firma Radeton, specializující se na trasování kabelů a potrubí a boj s úniky vody a plynu. Ta po skončení monitoringu sítě předá detailní mapové výstupy a zajistí fyzické dohledání potenciální poruchy. [54]

4.3.7 SmartBall

Inspekční koule SmartBall byla vyvinuta společností Pure Technologies. Detekce a lokalizace úniku vody a vzduchových bublin inspekční koulí probíhá přímo z vnitřní strany potrubí za plného provozu.

Zařízení tvoří volně plovoucí pěnová koule s hliníkovým jádrem, které obsahuje elektronický přístroj zachycující akustické signály spojené s únikem a plynovými nebo vzduchovými bublinami v tlakových potrubích.

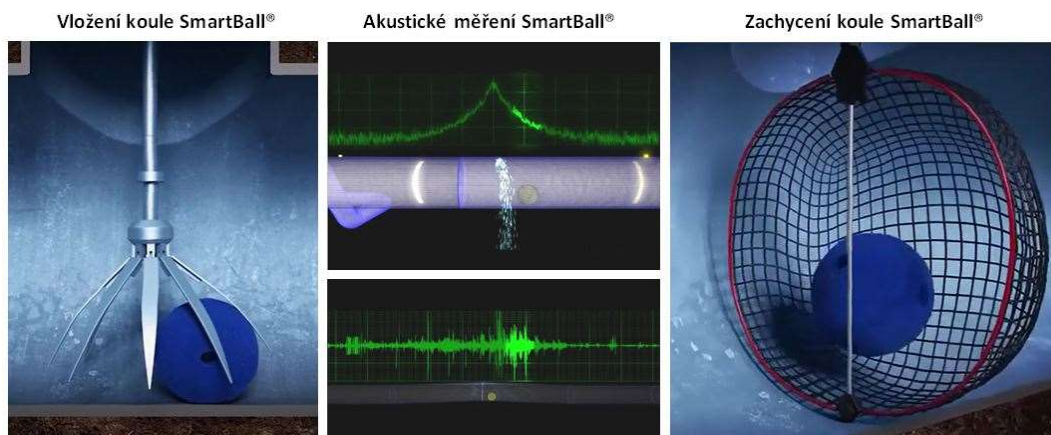
Inspekční koule je vkládána přímo do potrubí pod tlakem za provozu, pohybuje se v něm směrem po proudu vody a zaznamenává informace o únicích a vzduchových nebo plynových bublinách. Po ukončení kontroly se koule vytáhne z potrubí a následně se vyhodnotí výsledky měření.

Metoda je vhodná pro kontrolu vodovodních sítí (pitná voda, užitková voda, požární vodovod apod.), kanalizace, přivaděče vodních elektráren, ČOV apod.

Inspekční systém SmartBall se používá pro detekci a lokalizaci úniků a vzduchových bublin v plastových, betonových, železných a jakýchkoliv jiných tlakových potrubích.

Základní technické údaje metody SmartBall:

- Průměr potrubí: DN 200 a větší,
- maximální provozní tlak: 34,4 bar,
- minimální provozní tlak: 1,03 bar,
- maximální teplota kapaliny: + 70 °C,
- maximální rychlost proudění kapaliny: 1,82 m.s⁻¹,
- minimální rychlost proudění kapaliny: 0,15 m.s⁻¹,
- maximální doba jednoho kontinuálního měření: 8 hod.



Obr. 4.13 Technologie SmartBall [55]

4.3.8 Sahara

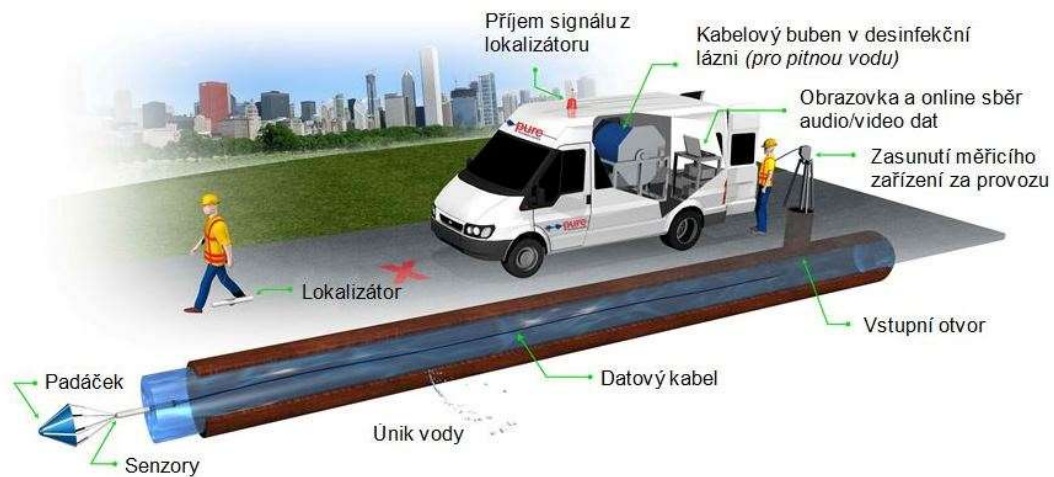
Technologie Sahara byla, stejně jako technologie SmartBall, vyvinuta společností Pure Technologies. Jedná se o vnitřní inspekci a video kontrolu vodovodních potrubí a rozvodů (použití pro pitnou vodu, užitkovou vodu i požární vodu), včetně kanalizace.

Jde o akusticko-vizuální screeningovou metodu sloužící k rychlému zjištění úniků a vzduchových polštářů (vnitřní koroze ve vodovodech se vyskytuje zejména v místech vzduchových polštářů) a video kontrolu vnitřní části potrubí pod tlakem bez nutnosti přerušování provozu.

Metoda je použitelná pro všechny druhy materiálů potrubí, např. ocel, litinu, beton, železobeton, plast apod.

Základní technické údaje metody Sahara:

- Průměr potrubí: DN 150 a větší,
- maximální provozní tlak: 17 bar,
- minimální provozní tlak: 1 bar,
- maximální rychlost proudění kapaliny: $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- minimální rychlost proudění kapaliny: $0,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- maximální délka kabelu: 1800 m,
- přesnost lokalizace úniku: do 0.5 m.



Obr. 4.14 Technologie Sahara [56]

4.3.9 MTA Pipe-Inspector

Bezdrátový kamerový systém s integrovanou funkcí zjišťování úniků MTA Pipe-Inspector byl vyvinut Rakouskou společností MTA Messtechnik a v České republice ho nabízí firma StemCon, a.s.

MTA Pipe-Inspector umožňuje bezdrátovou optickou a akustickou kontrolu potrubí bez nutnosti přerušování provozu. Je možné provádět kontinuální prohlídky dlouhé až 50 km, jelikož systém není limitován žádným kabelovým připojením. MTA Pipe-Inspector je vybaven vlastními bateriemi, posouvá se potrubím a průběžně zaznamenává data z vnitřní části potrubí, čímž umožňuje zjistit technický stav potrubí bez nutnosti výkopů, výřezů nebo omezení provozu potrubí.

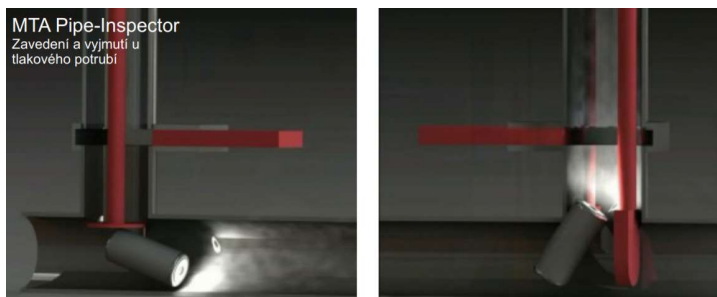
Mezi hlavní funkce patří optická TV inspekce, záznam zvuku pro detekci úniků, přesnost až 10 l/hod při tlaku 5 bar, záznam tlakových poměrů po dobu inspekce, volitelné měření míry zákalu a vodivosti, měření teploty a délky. Výsledkem analýzy je záznam v HD kvalitě, protokol o poškození (včetně obrazové přílohy) a úsekové protokoly.

MTA Pipe-Inspector překonává ohyby i lomy potrubí až do 90°, lze ho využít pro průměry od DN 100 do DN 3000 bez ohledu na materiál potrubí a je použitelný také v případech složitě přístupných potrubních vedení.



Obr. 4.15 Technologie MTA Pipe-inspector

Vložení a vyjmutí: zařízení je vloženo do potrubí s využitím stávajícího přístupu (u tlakových potrubí je vloženo za pomoci speciálního přípravku) a následně je stejným způsobem na konci kontroly vyjmuto.



Obr. 4.16 MTA Pipe-inspector, vložení a vyjmutí [57]

4.3.10 WCS – Water control systems

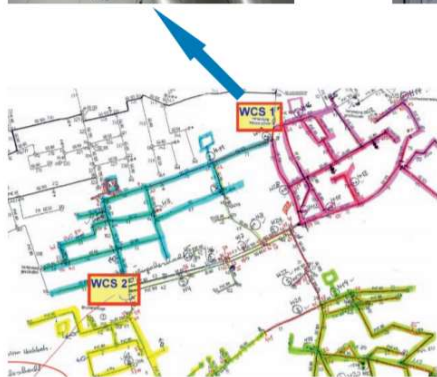
Water control systems je modulární mobilní systém určený k zaznamenávání dynamických a statických hodnot vodovodních a kanalizačních sítí, ČOV, systému dálkového vytápění atd. Metoda byla vyvinuta Rakouskou společností MTA Messtechnik a v České republice ji nabízí firma StemCon, a.s.

Měřené hodnoty jsou zaznamenávány v reálném čase, proto lze metodu využít i např. pro zjišťování úniků vody z potrubí.

Systém je navržen pro použití s bateriemi, jejichž životnost je až 5 let. Baterie umožňují nezávislost na zdroji energie a komfortnější dostupnost měřených dat (nehrozí např. ztráta při výpadku sítě). Nicméně je možné i napojení na elektrickou síť.

Systém je možné připojit k jakýmkoliv již existujícím sondám, měřákům nebo řídicím jednotkám. Data mohou být odesílána analogově nebo digitálně. Díky online pracovnímu módu mohou být data, měření i grafy sledovány v reálném čase. Není nutné instalovat program nebo software, data je možné sledovat na běžném zařízení s připojením k internetu. Klient se pomocí internetu přihlásí pod uživatelským jménem a heslem na server a získá tím okamžitý přístup k datům.

WCS FUNKČNÍ DIAGRAM



SLEDOVÁNÍ DAT

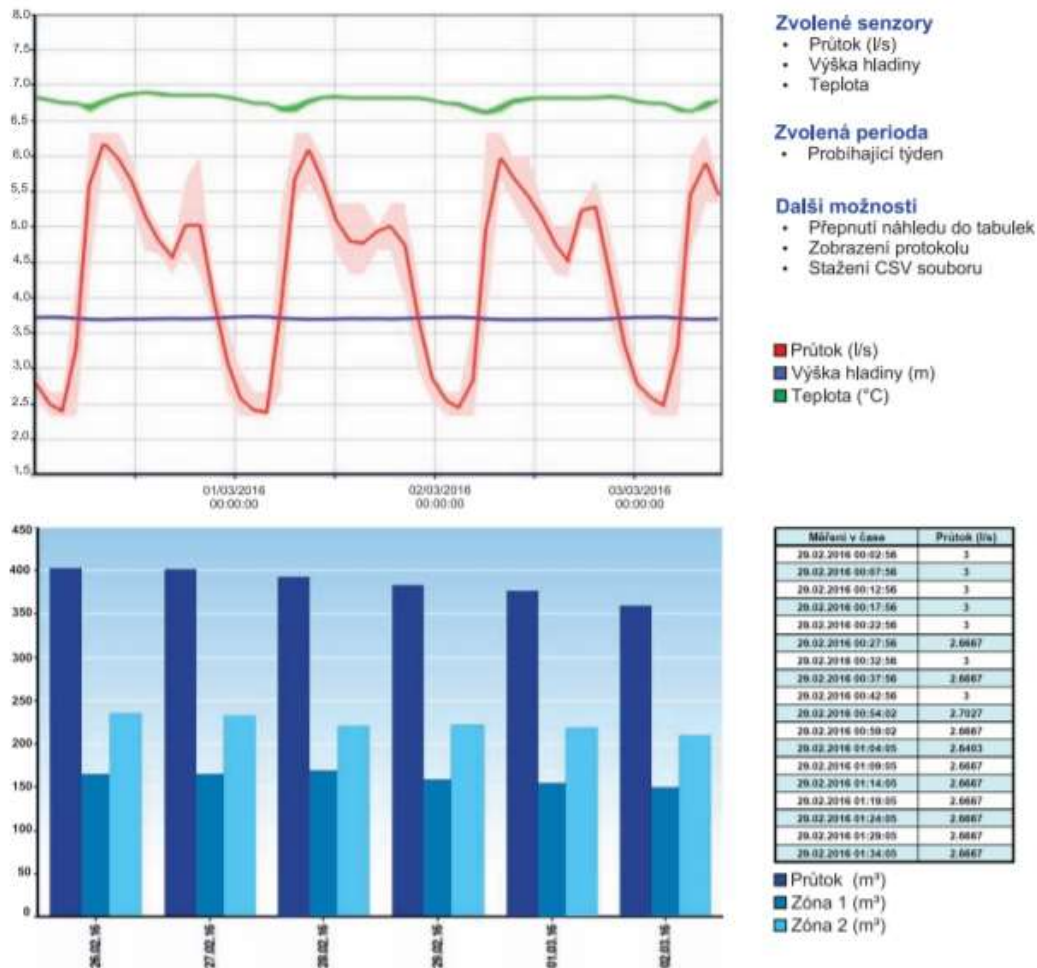
Sledování dat v reálném čase umožňuje úspěšný monitoring potrubních systémů.

Systém nabízí možnost regulace systému v reálném čase a tím i zabránění nebezpečí větších ztrát např. díky možnosti uzavírání či otevírání armatur. Včasným zásahem je možné zabránit větším škodám.

Dalším užitečným prvkem je možnost zaslání poplachových zpráv na základě definovaných mezních hodnot, a to e-mailem nebo SMS.

Obr. 4.17 Technologie WCS – Water control systems

Kontrolní centrum lze nastavit tak, aby představovalo grafické znázornění systému. Je možné zvolit pro prezentaci naměřených dat grafickou verzi, tabulky, grafy nebo jejich kombinace.



Obr. 4.18 WCS webové rozhraní [58]

4.4 Metody hodnocení technického stavu v zahraničí

Studie z roku 2017, která byla provedena v Kanadě, měla za úkol zjistit vhodnost technologií pro hodnocení technického stavu vodovodního systému.

Následující tabulka uvádí seznam dostupných technologií pro hodnocení technického stavu liniových staveb. Studie obsahuje také obsáhlý popis jednotlivých metod, nicméně většina z nich již v této práci popsána je, proto je zde uveden pouze výčet metod. Byly vybrány pouze nedestruktivní technologie, jelikož jsou spolehlivější a poskytují přímé výsledky. Tabulka je sestavena na základě studie zpracované Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států (EPA) s názvem „Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems“ z roku 2012.

Technologie pro hodnocení technického stavu potrubí	Popis	Příklady metod
Měření hloubky důlkové koroze	Měření hloubky důlkové koroze u kovových potrubí	Automatický ultrazvukový skener
		Ultrazvukové bodové měření
		Hloubkoměr s jehlovým dotekem
		Laserové měření
Vizuální inspekce	Posouzení vnitřního nebo vnějšího povrchu potrubí vizuální inspekci	Inspekce vstoupením do objektu
		Closed-circuit television (CCTV)
		Video endoskop
		3D optické skenování
		Laserové profilování
		Ruční 3D skener
Elektromagnetická inspekce	Inspekce feromagnetických potrubí za použití elektromagnetických metod	Únik magnetického toku
		Pulzní vířivé proudy
		Širokopásmové elektromagnetické
		Radar pronikající zeminou
		Širokopásmový pulzní radar
		Vybuzené vířivé proudy
Akustická inspekce	Používá zvukové vlny k určení místa a rozsahu závad na potrubí	Sonar
		Pasivní akustická emise - Impact echo
		Akustická emise
		Detekce průsaků
Ultrazvukové testování	Hledání poruch na skrytých místech vnější či vnitřní strany potrubí	Kontinuální měření
		Phased Array
		seismické pulzní ozvěny
Posouzení vlastností půdy	Nepřímo měří rychlost prostupu koroze pomocí elektrochemické reakce se slabým elektrickým proudem	Lineární polarizační odpor
		Vlastnosti půdy
		Korozivita půdy
		Odolnost půdy
		Průzkum vztahu potrubí k půdě
Senzory	Pokročilá technologie senzorů pro inspekci vodovodní sítě, zjišťování úniků vody a hodnocení technického stavu zakopaného potrubí	Bezdrátové senzory
		Akustické monitorování optickými vlákny
		Čidlo rychlosti prostupu koroze
		Magnetostrikční senzor
		Flexibilní ultrazvukový měnič
		Senzor poškození
Mikrovlnný senzor zpětného rozptylu		

Tabulka 4.1 Metody hodnocení technického stavu – Kanada [59]

5. APLIKACE TEA WATER

Koncept metodiky předběžného hodnocení technického stavu objektů vodovodní sítě využití v aplikaci TEA Water vychází z obecné metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Metoda FMEA umožňuje semikvantitativní hodnocení systému a jeho objektů. Pro hodnocení vodárenského systému metodou FMEA je potřeba stanovit konkrétní technické ukazatele (TU) pro určité části systému zásobování pitnou vodou a jeho objekty. Následně se pro každý z technických ukazatelů definuje způsob jeho stanovení, potřebná vstupní data, fyzikální rozměr a způsob hodnocení.

Pro posouzení jednotlivých částí a objektů systému zásobení pitnou vodou je metodika rozdělena na následující moduly:

- Modul TEAR – vodní zdroje,
- modul TEAT – úpravny vody,
- modul TEAM – přiváděcí řady,
- modul TEAA – vodojemy,
- modul TEAP – čerpací stanice,
- modul TEAN – vodovodní síť,
- modul TEAS – vodovodní řady.

Celkové hodnocení posuzovaného objektu pomocí některého z modulů vychází z analýzy dvou základních částí objektu:

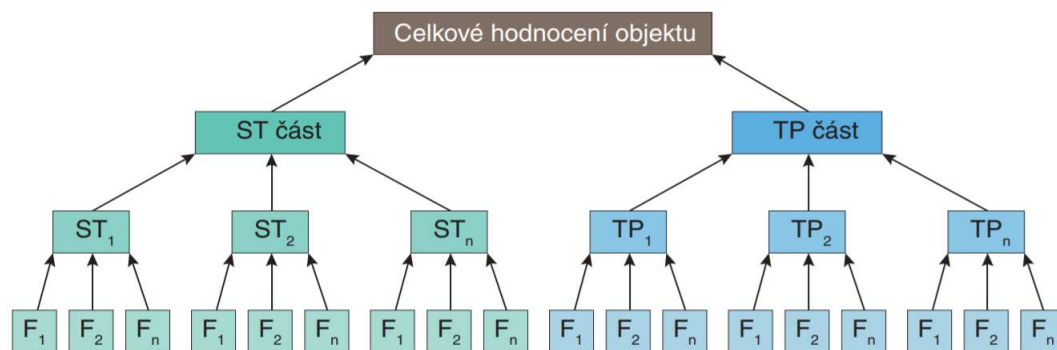
- ST – stavebně-technické hodnocení (obsahuje sadu ST ukazatelů, které se snaží popsat skutečný stavební a technický stav posuzovaného objektu),
- TP – technologicko-provozní hodnocení (obsahuje sadu TP ukazatelů, které se snaží popsat provozní parametry posuzovaného objektu).

Tato metodika je na rozdíl od standardní metody FMEA rozšířena o další úroveň, kterou jsou faktory (F). Technické ukazatele tak nejsou hodnoceny přímo, ale je využita sada faktorů pro jednotlivé technické ukazatele. Každý faktor obsahuje 4 bodový systém hodnocení, který je specifikován a je doporučeno bodové hodnocení každého z faktorů. Všem faktorům a technickým ukazatelům jsou přiřazeny jejich váhy odrážející jejich význam při hodnocení.

Bodové hodnocení faktorů je následující:

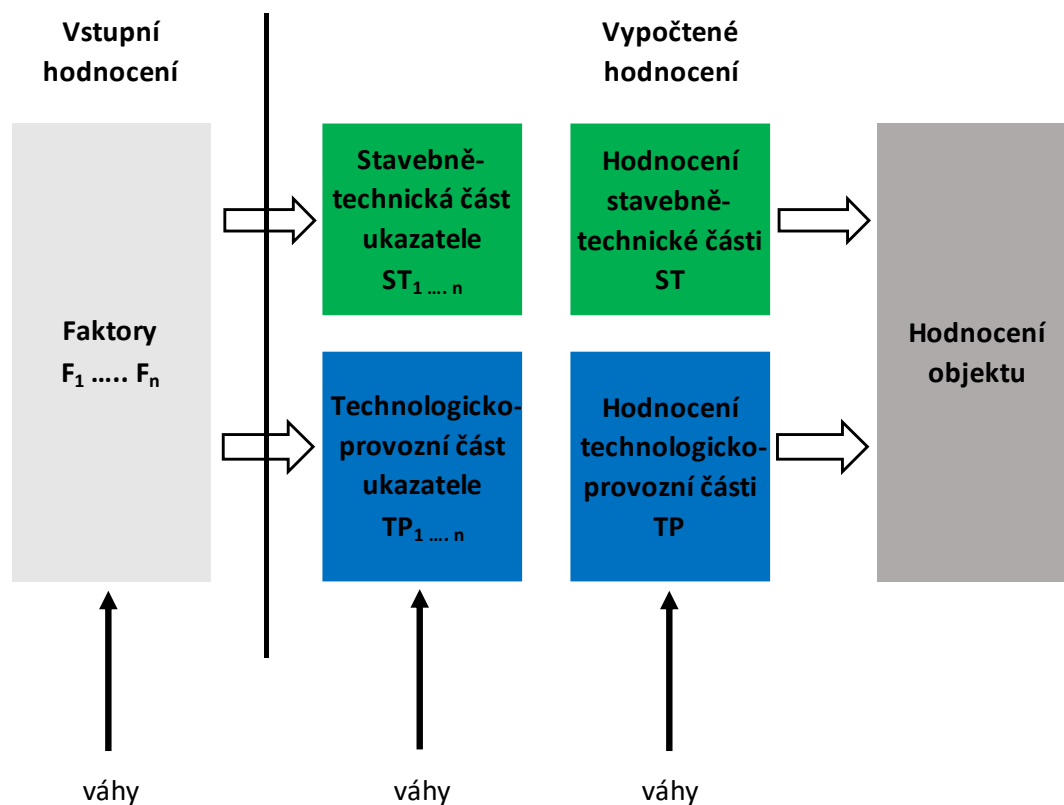
- 0 – faktor není hodnocen nebo není dostatek vstupních dat pro hodnocení,
- 1 – nejpriznivější stav,
- 2 – příznivý stav,
- 3 – nejméně příznivý stav.

Rozsah informací na úrovni faktorů je velmi důležitý, protože jsou do této úrovně zadávána základní data o posuzovaném objektu. Z těchto informací je poté stanoveno hodnocení jednotlivých faktorů, ukazatelů, částí a objektů vodárenských systémů. Strukturu hodnocení rozšířenou o faktory lze vidět na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Struktura hodnocení technického stavu objektu aplikací TEA Water

Schéma na obrázku 5.2 zobrazuje postup hodnocení technického stavu u metodiky předběžného hodnocení technického stavu objektů vodovodní sítě.



Obr. 5.2 Postup hodnocení technického stavu

Metodika vychází z metody váženého součtu. Nastavení vah u jednotlivých faktorů a ukazatelů je u této metodiky velmi významné a součet vah ukazatelů musí být roven jedné. Váhy byly stanoveny na základě zkušeností a poznatků řešitelského týmu získaných mimo jiné od pracovníků vodárenských společností.

Hodnocené objekty, jejich části a konkrétní ukazatele mohou spadat do následujících kategorií:

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 plánována opatření na řešení tohoto stavu
E+, E, E-	E	5	nežádoucí stav, který vyžaduje dle možnosti provozovatele okamžitá řešení, které povede k dosažení lepších hodnot příslušného ukazatele
N	N	N	pro hodnocení tohoto TU není dostatek informací

Tabulka 5.1 Kategorie hodnocení

Jak je z tabulky patrné, pro hodnocení celého objektu nebo modulu bylo zvoleno více podrobné hodnocení se zařazením mezistupňů + a –, čímž se zvyšuje počet výsledných hodnotících kategorií. To umožňuje hodnotiteli získat větší přehled o dosaženém výsledku hodnocení. [9][11]

5.1 Moduly aplikace TEA Water

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, aplikace TEA Water obsahuje několik modulů, a to konkrétně modul TEAR, modul TEAT, modul TEAM, modul TEAA, modul TEAP, modul TEAN a modul TEAS. V rámci této práce bude dále pracováno pouze se dvěma moduly, a to konkrétně modulem TEAN pro rozvodnou síť a modulem TEAA pro vodojem. Dále proto budou podrobněji popsány pouze tyto dva vybrané moduly.

5.1.1 TEAN – rozvodná síť

Modul TEAN slouží k hodnocení technického stavu vodovodní sítě. Mezi základní informace pro tento modul patří: ID, název, IČME, rok výstavby, rok rekonstrukce, typ zásobování, délka sítě, počet zásobených obyvatel, minimální a maximální profil DN, zastoupené trubní materiály a minimální a maximální nadmožská výška spotřebiště.

Modul je popsán následujícími technickými ukazateli a faktory:

Stavebně-technický audit	ST1: Průměrné stáří trubního materiálu	F1: Stáří potrubí dle trubního materiálu F2: Inkrustace potrubí
	ST2: Stav armatur na síti	F1: Uzavírací armatury F2: Hydranty F3: Ostatní armatury
	ST3: Stav armaturních šachet	F1: Stav armaturních šachet
Technologicko-provozní audit	TP1: Poruchovost řadu	F1: Průměrná roční poruchovost potrubí [pp/km/rok] F2: Dynamika poruch
	TP2: Ztráty vody	F1: Procento vody nafakturované z VVR
		F2: Jednotkový únik vody nefakturované (JUVNF)
		F3: Minimální noční odběry
		F4: Ekonomický index ztrát (EIZ)
	TP3: Kvalita vody v síti	F1: Vliv trubních materiálů
		F2: Kvalita dopravované vody
		F3: Inkrustace
		F4: Doba zdržení vody v síti [hod]
	TP4: Tlakové poměry v pásmu	F1: Maximální hydrostatický tlak [m v. sl.]
		F2: Průměrný hydrodynamický tlak [m v. sl.]
		F3: Kolísání hydrodynamického tlaku [m v. sl.]

Tabulka 5.2 Modul TEAN

5.1.2 TEAA – vodojemy

Modul TEAA slouží k hodnocení technického stavu vodojemů. Mezi základní informace pro tento modul patří: ID, název, IČME, rok výstavby, rok rekonstrukce, typ vodojemu, přítok do vodojemu, doba čerpání, celková akumulace, provozní akumulace, rezervní akumulace, požární akumulace, počet akumulačních komor, kóta maximální hladiny, kóta minimální hladiny, průměrná denní spotřeba vody, maximální denní spotřeba vody, maximální hodinový odběr a minimální hodinový odběr.

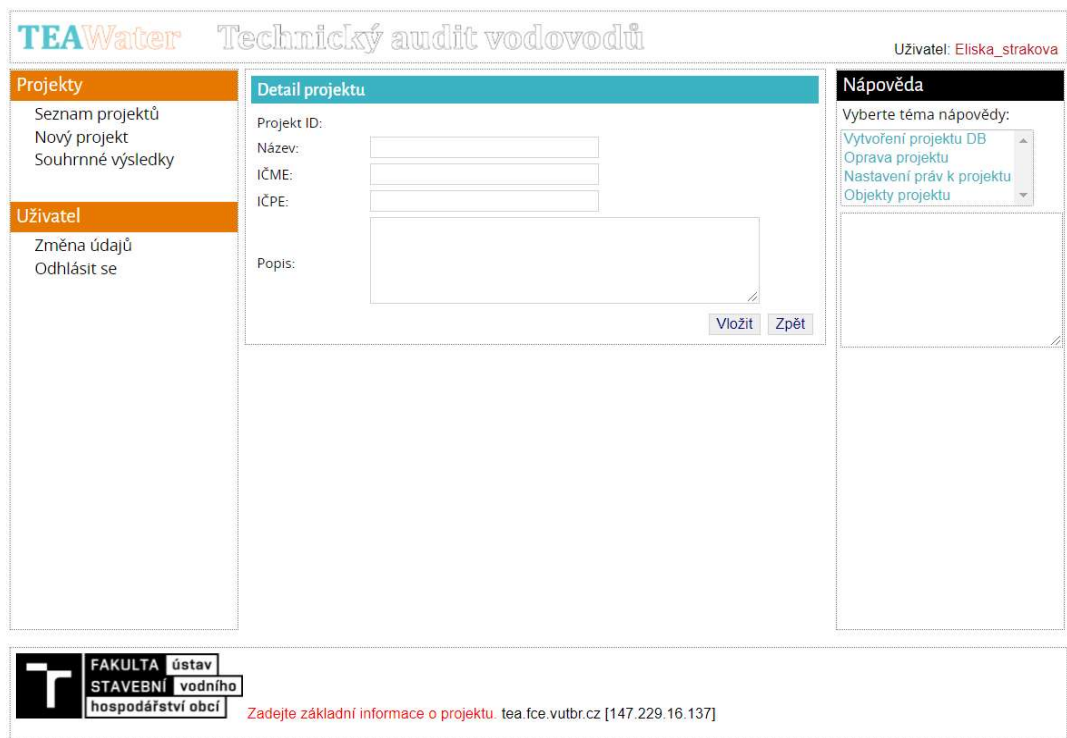
Modul je popsán následujícími technickými ukazateli a faktory:

Stavebně-technický audit	ST1: Stav stavebních konstrukcí akumulční komory	F1: Stav vnitřních stěn
		F2: Stav dna
		F3: Stav stropních konstrukcí
		F4: Stav střešní konstrukce
		F5: Stav svislých nosných konstrukcí
		F6: Stav kalové jímy
		F7: Stav vstupu do prostoru akumulční komory
	ST2: Stav stavebních konstrukcí manipulační komory	F1: Stav střešní konstrukce
		F2: Stav stropních konstrukcí
		F3: Stav podlahy
		F4: Stav opěrných bloků
		F5: Stav vnitřních stěn
		F6: Stav vnějších stěn
	ST3: Stav technického vybavení akumulční komory	F1: Stav potrubí
		F2: Stav odvětrání
		F3: Stav bezpečnostního přelivu
F4: Stav žebříku		
ST4: Stav technického vybavení manipulační komory	F1: Stav potrubí a armatur	
	F2: Stav prostupů potrubí konstrukcemi	
	F3: Zabezpečení proti vniknutí	
	F4: Osazení a stav průtokoměrů a měřících zařízení	
	F5: Stav odvětrání a oken	
	F6: Stav zámečnických výrobků	
Technologicko-provozní audit	TP1: Velikost akumulace	F1: Poměr provozní akumulace Ah a Qm
		F2: Minimální doba zásobení při poruše
		F3: Minimální doba zásobení při odběru požární vody
	TP2: Vliv akumulace na kvalitu vody	F1: Vzájemné umístění přítoku a odběru
		F2: Pohyb hladiny ve vodojemu
		F3: Průměrná doba zdržení ve vodojemu
	TP3: Tlakové poměry v síti	F1: Maximální hydrostatický tlak v nejnižším bodu sítě
		F2: Minimální hydrodynamický tlak v nejvyšším bodu sítě při Q _{h,max}
		F3: Minimální hydrodynamický tlak v nejvzdálenějším bodu sítě při Q _{h,max}
	TP4: Biologický audit	F1: Biologický audit

Tabulka 5.3 Modul TEAA [60]

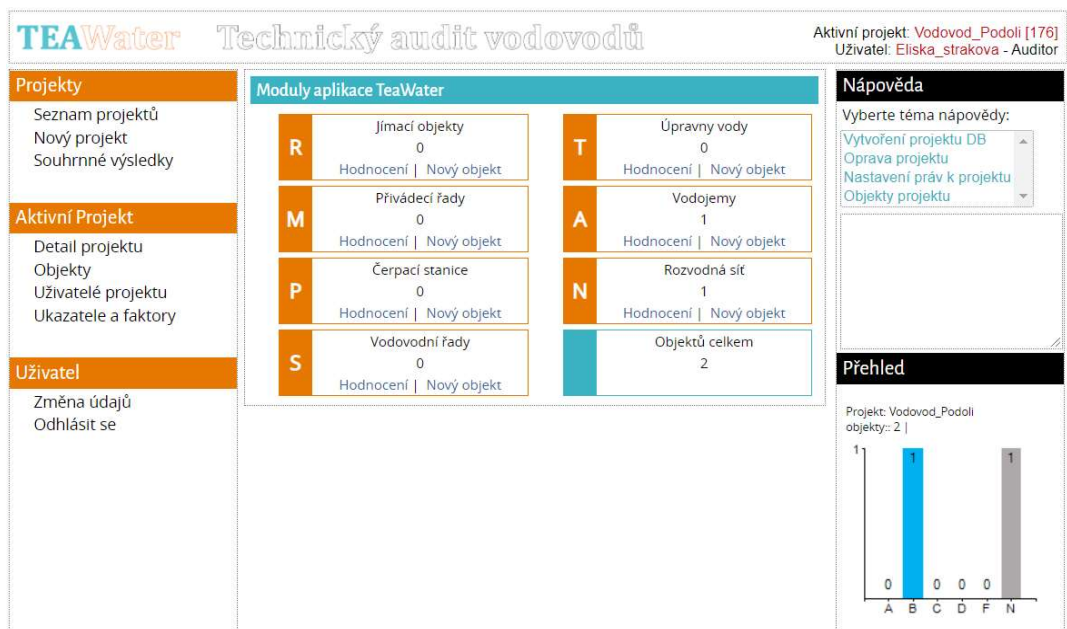
5.2 Prostředí aplikace TEA Water

Pro práci v aplikaci je nutná registrace a následné přihlášení na webové stránce <https://tea.fce.vutbr.cz/uzivatel/registrace.aspx>. Po registraci a přihlášení do aplikace je možné založit nový projekt. Aplikace uživatele vyzve k vyplnění základních údajů, a to ID projektu, název, IČME, IČPE a popis projektu.



Obr. 5.3 Aplikace TEA Water – detaily projektu

Následně má uživatel možnost kliknout vlevo na záložku objekty a po zvolení jednoho z nabízených modulů vytvořit nový objekt. Na obrázku 5.4 lze vidět, že uživatel zvolil moduly TEAA a TEAN a pro každý modul vytvořil jeden objekt.



Obr. 5.4 Aplikace TEA Water – vytvoření nového objektu

Samotné hodnocení probíhá po vložení základních informací o objektu. Základní informace se liší v závislosti na modulu. Pro představu je na obrázku 5.5 zobrazeno prostředí pro zadávání základních informací v modulu TEAN.

Seznam objektů Základní informace

TEAN: Detail vodovodní sítě

id:

Název:

Vodovod:

IČME:

IIČ:

Rok výstavby:

Rok rekonstrukce:

Systém zásobování:

Popis:

Celková délka sítě: [m]

Počet zásobených obyvatel:

Minimální profil DN: [mm]

Maximální profil DN: [mm]

Zastoupené trubní materiály:

- šedá litina PVC
- tvárná litina azbestocement
- ocel nerez
- sklolaminát ostatní
- PE

Min. nadmožská výška spotřebiště: [m n.m.]

Max. nadmožská výška spotřebiště: [m n.m.]

Vložit Zpět

Obr. 5.5 Aplikace TEA Water – základní údaje objektu

Následně se uživatel v horní části aplikace otevře možnost hodnocení stavebně-technického a technologicko-provozního stavu objektu a uživatel tak má možnost vyplnit ukazatele a faktory. Aplikace také umožňuje vkládat k hodnocení dokumenty různých formátů (doc., pdf, jpg). Po vyplnění je nutné hodnocení uložit.

Obr. 5.6 Aplikace TEA Water – hodnocení technického stavu

Poslední záložkou jsou výsledky auditu. Po kliknutí na záložku se uživateli zobrazí výsledné hodnocení objektu, přehled ukazatelů a váhy přiřazené jednotlivým ukazatelům.

Seznam objektů | Základní informace | Audit: Stavebně-technický

Audit: Technologicko-provozní | Výsledky auditu

Projekt: Vodovod_Podolí

Objekt: zkouška

B	CELKOVÉ HODNOCENÍ	VÁHA
[26-35%]		
B	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAN)	0,4
1	ST1 PRŮMĚRNÉ STÁŘÍ TRUBNÍHO MATERIÁLU	0,5
N	ST2 STAV ARMATUR NA SÍTI	0,4
3	ST3 STAV ARMATURNÍCH ŠACHET	0,1
B	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAN)	0,6
3	TP1 PORUCHOVOST ŘADU	0,4
N	TP2 ZTRÁTY VODY	0,25
2	TP3 KVALITA VODY V SÍTI	0,25
N	TP4 TLAKOVÉ POMĚRY V PÁSMU	0,1

Přepočítat | Export | Zobrazit faktory

Obr. 5.7 Aplikace TEA Water – výsledky auditu

V záložce ukazatele a faktory, která se nachází v aplikaci na levé straně, má uživatel možnost dále pracovat s jednotlivými ukazateli a faktory, má možnost doplnit nové faktory nebo změnit jejich váhy.

TEA Water Technický audit vodovodů Aktivní projekt: Vodovod_Podoli [176]
Uživatel: Eliska_strakova - Auditor

Projekty

- Seznam projektů
- Nový projekt
- Souhrnné výsledky

Aktivní Projekt

- Detail projektu
- Objekty
- Uživatelé projektu
- Ukazatele a faktory

Uživatel

- Změna údajů
- Odhlásit se

Typy objektů

- Vodní zdroje (TEAR)
- Úpravny vody (TEAT)
- Vodojemy (TEAA)
- Čerpací stanice (TEAP)
- Rozvodné sítě (TEAN)
- Vodovodní řady (TEAS)
- Úsek přiváděcího řadu (TEAM-U)

Kategorie ukazatelů

- ST: Stavebně-technická část (TEAN)
- TP: Technologicko-provozní část (TEAN)

Seznam Ukazatelů

ID	Kód	Název	Objekt	Váha
4900	ST1	Průměrné stáří trubního materiálu	RS	0,500
4906	ST2	Stav armatur na síti	RS	0,400
4905	ST3	Stav armaturních šachet	RS	0,100
Součet vah:				1,000

Export Doplnit

Nápověda

Vyberte téma nápovědy:

- Vytvoření projektu DB
- Oprava projektu
- Nastavení práv k projektu
- Objekty projektu

FAKULTA Ústav STAVEBNÍ vodního hospodářství obcí tea.fce.vutbr.cz [147.229.16.137]

Obr. 5.8 Aplikace TEA Water – ukazatele a faktory

Detail ukazatele

Id: 4913
 Objekt: VZ
 Kód: ST1
 Název: Stavební konstrukce
 Popis:
 Váha:

[Opravit](#)

Faktory ukazatele

ID	Kód	Název	Váha	
16577	F1	Stropní konstrukce	0,230	Opravit
16578	F2	Stěny	0,220	Opravit
16579	F3	Podlaha	0,200	Opravit
16580	F4	Fyzický stav otvorů (dveří, poklopů, montážních otvorů a oken)	0,150	Opravit
16581	F5	Schodiště, zábradlí, žebříky, madla, stupačky	0,100	Opravit
16582	F6	Elektroinstalace	0,100	Opravit
Součet vah faktorů:			1,000	

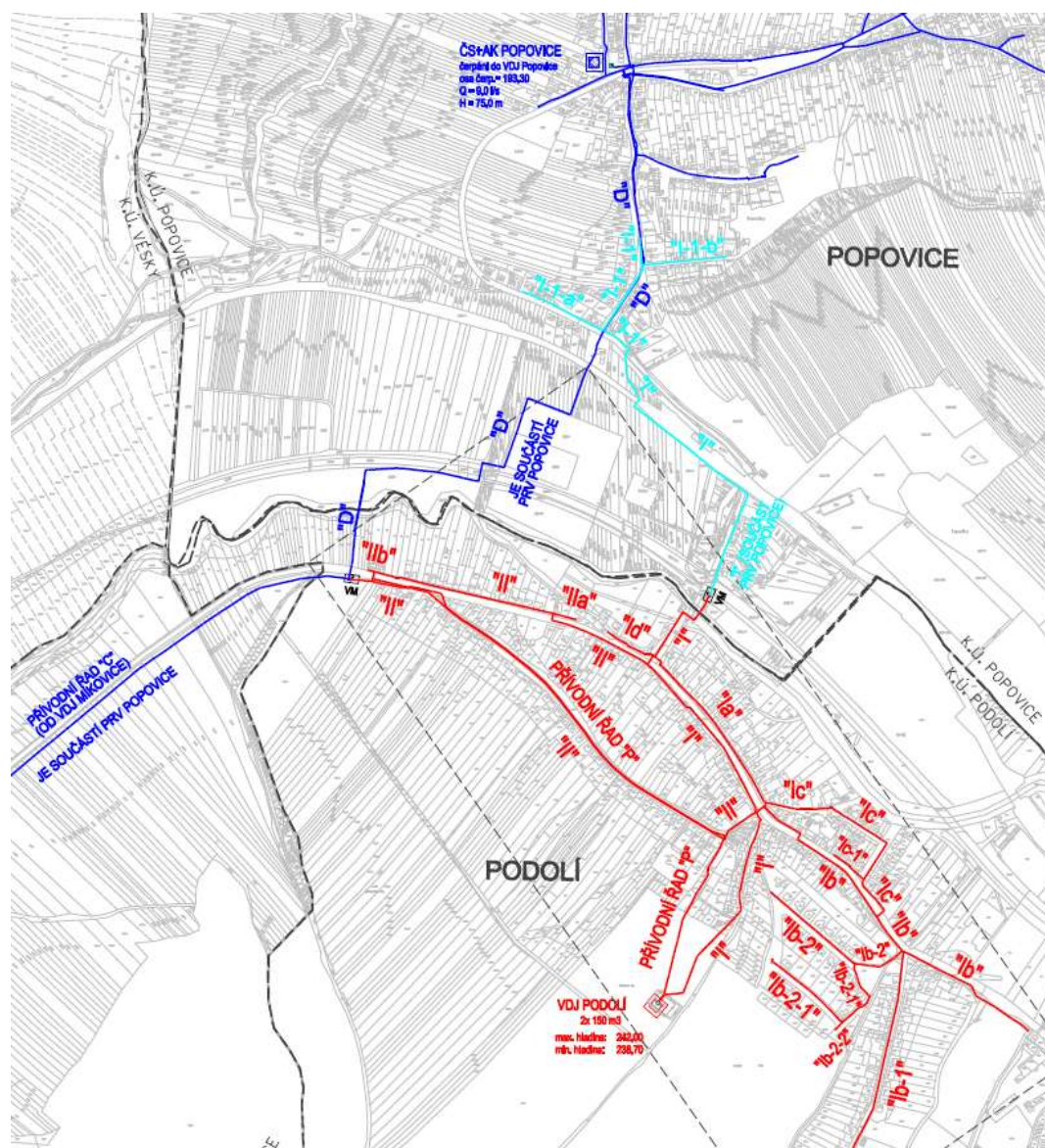
[Zpět: Ukazatele](#)

Obr. 5.9 Aplikace TEA Water – ukazatele a faktory [60]

6. POSOUZENÍ VYBRANÉ VODOVODNÍ SÍTĚ

Pro hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury byla vybrána vodovodní síť obce Podolí.

Obec Podolí je zásobována ze skupinového vodovodu Hluk – Míkovice – Vésky. Přívodní řad „C“ z vodojemu Míkovice je společný pro obce Popovice a Podolí. U obce Podolí se nachází rozdělovací šachta, kde se přívodní řad rozděljuje na řady „D“ (směrem do obce Popovice) a „P“ (směrem do VDJ Podolí). Z rozvodné sítě v obce Podolí, konkrétně řadem „I“, je zásobována nejnižší část obce Popovice.



Obr. 6.1 Schéma vodovodní sítě obce Podolí

6.1 Popis zájmového území

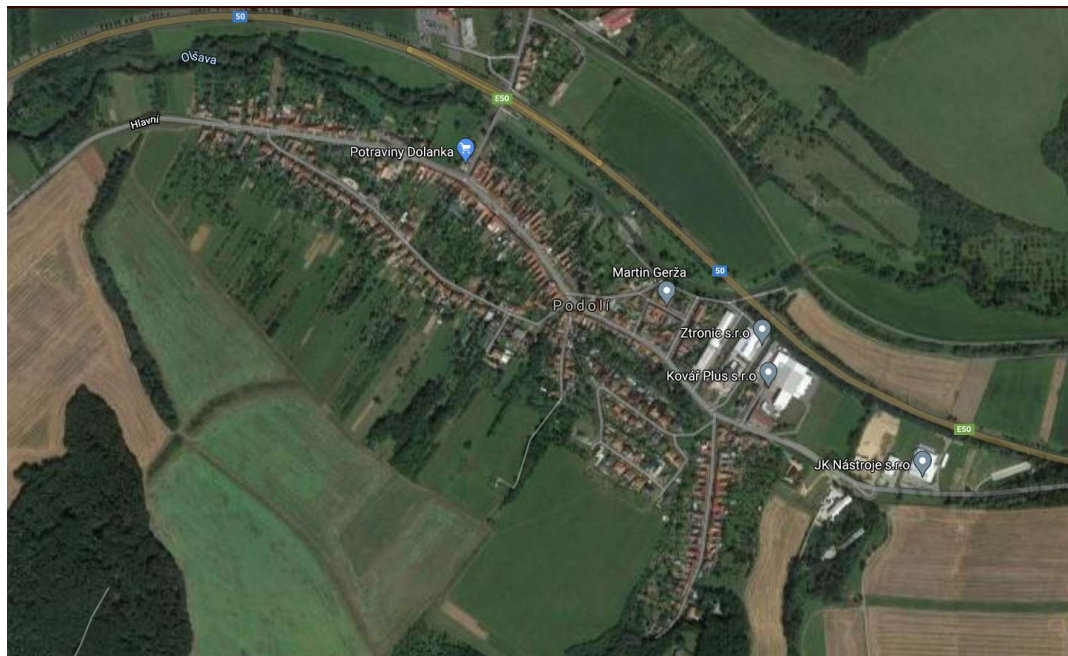
6.1.1 Základní údaje o obci

Kraj:	Zlínský
Okres:	Uherské Hradiště
Správní obvod:	Uherské Hradiště
Nadmořská výška:	199 m n. m.
Katastrální výměra:	601 ha
Počet obyvatel:	884 (k 1. 1. 2021)

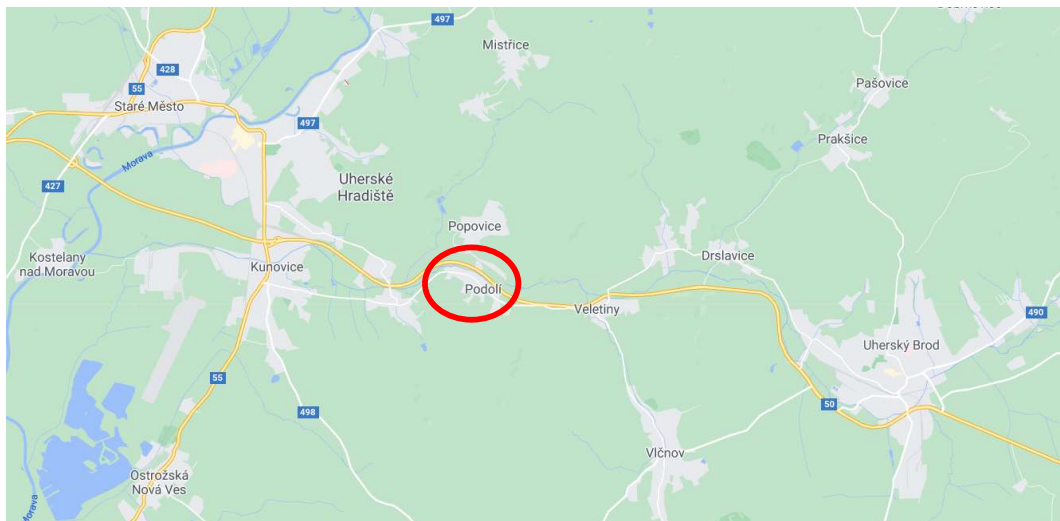
Obec Podolí se nachází mezi městy Uherské Hradiště a Uherský Brod. Uherské Hradiště se nachází asi 5 km západně od obce.

Obec leží v mírně zvlněném jihozápadním okraji Vizovických vrchů na levém břehu řeky Olšavy. Rozprostírá se na hranici přírodního parku Prakšická vrchovina.

V současnosti se v obci nachází veřejný vodovod i plynovod, kanalizace, mateřská škola, základní škola pro první stupeň, veřejná knihovna, kulturní zařízení, 2 tělocvičny, víceúčelové hřiště, prodejny potravin i smíšeného zboží a pohostinství. [61]



Obr. 6.2 Mapa obce Podolí



Obr. 6.3 Poloha obce Podolí

6.1.2 Základní údaje o vodovodní síti v obci

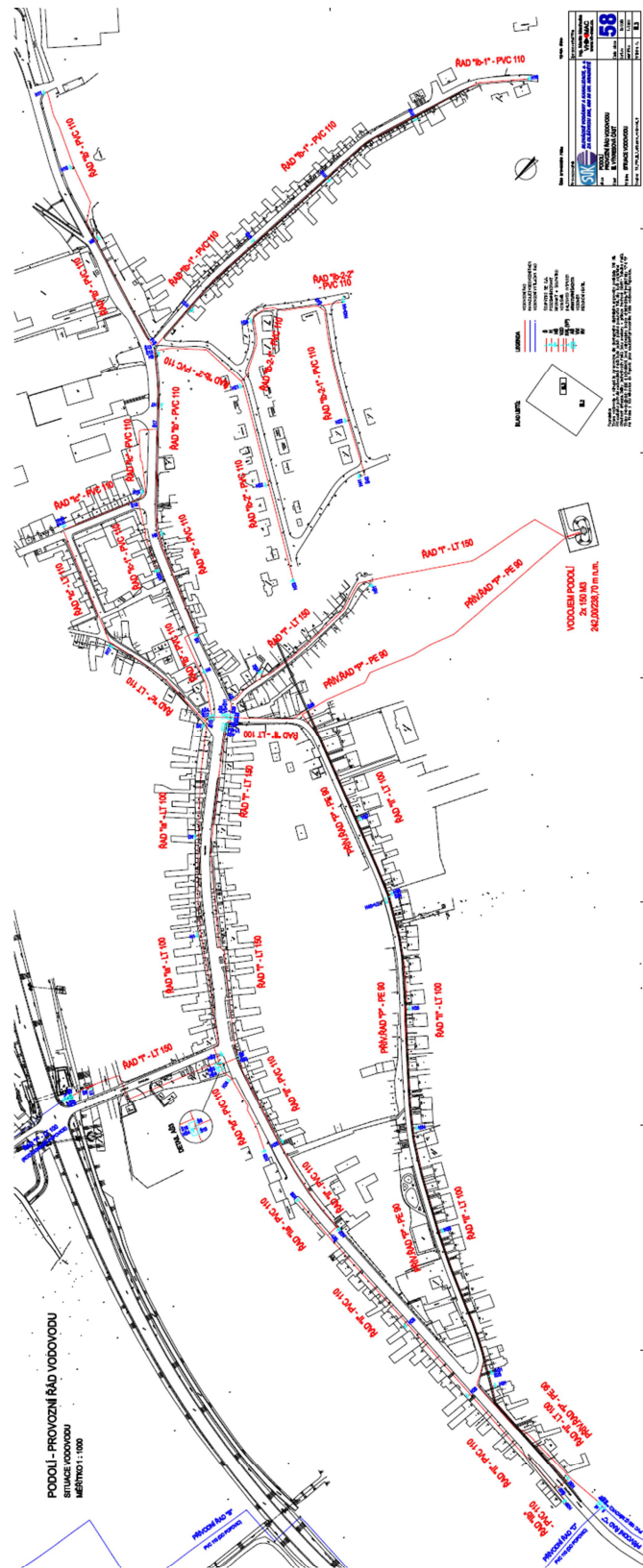
Vodovodní síť v obci Podolí zahrnuje přívodní řad „P“ od rozdělovací šachty do vodojemu, vodojem 2 x 150 m³ a rozváděcí řady.

Vlastníkem vodovodních řadů v obci jsou z 3,2 % Slovácké vodárny a kanalizace, a. s. Vlastníkem vodojemu a 77,38 % délky vodovodní sítě je obec Podolí. Vlastníkem přívodního řadu do VDJ (tj. 19,42 % délky vodovodu) je Ředitelství silnic a dálnic ČR. Provozovatelem veškeré vodárenské infrastruktury v obci jsou Slovácké vodárny a kanalizace, a.s.

Zásobení pitnou vodou je realizováno z vodovodu pro veřejnou potřebu, nicméně část obyvatel využívá lokální podzemní zdroje (studny místního zásobování). Na vodovod bylo v roce 2020 připojeno 799 obyvatel prostřednictvím 274 vodovodních přípojek.

Návrhové výkonové parametry		
Průměrná denní potřeba vody Q_p	228,7	[m ³ /den]
Maximální denní potřeba Q_m (vypočtena z Q_p)	3,96	[l/s]
Maximální hodinová potřeba Q_h (vypočtena z Q_p)	7,13	[l/s]
Skutečné výkonové parametry k roku 2009		
Obec Podolí		
Průměrná denní potřeba vody Q_p	76	[m ³ /den]
Maximální denní potřeba Q_m	96	[m ³ /den]
Počet obyvatel celkem	852	[ob]
Počet připojených obyvatel	740	[ob]
Počet vodovodních přípojek	238	[ks]
Vodojem 2 x 150 m ³		
Kóta přelivu	242,00	[m n. m.]
Minimální hladina ve vodojemu	238,95	[m n. m.]
Kóta dna	238,70	[m n. m.]

Tabulka 6.1 Výkonové parametry vodovodu Podolí



Obr. 6.4 Situace vodovodu v obci Podolí

6.2 Vodojem Podolí

6.2.1 Popis objektu

Vodojem se nachází v jižní části obce a byl zprovozněn v roce 1990. Jedná se o dvoukomorový kruhový betonový montovaný objekt s armaturní komorou. Vnitřní průměr akumulčních nádrží je 8,0 m a armaturní komora má rozměry 3,6 x 4,2 m. V přízemí se nachází oddělená elektrorozvodna. Celý areál vodojemu je oplocen, příjezdová cesta je vybudována ze silničních panelů a navazuje na místní asfaltovou komunikaci. Vodojem je napájen elektrickou energií z rozvodné sítě NN. Zabezpečení při vniku nepovolané osoby je zajištěno pomocí infračidla.

Potrubí a armatury jsou umístěny převážně v suterénu armaturní komory. S odpadním litinovým potrubím DN 100 je v armaturní komoře propojena ocelový válec, ve kterém jsou umístěny sondy k měření hladin a plovák plovákového ventilu.

V přízemí vodojemu se nachází oximetr s možností přenosu hodnot na dispečink. V suterénu je na odběru osazeno oběhové čerpadlo přivádějící potřebné množství vody k oximetru. Dávkovací čerpadlo chlornanu sodného je umístěno v přízemí armaturní komory a chlornan sodný je dávkován přímo do nádrže. V nádrži jsou osazeny sondy pro kontinuální měření výšky hladiny a sledování hladiny bezpečnostního přelivu.

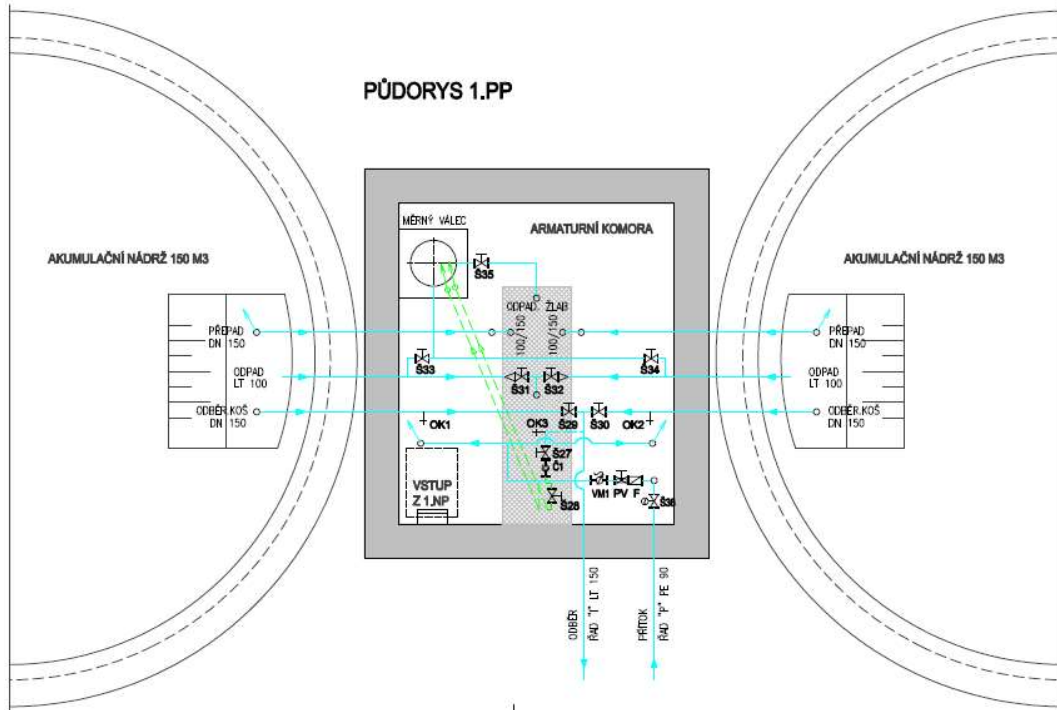
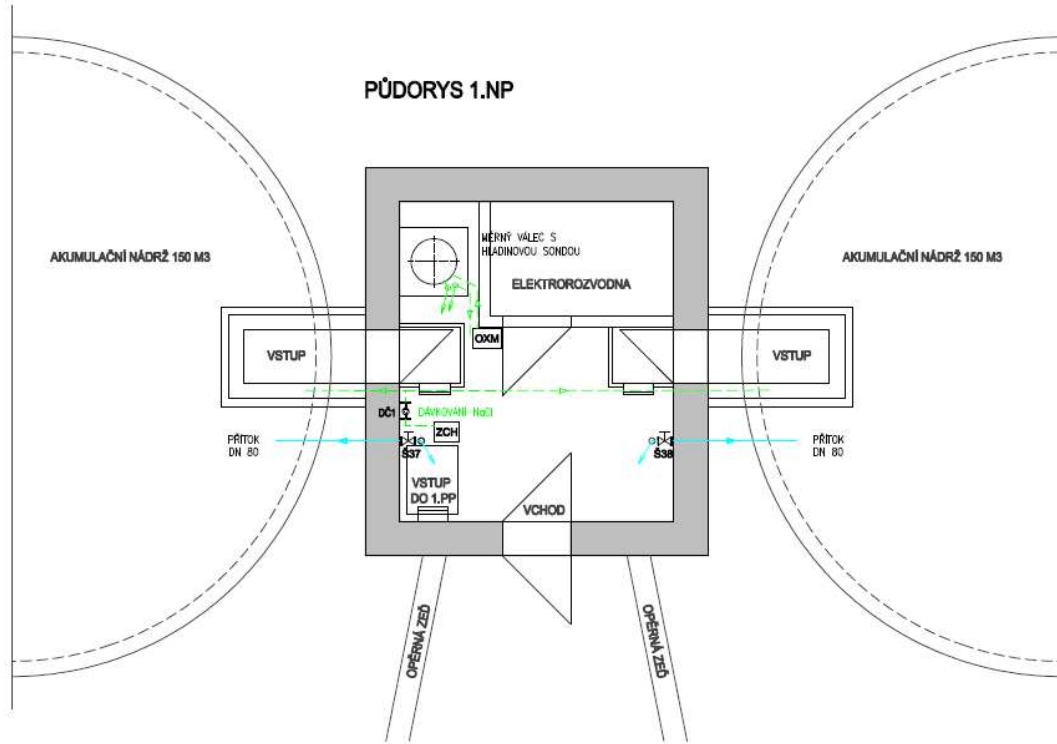
Přívodní potrubí je zhotoveno z litiny DN 80. Na přítoku je osazeno elektrošoupátko DN 80, dále filtr a plovákový ventil uzavírající potrubí v případě poruchy. Za plovákovým ventilem je instalován vodoměr se snímačem pro přenos údajů. Příklad se dále dělí na dvě větve, které prochází stropem do 1 NP, odkud jsou vyústěny do nádrží. Před vstupem do nádrží jsou osazena šoupátka, přičemž jedno je vždy uzavřeno, jelikož je z kapacitních důvodů využívána pouze 1 komora. Nátok do vodojemu probíhá průměrně 5 hodin denně.

Odběrné potrubí je zhotoveno z litiny DN 150. Na potrubí jsou osazeny ventily k odběru vzorků a šoupátka s ručním kolem. Na společné části odběrného potrubí je navrtávkou osazena odbočka s ventilem DN 15 sloužící k odběru vzorku, dále šoupátko DN 20 a čerpadlo pro oximetr.

Na odpadním potrubí LT DN 100 je osazeno šoupátko DN 150. Za ním pokračuje společné potrubí výtlačku DN 150. S odpadním potrubím je v suterénu armaturní komory propojen válec. Propojení mají odběrová potrubí samostatné a jsou na nich osazeny uzavírací ventily.

Bezpečnostní přepad je zhotoven z litiny DN 150 a je vyústěn v suterénu armaturní komory do odpadního žlabu, kam je zároveň vyvedeno i vypouštění měrného válce.

Průměrná denní spotřeba vody je 47,3 m³/den, maximální denní spotřeba vody je 111 m³/den a maximální hodinový odběr je 3,31 l/s.



Obr. 6.5 Provozní schéma vodojemu

6.2.2 Hodnocení objektu

Základní informace o objektu byly pro tuto práci poskytnuty pracovníky Slováckých vodáren a kanalizací, a.s. Provozní, rezervní a požární akumulaci nebylo možné zjistit, proto byly stanoveny výpočtem. Provozní akumulace byla stanovena jako 25 % z maximální denní potřeby vody a akumulace požární vody byla stanovena dle vzorečku $A_p = 3,6 * Q_p * t * n$ přičemž hodnota Q_p byla uvažována jako 4,0 l/s, hodnota t jako 2 hodiny a hodnota n jako 1. Pro zjištění rezervní akumulace byla od celkové akumulace vodojemu odečtena akumulace požární vody a provozní akumulace. Z kapacitních důvodů je u vodojemu využívána pouze 1 akumulací komora o objemu 150 m³.

V rámci stavebně-technického auditu byla nejdříve hodnocena akumulací komora. U akumulací komory je problémem především stropní konstrukce, která získala hodnocení 3, a to především kvůli výrazně odkryté výztuži. U vnitřní stěny je také zjevná degradace a místy i mírné prorýsování výztuže, proto získala hodnocení 2. Dno nádrže i střešní konstrukce jsou v dobrém technickém stavu, získaly tedy hodnocení 1. Kalová jámka je mírně zanesená, nicméně vyspádování je v pořádku a voda může gravitačně odtékat, proto jí bylo uděleno také hodnocení 1. Vstup do akumulací nádrže byl hodnocen známkou 2, jelikož poklop není opatřen tepelnou izolací. Svou funkci ale plní dobře a na vstupu jsou také instalovány nerezové úchyty pro jednodušší přístup do nádrže. Potrubí, bezpečnostní přeliv i žebřík odpovídají stáří a jsou značně zkorodované, proto byly hodnoceny známkou 2. Funkčně jsou ale objekty v pořádku, nedochází ke zmenšení průměru potrubí a při sestupu nehrozí obsluze nebezpečí způsobené nestabilním kotvením nebo degradací materiálu žebříku. Byla by ale na místě výměna vtokového koše odběrného potrubí, jelikož je u něj výraznější degradace materiálu a může dojít k vniknutí nečistot do odebírané vody. Odvětrávání akumulací komory je vedeno přes manipulační komoru a je chráněno před vnikem prachu, hmyzu, nebo drobných živočichů.

Stavebně-technický stav střešní i stropní konstrukce a vnějších stěn manipulační komory získal hodnocení 1, jelikož nevykazuje žádné výrazné známky poškození. Opěrné bloky v manipulační komoře jsou provedeny z betonu. Bloky jsou umístěny na všech místech, kde jsou potřeba a nejsou nijak poškozeny, proto byly hodnoceny známkou 1. U vnitřních stěn manipulační i vstupní komory lze vidět drobné poruchy estetického rázu, které ale na funkčnost nemají vliv. Nicméně povrch není proveden z keramické dlažby nebo speciální stěrky, proto byly vnitřní stěny hodnoceny známkou 2. Podlahy manipulační i vstupní komory jsou v dobrém technickém stavu, netvoří se kaluže, povrch není narušený a podlaha je vyspádována do odtokového kanálku, hodnocení je proto 1. Stav technického vybavení manipulační komory byl souhrnně hodnocen známkou 1. Potrubí je litinové, bez známky koroze nebo jiného poškození. Prostupy zdmi jsou provedeny vodotěsně a v okolí prostupů není patrná prolínající vlhkost. Potrubí jsou osazena vodoměry, průtokoměry a dalšími čidly k monitorování provozního stavu sítě a s možností dálkového přenosu. U potrubí jsou dodrženy ukliďňovací délky. Vodojem je patřičně zabezpečen proti vniknutí osob či zvířat a uvnitř se nachází detektor pohybu

s napojením na dispečink. Technický stav odvětrání i zámečnických výrobků je dobrý a nebyly nalezeny žádné poruchy či degradace materiálu. Okna se ve vodojemu nenachází.

Výsledné hodnocení stavebně-technické části je B.

B	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAA)		0,6
2	ST1	STAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ AKUMULAČNÍ KOMORY	0,3
2	F1	Stav vnitřních stěn	0,2
1	F2	Stav dna	0,2
3	F3	Stav stropních konstrukcí	0,15
1	F4	Stav střešní konstrukce	0,15
2	F5	Stav svislých nosných konstrukcí	0,1
1	F6	Stav kalové jímky	0,1
2	F7	Stav vstupu do prostoru akumulční komory	0,1
1	ST2	STAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ MANIPULAČNÍ KOMORY	0,2
1	F1	Stav střešní konstrukce	0,2
1	F2	Stav stropních konstrukcí	0,2
1	F3	Stav podlahy	0,2
1	F4	Stav opěrných bloků	0,15
2	F5	Stav vnitřních stěn	0,15
1	F6	Stav vnějších stěn	0,1
3	ST3	STAV TECHNICKÉHO VYBAVENÍ AKUMULAČNÍ KOMORY	0,2
2	F1	Stav potrubí	0,3
2	F2	Stav odvětrání	0,3
2	F3	Stav bezpečnostního přelivu	0,2
2	F4	Stav žebříku	0,2
1	ST4	STAV TECHNICKÉHO VYBAVENÍ MANIPULAČNÍ KOMORY	0,3
1	F1	Stav potrubí a armatur	0,2
1	F2	Stav prostupů potrubí konstrukcemi	0,2
1	F3	Zabezpečení proti vniknutí	0,2
1	F4	Osazení a stav průtokoměrů a ostatních měřicích zařízení	0,15
1	F5	Stav odvětrání a oken	0,15
1	F6	Stav zámečnických výrobků	0,1

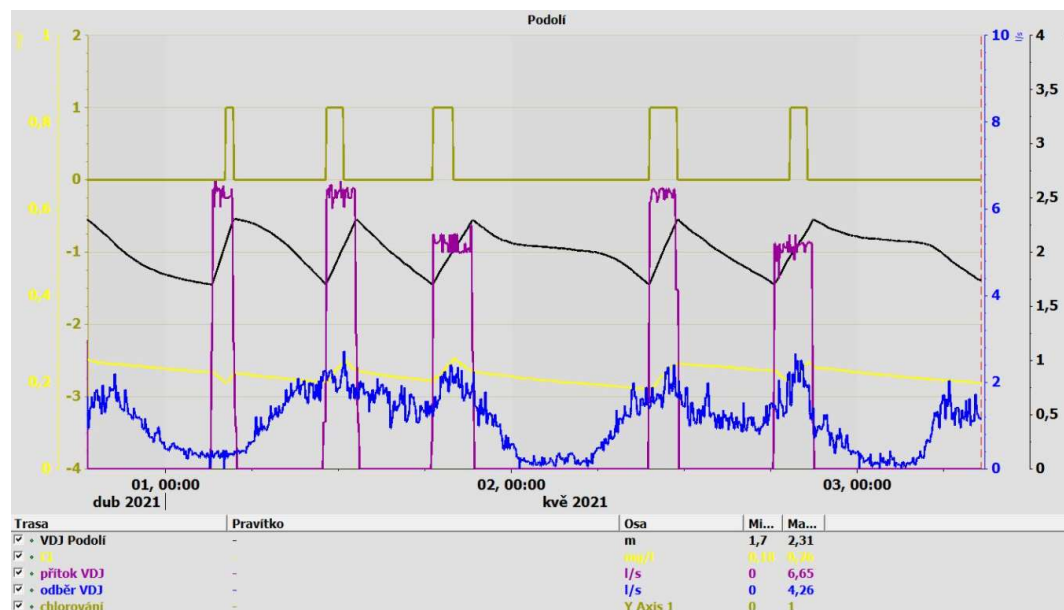
Obr. 6.6 Hodnocení stavebně-technického stavu vodojemu

V rámci technologicko-provozního auditu nebylo možné provést biologický audit, jelikož pro hodnocení nejsou dostupná potřebná data. Hodnocení ukazatele TP4: Biologický audit je tedy N, jelikož tento ukazatel obsahuje pouze jeden faktor, a to právě

biologický audit. Poměr provozní akumulace a maximální denní spotřeby, stejně jako minimální doby zásobení při poruše a odběru požární vody, byly hodnoceny známkou 1. Provozní akumulace u vodojemu není stanovena a byla proto získána výpočtem. Vodojem disponuje velkou rezervní akumulací, a to i přesto, že je trvale využívána pouze jedna komora. Vzájemné umístění přítoku a odběru je patrné z obrázků 6.12 a 6.14. Akumulační komora má horní plnění a přívodní potrubí se nachází přímo nad odběrným potrubím a potrubí jsou vyústěna na stejné stěně nádrže, proto nedochází k pohybu vody po celé ploše nádrže. Faktoru bylo přiřazeno hodnocení 3. Informace o pohybu hladiny a průměrné době zdržení ve vodojemu byly získány z grafu z dispečinku a oba faktory byly hodnoceny známkou 1. Tlakové poměry v síti byly získány ze záznamu o tlakové zkoušce z roku 2020. Maximální hydrostatický tlak v nejnižším bodu sítě je 48,7 MPa a byl hodnocen známkou 2, minimální hydrodynamický tlak v nejvyšším bodu sítě kolísá mezi 0,15–0,18 MPa a byl hodnocen známkou 3 a minimální hydrodynamický tlak v nejvzdálenějším bodu sítě kolísá mezi 0,41–0,43 MPa a byl hodnocen známkou 1.

Výsledné hodnocení technologicko-provozní části je B.

Výsledné hodnocení VDJ Podolí skládající se z hodnocení stavebně-technické části a technologicko-provozní části je B (26–35 %) a lze ho vidět na obrázku 6.9.



Obr. 6.7 Graf kolísání hladiny, chlorování a přítoku a odběru z vodojemu

B	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAA)	0,4
1	TP1 VELIKOST AKUMULACE	0,25
1	F1 Poměr provozní akumulace Ah a Qm	0,4
1	F2 Minimální doba zásobení při poruše	0,4
1	F3 Minimální doba zásobení při odběru požární vody	0,2
3	TP2 VLIV AKUMULACE NA KVALITU VODY	0,25
3	F1 Vzájemné umístění přítoku a odběru	0,4
1	F2 Pohyb hladiny ve vodojemu	0,3
1	F3 Průměrná doba zdržení ve vodojemu	0,3
3	TP3 TLAKOVÉ POMĚRY V SÍTI	0,2
2	F1 Maximální hydrostatický tlak v nejnižším bodu sítě	0,4
3	F2 Minimální hydrodynamický tlak v nejvyšším bodu sítě při Q _{h,max}	0,3
1	F3 Minimální hydrodynamický tlak v nejdálenějším bodu sítě při Q _{h,max}	0,3
N	TP4 BIOLOGICKÝ AUDIT	0,3
0	F1 Biologický audit	1

Obr. 6.8 Hodnocení technologicko-provozního stavu vodojemu

B [26-35%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ	VÁHA
B	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAA)	0,6
2	ST1 STAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ AKUMULAČNÍ KOMORY	0,3
1	ST2 STAV STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ MANIPULAČNÍ KOMORY	0,2
3	ST3 STAV TECHNICKÉHO VYBAVENÍ AKUMULAČNÍ KOMORY	0,2
1	ST4 STAV TECHNICKÉHO VYBAVENÍ MANIPULAČNÍ KOMORY	0,3
B	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAA)	0,4
1	TP1 VELIKOST AKUMULACE	0,25
3	TP2 VLIV AKUMULACE NA KVALITU VODY	0,25
3	TP3 TLAKOVÉ POMĚRY V SÍTI	0,2
N	TP4 BIOLOGICKÝ AUDIT	0,3

Obr. 6.9 Souhrnné hodnocení VDJ Podolí

6.2.3 Fotodokumentace



Obr. 6.10 Čelní pohled na vodojem



Obr. 6.11 Vstup do akumulční nádrže



Obr. 6.12 Akumulační nádrž vodojemu



Obr. 6.13 Odkrytá výztuž betonového stropu akumulční nádrže



Obr. 6.14 Degradace materiálu objektů akumulční nádrže vlivem stáří a koroze



Obr. 6.15 Vstup do armaturní komory



Obr. 6.16 Armaturní komora vodojemu



Obr. 6.17 Armaturní komora vodojemu

6.3 Vodovodní síť Podolí

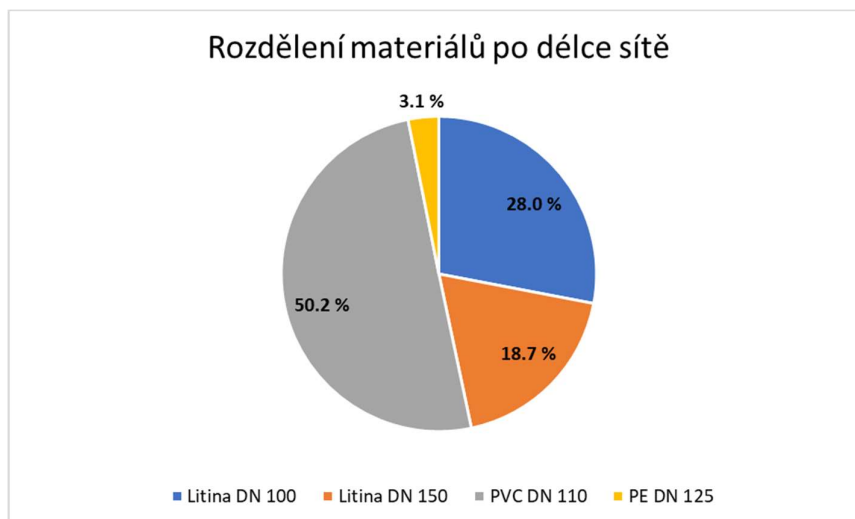
6.3.1 Popis vodovodní sítě

Z vodojemu Podolí vede do obce hlavní řád „I“, na který jsou napojeny další rozváděcí řady, na které jsou následně napojeny jednotlivé vodovodní přípojky. Vodovodní síť je blíže popsána v kapitole 6.1.2 – Základní údaje o vodovodní síti v obci.

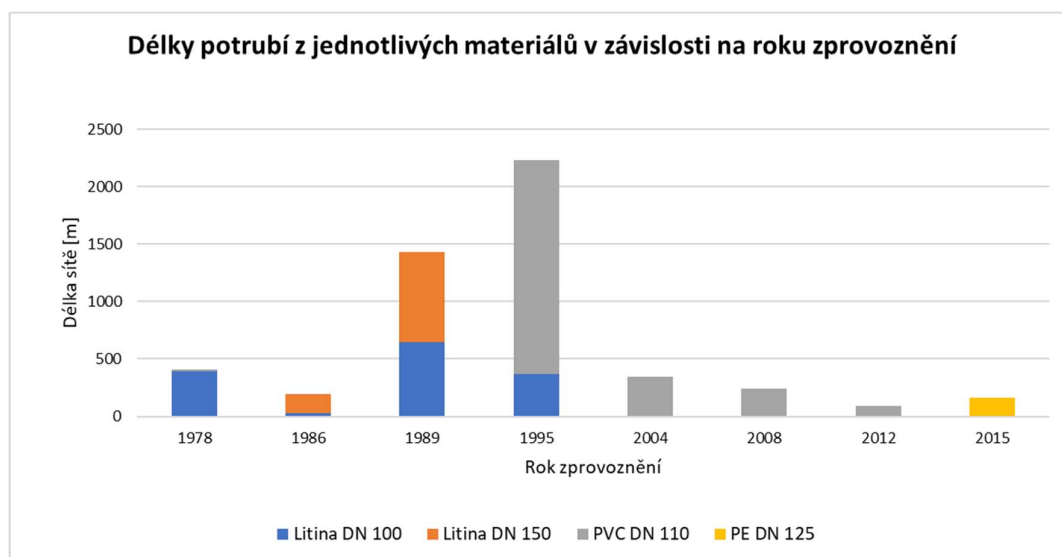
V následujících tabulkách a grafech lze vidět statistické údaje popisující vodovodní síť v obci Podolí.

PŘIVÁDĚCÍ ŘADY								
Řad	Majetek SVK a.s.	L100	L150	P110	PE90	PE125	Délka řadu celkem	Rok zprovoznění
P	Ne	0	0	0	1194	0	1194	2003
ROZVODNÉ ŘADY								
Řad	Majetek SVK a.s.	L100	L150	P110	PE90	PE125	Délka řadu celkem	Rok zprovoznění
I	Ano		168				168	1986
I a	Ano	29					29	1986
I b	Ne			92			92	2012
I	Ne		788				788	1989
I a	Ne	330					330	1978
I b	Ne			540			540	1995
I b	Ne					161	161	2015
I b-1	Ne			449			449	1995
I b-2	Ne			347			347	2004
I b-2-1	Ne			239			239	2008
I b-2-2	Ne			22			22	1978
I c	Ne	229		0			229	1995
I c	Ne			162			162	1995
I c-1	Ne			68			68	1995
I d	Ne			95			95	1995
II	Ne	138		496			634	1995
II	Ne	646					646	1989
II	Ne	60					60	1978
II a	Ne			42			42	1995
II b	Ne			13			13	1995

Tabulka 6.2 Informace o přiváděcím řadu a rozvodných řadech obce Podolí



Obr. 6.18 Rozdělení materiálů po délce vodovodní sítě



Obr. 6.19 Graf závislosti délek potrubí, materiálů potrubí a roku zprovoznění

Celková délka vodovodní sítě v obci	6308	[m]
Celková délka rozvodných řadů v obci	5114	[m]
Průměrný rok zprovoznění s ohledem na délky řadů	1994	[-]
Průměrné stáří rozvodných řadů s ohledem na jejich délky k roku 2021	27	[let]
Typ zásobování	gravitační	[-]
Počet zásobených obyvatel	799	[obyv]
Minimální nadmořská výška spotřebiště	190	[m n. m.]
Maximální nadmořská výška spotřebiště	225	[m n. m.]

Tabulka 6.3 Základní statistické údaje vodovodní sítě

6.3.2 Hodnocení vodovodní sítě

Hodnocení technického stavu vodovodní sítě a objektů na ní proběhlo především na základě slovní výpovědi zaměstnanců Slováckých vodáren a kanalizací, a.s. a za pomoci poskytnutých podkladů, jelikož nebyla provedena osobní prohlídka.

Průměrné stáří potrubí bylo vypočteno zprůměrováním roků výstavby jednotlivých řadů s ohledem na jejich délku. Faktoru stáří bylo přiřazeno hodnocení 1, tedy stáří menší než 40 let. Faktoru inkrustace potrubí bylo přiřazeno hodnocení 2, tedy technický stav odpovídající stáří potrubí. Kovová potrubí nejsou zainkrustovaná, ale zároveň u většiny řadů neproběhla rekonstrukce nebo sanace, známka 2 je tedy adekvátní. Armatury i hydranty na vodovodní síti jsou pravidelně kontrolovány a udržovány a je zaručena jejich funkčnost. Ačkoliv byly instalovány zároveň s potrubím, což odpovídá průměrnému stáří 27 let, lze jejich technický stav ohodnotit známkou 2 pro armatury pravidelně kontrolované a udržované. Stav armaturních šachet byl rovněž ohodnocen známkou 2.

Poruchovost řadu byla určena ze získaného údaje průměrného počtu poruch za 1 rok v obci. Za 1 rok dojde v obci ke dvěma poruchám na vodovodní síti, po vydělení celkovou délkou sítě je získána poruchovost 0,39 poruch/km/rok, což odpovídá hodnocení 2. Poruchovost byla s ohledem na stárnutí potrubí hodnocena jako stagnující. Procento vody nefakturované bylo určeno vydělením objemu vody nefakturované hodnotou objemu vody vyrobené k realizaci, tj. $950m^3/27618m^3 = 0,034 = 3,4\%$, což odpovídá hodnocení 1. Jednotkový únik vody nefakturované (JUVNF) byl stanoven pomocí vztahu $JUVNF = VNF/L_{přep}$ jako 185,7 m³/km/rok, což odpovídá známce 1. Faktor minimálních nočních odběrů byl hodnocen známkou 3, jelikož minimální noční odběry jsou dle získaných informací 0,1 l/s, přičemž maximální denní potřeba vody je 1,28 l/s. Po vydělení je získána hodnota 0,078, což odpovídá hodnocení 3. Ekonomický index ztrát byl stanoven jako $EIZ = EI * IZ = EI * JUVNF/3100 = 1 * 185,7/3100 = 0,06$. Hodnotě je přiřazena známka 1. Potrubí pro vodovodní síť je zhotoveno především z plastu, v menší míře pak z litiny. Potrubí je bez inkrustací, profil není omezen, a proto je hodnoceno známkou 1. Potrubím je dopravována voda běžné kvality, to odpovídá hodnocení 2. Doba zdržení vody v síti je menší než 36 hodin a je tedy hodnocena známkou 1. Maximální hydrostatický tlak v síti je 48,7 m v. sl., což odpovídá hodnocení 1. Průměrný hydrodynamický tlak byl stanoven z tlakové zkoušky provedené v roce 2020. Průměrný hydrodynamický tlak v síti je 34,6 m v. sl. a kolísání hydrodynamického tlaku je menší než 10 m v. sl., oba faktory tedy byly hodnoceny známkou 1.

Výsledné hodnocení vodovodní sítě skládající se z hodnocení stavebně-technické části a technologicko-provozní části je B (26-35 %) a lze ho vidět na obrázku 6.21.

B	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAN)		0,4
1	ST1	PRŮMĚRNÉ STÁŘÍ TRUBNÍHO MATERIÁLU	0,5
1	F1	Stáří potrubí dle trubního materiálu	0,75
2	F2	Inkrustace potrubí	0,25
3	ST2	STAV ARMATUR NA SÍTI	0,4
2	F1	Uzavírací armatury	0,5
2	F2	Hydranty	0,35
2	F3	Ostatní armatury	0,15
3	ST3	STAV ARMATURNÍCH ŠACHET	0,1
2	F1	Stav armaturních šachet	1
B	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAN)		0,6
3	TP1	PORUCHOVOST ŘADU	0,4
2	F1	Průměrná roční poruchovost potrubí [pp/km/rok]	0,5
2	F2	Dynamika poruch	0,5
2	TP2	ZTRÁTY VODY	0,25
1	F1	Procento vody nefakturované z VVR	0,3
1	F2	Jednotkový únik vody nefakturované (JUVNF)	0,3
3	F3	Minimální noční odběry	0,2
1	F4	Ekonomický index ztrát (EIZ)	0,2
1	TP3	KVALITA VODY V SÍTI	0,25
1	F1	Vliv trubních materiálů	0,2
2	F2	Kvalita dopravované vody	0,2
1	F3	Inkrustace	0,3
1	F4	Doba zdržení vody v síti [hod]	0,3
1	TP4	TLAKOVÉ POMĚRY V PÁSMU	0,1
1	F1	Maximální hydrostatický tlak [m v. sl.]	0,4
1	F2	Průměrný hydrodynamický tlak [m v. sl.]	0,3
1	F3	Kolísání hydrodynamického tlaku [m v. sl.]	0,3

Obr. 6.20 Hodnocení stavebně-technického a technologicko-provozního stavu sítě

B [26-35%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ		VÁHA
B	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAN)		0,4
1	ST1	PRŮMĚRNÉ STÁŘÍ TRUBNÍHO MATERIÁLU	0,5
3	ST2	STAV ARMATUR NA SÍTI	0,4
3	ST3	STAV ARMATURNÍCH ŠACHET	0,1
B	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAN)		0,6
3	TP1	PORUCHOVOST ŘADU	0,4
2	TP2	ZTRÁTY VODY	0,25
1	TP3	KVALITA VODY V SÍTI	0,25
1	TP4	TLAKOVÉ POMĚRY V PÁSMU	0,1

Obr. 6.21 Souhrnné hodnocení vodovodní sítě Podolí

7. ZÁVĚR

V praktické části práce byla provedena rešerše týkající se současného stavu legislativy spojené s hodnocením technického stavu vodárenské infrastruktury v ČR, která byla následně porovnána s legislativou Slovenské republiky. Z této rešerše vyplývá, že zásadní rozdíl spočívá už v samotném přístupu k dané problematice. V České republice legislativa vyžaduje provádět hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury, ale nepředkládá hodnotiteli metodiku, podle které by hodnocení měl provést. Společnosti proto přistupují k hodnocení subjektivně a výsledky pak nelze mezi společnostmi porovnávat. Slovenská legislativa rovněž požaduje po vlastnících a provozovatelích znalost technického stavu provozované nebo vlastněné infrastruktury, ale narozdíl od legislativy v ČR předkládá i metodiku hodnocení, čímž omezuje vnesení subjektivního pohledu do hodnocení a umožňuje porovnávání výsledků mezi společnostmi. Nevýhodou je její nízká podrobnost, díky které je metodika velmi obtížně použitelná pro objekty na vodovodní síti jako jsou např. vodojemy, úpravny vody či čerpací stanice.

V další části práce jsou popsány dvě oblasti, pro které je znalost technického stavu vodohospodářské infrastruktury nezbytnou součástí, a to PFO a riziková analýza. Omezené finanční prostředky nutí často společnosti pečlivě zvažovat, které objekty budou rekonstruovány v rámci konkrétní časové periody. Zpracováním kvalitního plánu pak mohou být finanční prostředky určené k obnově rozděleny účelněji.

Ve třetí kapitole práce byly rozebrány faktory ovlivňující poruchovost potrubí. Důležitou prevencí před poruchou je dodržení předepsaných tlakových poměrů, o kterých přímo či nepřímo pojednává v ČR několik legislativních dokumentů. Mezi hlavní priority vlastníků a provozovatelů vodárenské infrastruktury by mělo patřit snižování ztrát vody. Ačkoliv je v ČR průměrná hodnota ztrát vody z vodovodních sítí v porovnání s ostatními zeměmi Evropy na relativně nízké úrovni, je potřeba ji i nadále snižovat. Se stárnutím potrubí bude docházet k více haváriím a tím i k větším ztrátám vody, proto je potřeba se této problematice dostatečně věnovat, ačkoliv obzvláště pro menší společnosti je především z finančních důvodů pravidelná obnova infrastruktury složitou otázkou.

Metod k inspekci potrubí je v ČR i v zahraničí velké množství, a to od těch nejjednodušších jako je vizuální nebo ultrazvuková zkouška, až po ty složitější jako jsou např. metody Guided Waves, TOFD nebo EMAT. Volba metody závisí na mnoha faktorech a obecně je doporučeno využití vícestupňového přístupu, kdy se začne s jednoduššími a levnějšími metodami a v případě potřeby se přejde ke složitějším. Pro zjištění místa úniku vody z potrubí také k dispozici velké množství metod. Novinkou je v ČR je technologicky velmi vyspělá metoda satelitní analýzy, kterou začaly využívat dvě vodárenské společnosti v roce 2021. Družice monitoruje pomocí mikrovlnného paprsku zemský povrch, data jsou následně přepočítána a jsou zobrazena potenciální místa úniku vody ze sítě.

Poslední kapitola teoretické části práce je věnována aplikaci pro předběžné hodnocení technického stavu objektů vodovodní sítě TEA Water. Aplikace byla vyvinuta ústavem VHO na Fakultě stavební VUT a mohla by se stát metodikou sjednocující postup hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury v ČR, čímž by bylo umožněno porovnávání výsledků mezi jednotlivými společnostmi. Pro praktickou část práce byly využity dva moduly aplikace, a to modul TEAA pro hodnocení vodojemu a modul TEAN pro hodnocení rozvodné sítě.

Praktická část práce se zabývá hodnocením technického stavu vodovodní sítě a vodojemu v obci Podolí u Uherského Hradiště. Vodovodní síť i vodojem byly hodnoceny známkou B. Lze říci, že technický stav objektů odpovídá jejich stáří, přičemž objekty jsou pravidelně kontrolovány a udržovány. Jelikož vodojem ani významná část vodovodní sítě nejsou v majetku Slováckých vodáren a kanalizací, a.s. ale obce Podolí, je provádění rekonstrukcí ztíženo dalšími administrativními záležitostmi. Jak je ale patrné z fotek, ačkoliv vodojem získal hodnocení B, především stropní konstrukce akumulární nádrže vyžaduje odborný zásah, jelikož je po celé ploše stropu odkryta výztuž betonu.

Problematické u hodnocení bylo získávání některých dat, např. u vodojemu nebyl hodnocen biologický audit, jelikož pro něj nebyla k dispozici potřebná data. Jednotlivé objemy vodojemu společností nejsou stanoveny, proto byly odhadnuty výpočtem. Dle popisu bylo také u některých faktorů obtížné vybrat pro daný faktor správné hodnocení, jelikož technický stav objektu byl odpovídající pro více hodnocení, nebo naopak neodpovídal ani jednomu a pro přesné popsání stavu objektu by byl potřeba mezistupeň. Například u hodnocení technického stavu armatur a hydrantů na vodovodní síti byla v hodnocení zvolena možnost „armatury převážně mladší 20 let, pravidelně kontrolované a udržované“, ačkoliv průměrné stáří armatur je ve skutečnosti větší. Nicméně možnost „Armatury převážně starší 20 let, špatný technický stav“ také nevystihuje stav objektů správně, jelikož armatury jsou plně funkční a udržované, a ačkoliv technický stav odpovídá stáří, nelze říci, že by byl špatný.

Nicméně aplikace je velmi intuitivní, práce v ní je jednoduchá a získané hodnocení podává kvalitní obraz o technickém stavu hodnocených objektů. Dalšímu vývoji by jistě pomohlo testování na větším množství objektů a porovnávání výsledků s hodnocením pomocí jiných metod.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DRNEK, Kryštof. *Historie vodárenského a kanalizačního oboru*. In: <https://www.tzb-info.cz> [online]. 25. 8. 2020 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/21071-historie-vodarenskeho-a-kanalizacniho-oboru>
- [2] TEICHMANN, Marek a KUDA, František. *Hodnocení a obnova vodárenských sítí*. Praha: Professional Publishing, 2018. 134 s. ISBN 978-80-88260-26-4.
- [3] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2019*. In: <https://www.czso.cz/> [online]. 4. 6. 2020 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2019>
- [4] VLASÁK, Oldřich. *SOVAK ČR k zavádějícím informacím dotýkajících se oboru*. In: NAŠE VODA: informační portál o vodě [online]. 13. 8. 2018 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/sovak-cr-zavadejicim-informacim-dotykajicich-se-oboru/>
- [5] BARTON, Neal Andrew a FAREWELL, Timothy Stephen a HALLETT, Stephen Henry a ACLAND, Timothy Francis. *Improving pipe failure predictions: factors affecting pipe failure in drinking water networks*. Water Research [online]. 29. 7. 2019 [cit. 8. 3. 2021]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114926>.
- [6] *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.
- [7] *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.
- [8] *IS VaK – MPVaK Vybrané údaje z majetkové a provozní evidence vodovodů a kanalizací*. In: <http://eagri.cz/public/web/mze/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/vybrane-udaje-z-majetkove-a-provozni-evidence-vodovodu-a-kanalizaci/>
- [9] TUHOVČÁK, Ladislav a KUČERA, Tomáš. *Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury jako základ tvorby plánů financování její obnovy*. In: Vodovod.info – vodárenský informační portál [online]. 26. 9. 2017 [cit. 28. 5. 2021]. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <https://vodovod.info/index.php/clanky/374-hodnoceni-technickeho-stavu-vodarenske-infrastruktury-jako-zaklad-tvorby-planu-financovani-jeji-obnovy#.YLDY3KgzZPa>
- [10] *Vyhláška č. 262/2010 Z. z.; Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovuje obsah plánu obnovy verejného vodovodu, plánu obnovy verejnej kanalizácie a postup pri ich vypracúvaní*. In: Slovenská republika: Sběrka zákonů, 2010, číslo 262.

- [11] TUHOVČÁK, Ladislav a SUCHÁČEK, Tomáš a TAUŠ, Miloš. *Metodika hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury*. In: SOVAK časopis oboru vodovodů a kanalizací. 2015, 24(12), 26-29. ISSN 1210-3039.
- [12] ODBOR VODOVODŮ A KANALIZACÍ. *Vodovody kanalizace ČR 2019. Ekonomika ceny informace*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. 48 s. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/vodovody-a-kanalizace/?pageSize=20>
- [13] SVITÁK, Zdeněk. *Technologie pro optimalizaci plánu obnovy vodovodních a kanalizačních sítí*. In: Vodovod.info – vodárenský informační portál [online]. 9. 5. 2016 [cit. 28. 5. 2021]. ISSN 1804-7157. Dostupné z: https://www.vodovod.info/index.php/clanky/komerčni-prezentace/333-technologie-pro-optimalizaci-planu-obnovy-vodovodnich-a-kanalizacnich-siti#.YLDc_KgzZPa
- [14] *Plány rozvoje vodovodů a kanalizací území krajů České republiky (PRVKÚK) - základní informace*. In: <http://eagri.cz/public/web/mze/> [online]. 31. 10. 2006 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/plany-rozvoje-vodovodu-a-kanalizaci/prvkuk/zakladni-info-prvkuk.html>
- [15] HLOUŠEK, Tomáš a PAUL, Jiří a PAŠKOVÁ, Petra. *Posouzení rizik systémů zásobování pitnou vodou z pohledu provozovatele*. In: SOVAK časopis oboru vodovodů a kanalizací. 2019, 28(7-8), 15-17. ISSN 1210-3039.
- [16] *Analýza rizik*. In: <https://www.waterrisk.cz/?str=home> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: https://www.waterrisk.cz/?str=analyza_rizik
- [17] ČSN EN 805. *Vodárenství – Požadavky na vnější síť a jejich součásti*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [18] ČSN 75 5401. *Navrhování vodovodního potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2020.
- [19] ČSN 73 0873. *Požární bezpečnost staveb – zásobování požární vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [20] NOVÁKOVÁ, Jana a RUČKA, Jan a SUCHÁČEK, Tomáš a RAJNOCHOVÁ, Markéta. *Porovnání metodik pro stanovení ztrát vody z distribuční sítě na základě vyhodnocení minimálních nočních průtoků*. In: <https://www.tzb-info.cz> [online]. 2. 10. 2019 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/19640-porovnani-metodik-pro-stanoveni-ztrat-vody-z-distribucni-site-na-zaklade-vyhodnoceni-minimalnich-nočních-prutoku>
- [21] *Ztráty vody*. In: <https://www.pvk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobní-data/zakladni-informace/ztraty-vody/>
- [22] LAPISZ, Břetislav. *Vodárnám se daří snižovat ztráty vody. Jsou nejnižší v historii*. In: <https://moravskoslezsky.denik.cz/> [online]. 22. 2. 2018 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://moravskoslezsky.denik.cz/podnikani/vodarnam-se-dari-snižovat-ztraty-vody-jsou-nejnižsi-v-historii-20180222.html>

- [23] ŠVEC, Pavel. *Ztrát ve vodovodní síti ubývá, ale opravy potrubí dál zvedají ceny vody*. In: <https://ct24.ceskatelevize.cz/> [online]. 3. 1. 2018 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/2350066-ztrat-ve-vodovodni-siti-ubyva-ale-opravy-potrubí-dal-zvedaji-ceny-vody>
- [24] KUČERA, Tomáš. Poruchy vodovodních řadů. In: Vodovod.info – vodárenský informační portál [online]. 29. 5. 2013 [cit. 28. 5. 2021]. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <https://vodovod.info/index.php/extra/tema/200-poruchy-vodovodnich-radu#.YLDoMqgzZPZ>
- [25] WEERADDANA, Dilusha a MALLAWAARACHCHI, Sudaraka a WARNAKULA, Tharindu a LI, Zhidong a WANG, Yang. *Long-Term Pipeline Failure Prediction Using Nonparametric Survival Analysis*. In: ResearchGate [online]. 10. 11. 2020. [cit. 08.03.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/345989203_Long-Term_Pipeline_Failure_Prediction_Using_Nonparametric_Survival_Analysis
- [26] IWANEK, Małgorzata a KOWALSKA, Beata a KOWALSKI, Dariusz a KWIETNIEWSKI, Marian a MISZTA-KRUK, Katarzyna a MIKOŁAJUK, Paulina. *Effect of various factors on water supply network failure in spatial system – a case study*. In: Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture. XXXII, 2015. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/281382526_Effect_of_various_factors_on_water_supply_network_failure_in_spatial_system_-_a_case_study
- [27] FOLKMAN, Steven. *Water Main Break Rates In the USA and Canada: A Comprehensive Study*. Utah State University: Buried Structures Laboratory. 2018. [cit. 28. 5 2021]. Dostupné z: https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1173&context=mae_facpub
- [28] BARBORIK, Juraj. *Vliv technických parametrů potrubních systémů na rekonstrukce vodovodních a kanalizačních sítí*. In: <http://www.trubnisystemy.info/> [online]. 2015 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <http://www.trubnisystemy.info/enl.php?a=c&n=13&e=0&i=155&crc=ca56d47ef9b8f6be7335087860c395436629ff99>
- [29] ELISSON, Dan. *Condition assessment of water mains. AWWA manual*. Denver, CO: American Water Works Association. 2019. 216 s. ISBN 978-1-62576-331-0.
- [30] *Diagnostika a lokalizace vad (defektů)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-lokalizace-vad-defektu-potrubí-svaru>
- [31] *Hodnocení a analýza stavu potrubí*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/hodnoceni-analyza-stavu-potrubí>
- [32] *Inspekce stavu potrubí na základě rizik (RBI)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/risk-based-inspection-rbi>

- [33] PEKAŘ, Václav. *Technická inspekce a údržba potrubí a řízení rizik*. Vysoké Mýto. 2021. 128 s. Dostupné z https://www.ipotrubi.cz/clanky/1.-novinky-a-prispevky/e_kniha---technicka-inspekce-a-udrzba-potrubi-a-rizeni-rizik-.html
- [34] ASLAM, Hamza a KAUR, Manreet a SASI, Sneha a MORTULA, Maruf a YEHIA, Sherif a ALI, Tarig. *A Conceptual Approach to Detection of Water Pipe Leakage using Non Destructive Techniques*. In: ResearchGate [online]. 1. 3. 2017. [cit. 08.03.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/320867840_A_Conceptual_Approach_to_Detection_of_Water_Pipe_Leakage_using_Non_Destructive_Techniques
- [35] *Nedestruktivní defektoskopie (NDT)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/nedestruktivni-defektoskopie-kontrola-ndt>
- [36] *Speciální NDT metody*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-kontrola-inspekce-specialni-ndt-metody>
- [37] MAZAL, Pavel. *Metody nedestruktivního zkoušení*. In: TechMagazín. 2011, 2(8), 8. ISSN 1804-5413.
- [38] *Vizuální zkouška (VT)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/ndt-vizualni-zkouska-vt>
- [39] *Penetrační zkouška (PT)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/ndt-penetracni-zkouska-pt>
- [40] *Magnetická prášková zkouška (MT)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/ndt-magneticka-zkouska-mt>
- [41] *Zkouška prozářením (RT)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/ndt-zkouska-prozarenim-rt-rtg>
- [42] *Zkouška ultrazvukem (UT)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/ndt-zkouska-ultrazvukem-ut>
- [43] *ET – Služby a zkoušení*. In: <https://www.atg.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-152&display=ET>
- [44] *NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ*. In: <https://www.ipotrubi.cz/> [online]. 5. 9. 2013 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.ipotrubi.cz/clanky/9.-montaz--zkouseni--uvedeni-na-trh-a-do-provozu/4.-zkouseni-potrubi-a-svaru/nedestruktivni-zkouseni.html>
- [45] *Pulzní vířivé proudy (PEC)*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-kontrola-pulzni-virive-proudy-pec>
- [46] *Zkouška těsnosti (LT)*. In: <https://www.gamalux.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.gamalux.cz/pouzivane-metody/zkouska-tesnosti/>
- [47] *Diagnostika a kontrola stavu metodou SLOFEC™*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-kontrola-potrubi-nadrze>

- [48] *Diagnostika a kontrola stavu metodou Guided Waves*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-kontrola-potrubi-lrut-guided-waves>
- [49] *TOFD*. In: <https://dekra.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.dekra.cz/wp-content/uploads/2018/01/Metoda-TOFD-NAHLED.pdf>
- [50] *Diagnostika a kontrola stavu metodou Phased Array*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-kontrola-potrubi-svaru-inspekce-phased-array>
- [51] *Ultrazvukové metody (UT, Phased Array, TOFD a EMAT)*. In: <http://www.ndtservis.cz/web/index.php/cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <http://www.ndtservis.cz/web/index.php/cz/nedestruktivni-zkouseni/ultrazvukova-metoda-ut-emat>
- [52] ŠUBERT, Jaroslav. *Měření průtoku vody*. In: <https://fokuselectro.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://fokuselectro.cz/i/?/Lok%C3%A1tory/m%C4%9B%C5%99en%C3%AD+pr%C5%AFtoku+vody>
- [53] HAMILTON, Stuart a CHARALAMBOUS, Bambos. *Leak Detection: Technology and Implementation*. London: IWA Publishing, 2013. 98 s. ISBN 9781780404707.
- [54] *Vodárny vyhledávají úniky v potrubí z kosmu*. In: <https://www.technicka-zarizeni.cz/> [online]. 5. 1. 2021. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.technicka-zarizeni.cz/vodarny-vyhledavaji-uniky-v-potrubi-z-kosmu/>
- [55] *Detekce a lokalizace úniků vody z potrubí*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/detekce-lokalizace-unik-vody-potrubi>
- [56] *Vnitřní inspekce (videokontrola) vodovodu pod tlakem*. In: <https://www.sepssk.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/vnitri-inspekce-videokontrola-vodovodu-tlakem>
- [57] *MTA PIPE-INSPECTOR. Bez kabelový kamerový systém s integrovanou funkcí zjišťování úniků*. In: <https://www.mta-messtechnik.at/mzga/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: https://www.mta-messtechnik.at/pdf/Pipe-Inspector_CZ_A4_Stemcon.pdf
- [58] *WCS Water control systems*. In: <http://www.stemcon.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: http://www.stemcon.cz/doc/wcs_01_a4_stemcon_.pdf
- [59] LEE, Andy. *Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Sewage Conveyance Systems. UBC Sustainability Scholar Program 2017 & Metro Vancouver*. The University of British Columbia. 15. 9. 2017 [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z: https://sustain.ubc.ca/sites/default/files/2017-20_Condition%20Assessment%20-%20Water%20Distribution%20%26%20Sewage%20Conveyance_Lee.pdf

- [60] *Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury*. In:
<http://www.teawater.cz/> [online]. [cit. 28. 5. 2021]. Dostupné z:
<https://tea.fce.vutbr.cz/uzivatel/login.aspx>
- [61] *Podolí*. In: Místopisný průvodce po České republice [online]. [cit. 28. 5. 2021].
Dostupné z: <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/8521/podoli/>

SUMMARY

In the practical part of the thesis was performed a research concerning the current state of legislation related to the assessment of the technical condition of water supply infrastructure in the Czech Republic, which was then compared with the legislation of the Slovak Republic. This research shows that the fundamental difference lies in the approach to the issue itself. In the Czech Republic, the legislation requires an assessment of the technical condition of the water supply infrastructure but does not provide the assessor a methodology according to which the assessment should be performed. That is the reason, why companies approach the assessment subjectively and the results cannot be compared between companies. The Slovak legislation also requires owners and operators to know the technical condition of the infrastructure they operate or own, but unlike the Czech legislation, it also provides a methodology for the assessment, thereby limiting the introduction of a subjective perspective into the assessment and allowing for comparisons of results between companies. The disadvantage is its low level of detail, which makes the methodology very difficult to apply to objects on the water supply network such as water tanks, water treatment plants or pumping stations.

The next part of the paper describes two areas for which knowledge of the technical condition of water infrastructure is an essential component, namely PFO and risk analysis. Limited financial resources often force companies to carefully consider which facilities will be reconstructed within a specific time period. By developing a good plan, the funds for rehabilitation can then be allocated more efficiently.

In the third chapter of the thesis were discussed the factors influencing pipeline failure rate. An important prevention against the failure is compliance with prescribed pressure ratios, which are directly or indirectly addressed in several legislative documents in the Czech Republic. Reducing water losses should be one of the main priorities of owners and operators of water supply infrastructure. Although the average value of water loss from water supply networks in the Czech Republic is relatively low compared to the other European countries, it needs to be further reduced. As pipelines age, there will be more breakdowns and therefore more water losses, so this issue needs to be sufficiently addressed, although for smaller companies in particular, regular renewal of infrastructure is a difficult issue, especially for financial reasons.

There are many methods for pipeline inspection in the Czech Republic and in other countries, ranging from the simplest ones such as visual or ultrasonic testing to more complex ones such as Guided Waves, TOFD or EMAT. The choice of method depends on many factors and in general it is recommended to use a multi-stage approach, starting with simpler and cheaper method and moving on to more complex one if necessary. There is also a large number of available methods to identify the location of a pipe leak. A new method in Czech Republic is the technologically very advanced satellite analysis method,

which two water utilities began using in 2021. A satellite monitors the earth's surface using a microwave beam, the data is then recalculated and potential leak points in the network are displayed.

The last chapter of the theoretical part of the thesis is devoted to the application for preliminary assessment of the technical condition of the objects of the water supply network TEA Water. The application has been developed by the Institute of VHO at the Faculty of Civil Engineering of the VUT and could become a methodology unifying the procedure for the assessment of the technical condition of water supply infrastructure in the Czech Republic, thus enabling the comparison of results between individual companies. For the practical part of the work, two application modules were used, namely the TEAA module for water reservoir assessment and the TEAN module for distribution network assessment.

The practical part of the thesis deals with the evaluation of the technical condition of the water supply network and water tank in the village of Podolí near Uherské Hradiště. The water supply network and the water tank were evaluated with a grade B. It can be said that the technical condition of the objects corresponds to their age, and the objects are regularly inspected and maintained. Since the water reservoir and a significant part of the water supply network are not owned by Slovácké vodárny a kanalizace, a.s. but by the municipality of Podolí, the reconstruction is complicated by other administrative issues. However, as can be seen from the photos, although the water tank has been rated B, the ceiling structure of the storage tank in particular requires professional intervention, as the concrete reinforcement is exposed throughout the entire ceiling.

Some data acquisition was problematic for the assessment, e. g. the biological audit was not assessed for the water tank as the necessary data was not available. The individual volumes of the water tank are not determined by the company, so they were estimated by calculation. According to the description, for some factors it was also difficult to select the correct rating for a factor, as the technical condition of the facility was adequate for several ratings or, on the contrary, did not correspond to any of them and some intermediate rating would be needed to accurately describe the condition of the facility. For example, for the assessment of the technical condition of the valves and hydrants on the water supply network, the option 'valves mostly less than 20 years old, regularly inspected and maintained' was chosen in the assessment, although the average age of the valves is actually higher. However, the option 'Valves mostly older than 20 years, poor condition' also does not correctly represent the condition of the facilities, as the valves are fully functional and maintained and, although the technical condition corresponds to the age, it cannot be said to be poor.

Nevertheless, the application is very intuitive, the work in it is simple and the assessment result gives a good picture of the technical condition of the assessed objects. Further development would certainly be helped by testing on a larger number of objects and comparing the results with assessments using other methods.