



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

VYHODNOCENÍ ZTRÁT VODY NA ÚZEMÍ MĚSTA BRNA

EVALUATION OF WATER LOSSES IN THE BRNO CITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Poláčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Studentka: **Bc. Monika Poláčková**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

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

Vyhodnocení ztrát vody na území města Brna

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem diplomové práce je analýza spotřeby vody a ztrát vody ve vybraných tlakových pásmech vodárenského systému města Brna. Diplomantka navrhne metodiku hodnocení ztrát vody dle požadavku nové směrnice EU pro pitnou vodu založenou na Infrastructure Leakage Index (ILI) s vyhodnocením minimálních nočních odběrů a dalších ukazatelů ztrát vody dle návrhu nové ČSN. Tuto metodiku ověří na vybraných tlakových pásmech případně měřících okrcích vodárenského systému města Brna a konkrétního malého skupinového vodovodu.

Úvodní část diplomové práce bude tvořit rešerše s popisem aktuálního stavu vykazování ztrát vody v ČR a ve světě.

Předpokládá se spolupráce s BVK a.s.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Stanovení a zhodnocení vybraných ukazatelů ztrát vody včetně ILI - Infrastructure Leakage Index pro vybraná tlaková pásma vodárenského systému města Brna a vybraného skupinového vodovodu.

Seznam doporučené literatury a podklady:

[1] Sborník konference WaterLoss 2022, Praha 2022

[2] ČSN 75 5020 Vykazování ztrát pitné vody z vodovodů, návrh normy

[3] https://www.youtube.com/channel/UCK6uugK_kpE7TXz7yg_dl2g, IWA Water Loss Specialist Group

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 19. 3. 2023

L. S.

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá různými přístupy provozovatelů vodovodů k tématu ztrát vody včetně jejich vykazování jak v České republice, tak v zahraničí. Zaměřuje se na Infrastructure Leakage Index (ILI) a v rámci navržené Metodiky vyhodnocování ILI podle minimálních nočních průtoků se podle ní práce snaží aplikovat vyhodnocení ztrát vody pro tři hydraulicky oddělená tlaková pásma vodovodu ve městě Brně a dvě vodovodní sítě v malých obcích. Závěrem jsou popsána doporučení pro jednotlivé provozovatele řešených vodovodů vedoucí k rozšíření možností monitoringu a vykazování ztrát vody v síti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ztráty vody, systém zásobování vodou, minimální noční průtok, Infrastructure Leakage Index, Smart Metering

ABSTRACT

The thesis deals with different approaches of water supply operators to the topic of water losses including water loss reporting both in the Czech Republic and abroad. It is focused on the Infrastructure Leakage Index (ILI) and within the proposed Methodology of ILI evaluation according to minimum night flows, the thesis tries to apply such an evaluation of water losses for three hydraulically separate pressure zones of water supply in the city of Brno and two water distribution systems in small villages. At the end, recommendations for individual operators of the water supply systems in the analyzed areas are described, leading to the extension of the possibilities of monitoring and reporting of water losses in the network.

KEYWORDS

Water losses, water supply system, minimum night flow, Infrastructure Leakage Index, Smart Metering

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLÁCHOVÁ, Monika. *Vyhodnocení ztrát vody na území města Brna*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Vyhodnocení ztrát vody na území města Brna* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Monika Poláčková
autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vyhodnocení ztrát vody na území města Brna* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Monika Poláčková
autor

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Ladislavu Tuhovčákovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a užitečné připomínky. Dále děkuji panu Jiřímu Gabrielovi z BVK, a.s., panu Miroslavu Zavadilovi z Insta CZ, s.r.o. a panu Ing. Vladimíru Jonáškoví z obce Hvozdná za vstřícnost, ochotu a poskytnutí dat. Děkuji také své rodině za podporu.

OBSAH

1	ÚVOD	4
1.1	Druhy úniků	4
2	ZTRÁTY VODY V SOUČASNOSTI	5
2.1	Legislativa.....	5
2.1.1	Vyhláška č. 428/2001 Sb.	5
2.1.2	SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/2184.....	7
2.2	Situace v ČR	8
2.2.1	Vývoj ztrát vody v ČR.....	8
2.2.2	Brno	9
2.2.3	Praha	12
2.2.4	Ostrava.....	14
2.2.5	Plzeň	17
2.2.6	Severní Čechy.....	19
2.3	Způsoby vykazování ztrát vody	22
2.3.1	Základní ukazatele ztrát vody	22
2.3.2	Vyhodnocení pomocí minimálních nočních průtoků	24
2.4	Situace ve světě.....	24
2.4.1	IWA – mezinárodní asociace pro vodu.....	25
2.4.2	Smart water networks	25
2.4.3	Mezinárodní konference Water Loss	27
2.5	Způsoby vykazování ztrát ve světě	35
2.5.1	Infrastructure leakage index (ILI).....	35
2.5.2	Norma ČSN 75 5020.....	39
2.5.3	ILI v České Republice	41
3	METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ ILI PODLE MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ	42
3.1	Dekompozice Minimálních nočních průtoků.....	42
3.1.1	Skutečná spotřeba	43
3.1.2	Teoreticky nevyhnutelné ztráty vody (TNZ)	43
3.1.3	Skutečné ztráty vody (SZ)	43
3.2	Orientační doporučené hodnoty MNP a odvození ILI.....	44
3.3	Určení skutečné spotřeby	44
3.3.1	Metoda PERT	45
3.3.2	Výsledky metody PERT	47
3.4	Určení TNZ a výpočet ILI.....	47
4	ZÁJMOVÉ LOKALITY	48
4.1	Vybrané okrsky z brněnské vodovodní sítě	48
4.1.1	Diagnostika a chytré vodoměry	48
4.1.2	Popis jednotlivých měrných okrsků.....	51

4.2	Skupinový vodovod Tučapy – Komořany – Podbřežice	57
4.2.1	Popis zájmového území	57
4.2.2	Popis vodovodní sítě	59
4.3	Vodovod v obci Hvozdná	63
4.3.1	Základní informace	64
4.3.2	Popis vodovodní sítě	64
5	ZPRACOVÁNÍ DAT	66
5.1	MO Kamenný vrch	66
5.1.1	Nátok do sítě	66
5.1.2	Spotřeba v síti	68
5.1.3	Materiály a DN	71
5.1.4	Průměrný tlak v síti	72
5.1.5	Stáří potrubí	72
5.2	MO Kohoutovice	73
5.2.1	Nátok do sítě	73
5.2.2	Materiály a DN	75
5.2.1	Průměrný tlak v síti	75
5.2.2	Stáří potrubí	75
5.3	MO Klajdovská	76
5.3.1	Nátok do sítě	76
5.3.2	Materiály a DN	78
5.3.3	Stáří potrubí	78
5.4	Skupinový vodovod Tučapy – Komořany - Podbřežice	79
5.4.1	Nátok z vodojemu do sítě	79
5.4.2	Zjišťování nátoků do jednotlivých obcí	80
5.4.3	Materiály a DN	82
5.4.4	Průměrný tlak v síti	83
5.5	Vodovod Hvozdná	84
5.5.1	Nátok z vodojemu do sítě	84
5.5.2	Materiály a DN	86
5.5.3	Průměrný tlak v síti	86
6	VYHODNOCENÍ ZTRÁT VODY VE VYBRANÝCH LOKALITÁCH	87
6.1	MO Kamenný vrch	87
6.1.1	Skutečné ztráty	87
6.1.2	Dekompozice MNP	88
6.1.3	Kontrola správnosti výpočtu	88
6.1.4	Hodnoty ILI	88
6.2	MO Kohoutovice	90
6.2.1	Dekompozice MNP	90
6.2.2	Hodnoty ILI	91
6.3	MO Klajdovská	92
6.3.1	Dekompozice MNP	92
6.4	Skupinový vodovod Tučapy – Komořany – Podbřežice	93
6.4.1	Dekompozice MNP	93
6.4.2	Další vybrané způsoby stanovení ILI	94

6.5	Vodovod Hvozdná.....	95
6.5.1	Dekompozice MNP.....	95
6.5.2	Další vybrané způsoby stanovení ILI.....	96
7	ZÁVĚR.....	98
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	100
9	POZNÁMKY.....	112

1 ÚVOD

V roce 2022 bylo podle údajů z Českého statistického úřadu (ČSÚ) v ČR pitnou vodou z veřejného vodovodu zásobováno 10 069 043 obyvatel (tzn. 95.6 % z celkového počtu obyvatel). Délka vodovodní sítě pak k roku 2022 činila 81 005 km. Každé zásobování pitnou vodou s sebou nese určitý podíl ztrát. [1]

Cílem vodárenských společností je tento podíl ztrát co nejvíce minimalizovat. Snaha ušetřit tak peníze se obzvláště v posledních letech, kdy je šetření pitnou vodou celosvětovým tématem, rozšiřuje o hodnotnější podněty.

Dle zprávy ČSÚ z 2. května 2022 se ztráty vody v ČR v roce 2021 dostaly na hodnotu 13.9 %, meziročně tak klesly o 0.2 %. Od roku 2014 se průměrná hodnota ztrát pohybuje pod hranicí 17 %, avšak ještě v roce 2004 dosahovaly hodnot větších, než 21 %. Z pohledu procentuálních hodnot ztrát vody si nejvíce polepšila Praha, která od roku 2004 do roku 2021 zredukovala ztráty z 26.6 % na 15 %. [1] V celostátním měřítku je pokles ztrát výsledkem několika činností. Na prvním místě se jedná o zlepšování technického stavu sítě prostřednictvím investic do její obnovy. Dalším aspektem je snaha o zefektivnění a modernizaci postupů k detekci poruch na síti. Mezi tyto postupy můžeme zařadit rozdělení sítě na samostatné měrné okruhy, instalaci chytrých vodoměrů, přechody do online systému pro hlášení zjevných poruch zaznamenaných veřejností a mnoho dalších.

I přesto, že z pohledu ročního vykazování ztrát vody si Česká republika vede poměrně dobře, je potřeba si uvědomit, že ukazatel ztrát vody pro celou ČR nedostatečně vypovídá o menších provozovatelích, jejichž hodnoty ztrát vody zanikají mezi hodnotami větších vodárenských společností. Proto je nutné se intenzivně zabývat ztrátami vody i nadále a snažit se vyvíjet nové a lepší postupy, jak ztráty vody redukovat. Jako první podnět pro snahu o redukcii ztrát vody mohou sloužit podrobnější analýzy průtoků v pásmech, obzvláště v časech minimálních průtoků, které často odhalí přehlížené dlouhodobé úniky.

1.1 DRUHY ÚNIKŮ

Únik vody na vodovodní síti můžeme rozdělit na zjevný a skrytý. Zjevné úniky jsou zpravidla více intenzivní (např. 5 l/s), avšak trvají kratší dobu (v řádu hodin) z důvodu prokazatelnější a rychlejší identifikace. Uniklý objem vody tedy nebývá tak vysoký právě díky krátké době trvání úniku. Skryté úniky mají oproti tomu nižší intenzitu (např. 0.5 l/s) a z toho důvodu jsou obtížně dohledatelné (často v řádech měsíců), jelikož takto malá intenzita se ztrácí mezi celkovými denními průtoky v dané vodovodní síti. Celkový uniklý objem vody od počátku skrytého úniku až po jeho dohledání a eliminace může mnohonásobně převyšovat objem u zjevných úniků. [14]

Nicméně může nastat situace, kdy s sebou zjevné úniky mohou nést mnohonásobně větší ztráty. Dojde-li k výrazné poruše vodovodního řádu větších DN (např. na přívaděči), celkový objem úniku může dosahovat tisíců m³, často jsou také doprovázeny dalšími ekonomickými škodami na majetku provozovatele nebo třetích osob. Většinou jsou takto rozsáhlé úniky hodnoceny jako havárie¹, které musí být okamžitě odstraněny provozovatelem. Je důležité si však uvědomit, že úniky nejsou totéž, co ztráty. Ztráty vody tvoří mimo úniky i další složky².

¹ Mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost

² Více v kapitole 2.5.1

2 ZTRÁTY VODY V SOUČASNOSTI

Ztráty vody můžeme zjednodušeně definovat jako množství vody, která se nedostane k odběrateli. Je to voda, která uniká ze všech možných důvodů z místa zdroje vody, úpravy vody, její dopravy a voda, která uniká z rozvodu v místě spotřeby. [14]

Podle místa vzniku se ztráty vody dělí na:

- ztráty vody **nepřesností měření vody vyrobené nebo převzaté**
- ztráty vody **nepřesností měření vody dodané odběratelům**
- ztráty vody **poruchami a netěsnostmi** vodovodní sítě
- **krádeže vody** z vodovodní sítě
- ztráty vlivem **nevykázání vlastní spotřeby** (např. nezaevidovaný proplach vodovodu)

[14]

2.1 LEGISLATIVA

Problematika vodovodů je upravena zákonem č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) ve znění pozdějších předpisů. Dále je oblast upravena prováděcí vyhláškou č. 428/2001 Sb., kterou se uvedený zákon provádí a příslušnými metodickými pokyny. Státní správu vykonávají na úseku vodovodů a kanalizací ministerstvo zemědělství, krajské úřady, obecní úřady obcí s rozšířenou působností a újezdní úřady na území vojenských újezdů jako vodoprávní úřady. [15]

Ministerstvo zemědělství, jako ústřední vodoprávní úřad, zajišťuje prostřednictvím odboru vodovodů a kanalizací zejména zpracování a aktualizace plánu rozvoje vodovodů a kanalizací pro území státu včetně projednání změn krajských plánů rozvoje vodovodů a kanalizací, regulaci v oboru vodovodů a kanalizací, ochranu spotřebitelů a podporu hospodářské soutěže v prostředí přirozeného monopolu a poskytuje objektivní informace z oboru vodovodů a kanalizací veřejnosti. Vede ústřední evidenci vybraných údajů z majetkové a provozní evidence vodovodů a kanalizací. Sleduje ceny pro vodné a stočné podle cenových předpisů, porovnává je včetně nákladů a zisku a zveřejňuje výsledky. Odbor vodovodů a kanalizací též zajišťuje realizaci státní dotační politiky v oboru vodovodů a kanalizací a v oblasti odstraňování povodňových škod na vodohospodářské infrastruktuře. [15]

Bilanční analýzu spotřeby vody zpracovává zpravidla provozovatel vodovodu z provozní evidence a vyhodnocuje skutečné spotřeby vody za určitý časový úsek (rok, měsíc, týden, den).

2.1.1 Vyhláška č. 428/2001 Sb.

Vyhláška mimo jiné upravuje:

ROZSAH A ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ A PRŮBĚŽNÉ AKTUALIZACE PLÁNU ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ

§ 3

(1) Plán rozvoje vodovodů a kanalizací kraje (dále jen „plán rozvoje“) se zpracovává v tomto rozsahu,

- a) **zhodnocení současného stavu systému zásobování pitnou vodou**, odkanalizování a čištění odpadních vod obcí nebo částí obcí 1) na území kraje nebo jeho části, která se určuje ve vztahu k systémům zásobování vodou, odkanalizování a čištění odpadních vod,
- b) **bilance potřeby pitné vody**, odkanalizování a čištění odpadních vod v členění na všechny obce nebo jejich části na území kraje,
- c) vymezení zdrojů povrchových a podzemních vod plánovaných pro účely úpravy na pitnou vodu,
- d) **plán technicky i ekonomicky optimálního rozšíření a obnovy systémů zásobování pitnou vodou**, odkanalizování a čištění odpadních vod obcí nebo jejich částí v řešeném územním celku,
- e) plán zásobování pitnou vodou při vyhlášení krizové situace podle § 21 zákona,
- f) **ekonomickou část s výpočtem nákladů** na realizaci plánů uvedených pod písmeny d) a e),
- g) časový rozvrh realizace plánů uvedených pod písmeny d) a e) vyjadřující naléhavost řešení.

(2) **Plán rozvoje vodovodů a kanalizací kraje** se aktualizuje v části věnované stávajícímu stavu a v části návrhu na změnu řešení rozvoje v tomto rozsahu:

- a) u návrhu obce se aktualizuje ta část plánu rozvoje, která se jí a jejích administrativních částí dotýká v rozsahu podle odstavce 1,
- b) u návrhů zahrnujících systémy vodovodů a kanalizací společné pro více obcí na území kraje se aktualizuje ta část plánu rozvoje, která se jich dotýká v rozsahu podle odstavce 1.

§ 4

(1) Plán rozvoje a jeho průběžná aktualizace se zpracovává v elektronické podobě v návaznosti na geografický informační systém.

(2) Krajský úřad předává Ministerstvu zemědělství (dále jen „ministerstvo“) podle § 4 odst. 8 zákona aktualizace plánu rozvoje prostřednictvím **Informačního systému vodovodů a kanalizací** v tomto rozsahu:

- a) seznam zastupitelstvem kraje schválených aktualizací plánu rozvoje včetně čísla a data příslušných usnesení zastupitelstva kraje,
- b) aktualizované popisy systémů vodovodů a kanalizací jednotlivých obcí nebo jejich částí zařazené do schválených aktualizací v úplném rozsahu původních, popřípadě předchozích popisů; úpravy a formáty aktualizovaných popisů jsou uvedeny v příloze č. 21,
- c) jednotlivé aktualizované popisy systémů vodovodů a kanalizací obcí nebo jejich částí, ve kterých byl doplněn aktuální stav zásobování pitnou vodou, odvádění odpadních vod a jejich čištění bez nutnosti jejich projednání podle § 4 odst. 5 zákona, v úplném rozsahu původních, popřípadě předchozích popisů; úpravy a formáty aktualizovaných popisů jsou uvedeny v příloze č. 21,
- d) tabulkovou část k aktualizovaným popisům uvedeným v písmenech b) a c) obsahující demografické, bilanční, technické a ekonomické údaje; soubor ve formátu MDB lze

vytvořit v elektronické aplikaci poskytnuté ministerstvem pro zpracování plánu rozvoje; struktura souboru je uvedena v příloze č. 21,

e) mapovou část plánu rozvoje obsahující aktualizované zákresy systémů vodovodů a kanalizací v návaznosti na geografický informační systém včetně všech podkladových map ve formátech, ve kterých již byla tato část plánu rozvoje zpracována při jeho pořízení; aktualizovaná mapová část plánu rozvoje území kraje bude předána ministerstvu podle § 4 odst. 8 zákona nebo bude zasláno ministerstvu sdělení, kde je krajským úřadem tato část plánu rozvoje publikována a zpřístupněna.

(3) Obce předávají krajskému úřadu podle § 4 odst. 4 zákona v elektronické podobě návrh aktualizace plánu rozvoje ve stejných formátech a s obsahem, jak jsou uvedeny v ustanoveních odstavce 2 písm. b), c), d) a e). [17]

2.1.2 SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/2184

Směrnice Evropského parlamentu a rady EU schválená dne 16. prosince 2020 mimo jiné říká, že:

Aniž jsou dotčeny jejich povinnosti podle jiných právních předpisů Unie, přijmou členské státy opatření nezbytná k zajištění toho, aby voda určená k lidské spotřebě byla nezávadná a čistá. Pro účely minimálních požadavků této směrnice musí být voda určená k lidské spotřebě nezávadná a čistá, jsou-li splněny všechny následující požadavky:

(A)

že voda neobsahuje žádné mikroorganismy a parazity a žádné látky, které svým množstvím nebo koncentrací představují potenciální nebezpečí pro lidské zdraví;

(B)

že voda splňuje minimální požadavky stanovené v částech A, B a D přílohy I;

(C)

Členské státy přijaly všechna další opatření nezbytná pro dosažení souladu s články 5 až 14.

2. Členské státy zajistí, aby opatření přijatá k provedení této směrnice byla založena na zásadě předběžné opatrnosti a aby za žádných okolností neumožňovala, přímo či nepřímo, jakékoli zhoršení současné jakosti vody určené k lidské spotřebě nebo jakékoli zvýšení její kvality. znečištění vod používaných k výrobě vody určené k lidské spotřebě.

3. V souladu se směrnicí 2000/60/ES členské státy zajistí, aby hodnocení úrovní úniků vody na jejich území a potenciálu pro zlepšení snížení úniků vody bylo prováděno pomocí klasifikační metody indexu úniku vody (ILI) nebo jiné vhodné metodou. Toto posouzení zohlední příslušné aspekty veřejného zdraví, životního prostředí, technické a ekonomické aspekty a pokryje alespoň dodavatele vody, kteří zásobují alespoň 10 000 m³ denně nebo slouží alespoň 50 000 lidem.

Výsledky posouzení budou sděleny Komisi do 12. ledna 2026.

Do 12. ledna 2028 přijme Komise akt v přenesené pravomoci v souladu s článkem 21 s cílem doplnit tuto směrnici stanovením prahové hodnoty na základě ILI nebo jiné vhodné metody, nad níž členské státy předloží akční plán. Tento akt v přenesené pravomoci se vypracuje na základě posouzení členských států a průměrné míry úniku v Unii určené na základě těchto posouzení.

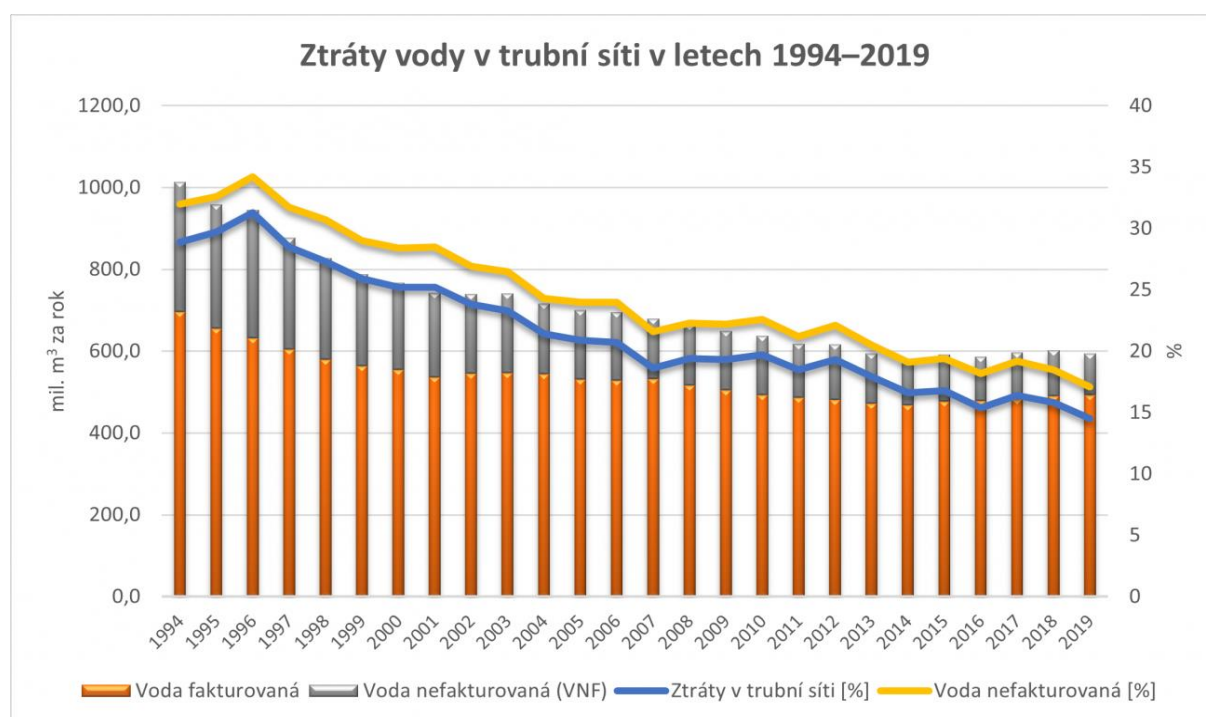
Do dvou let od přijetí aktu v přenesené pravomoci uvedeného ve třetím pododstavci předloží členské státy, jejichž míra úniku přesahuje prahovou hodnotu stanovenou v aktu v přenesené pravomoci, Komisi akční plán stanovující soubor opatření, která mají být přijata, aby se snížila rychlost jejich úniku. [16]

2.2 SITUACE V ČR

Z pohledu historického vývoje se od roku 1989 v ČR významně snížilo množství vyrobené vody za rok, poklesla spotřeba na jednoho obyvatele, ale také se výrazně snížily celkové ztráty vody. Zatímco na začátku devadesátých let činily čisté ztráty až 30 % z vody k realizaci (tj. vody vstupující do vodovodní sítě), aktuální hodnoty se pohybují na polovině, tedy kolem 15 %. [18]

2.2.1 Vývoj ztrát vody v ČR

Z grafu (Obrázek 1) je patrné, že v České republice obecně dlouhodobě klesají ztráty vody v trubní síti. Tento proces je výsledkem soustavné činnosti vodohospodářských společností, které investují do obnovy zastaralé a technicky nevyhovující infrastruktury nebo do technologií pro sledování parametrů distribuce vody. Mezi tyto technologie řadíme např. technologie na online sledování průtoků vody, tlaků ve vodovodní síti, sledování stavu zásob v akumulacích a měření spotřeby vody u koncových uživatelů. [1] Dle novějších statistik Ministerstva zemědělství (MZe) je patrné, že ztráty vody v rámci celé ČR neustále klesají. K roku 2021 dosáhly hodnoty 13,9 % (v roce 2019 byly na hodnotě 14,25 %). [18]

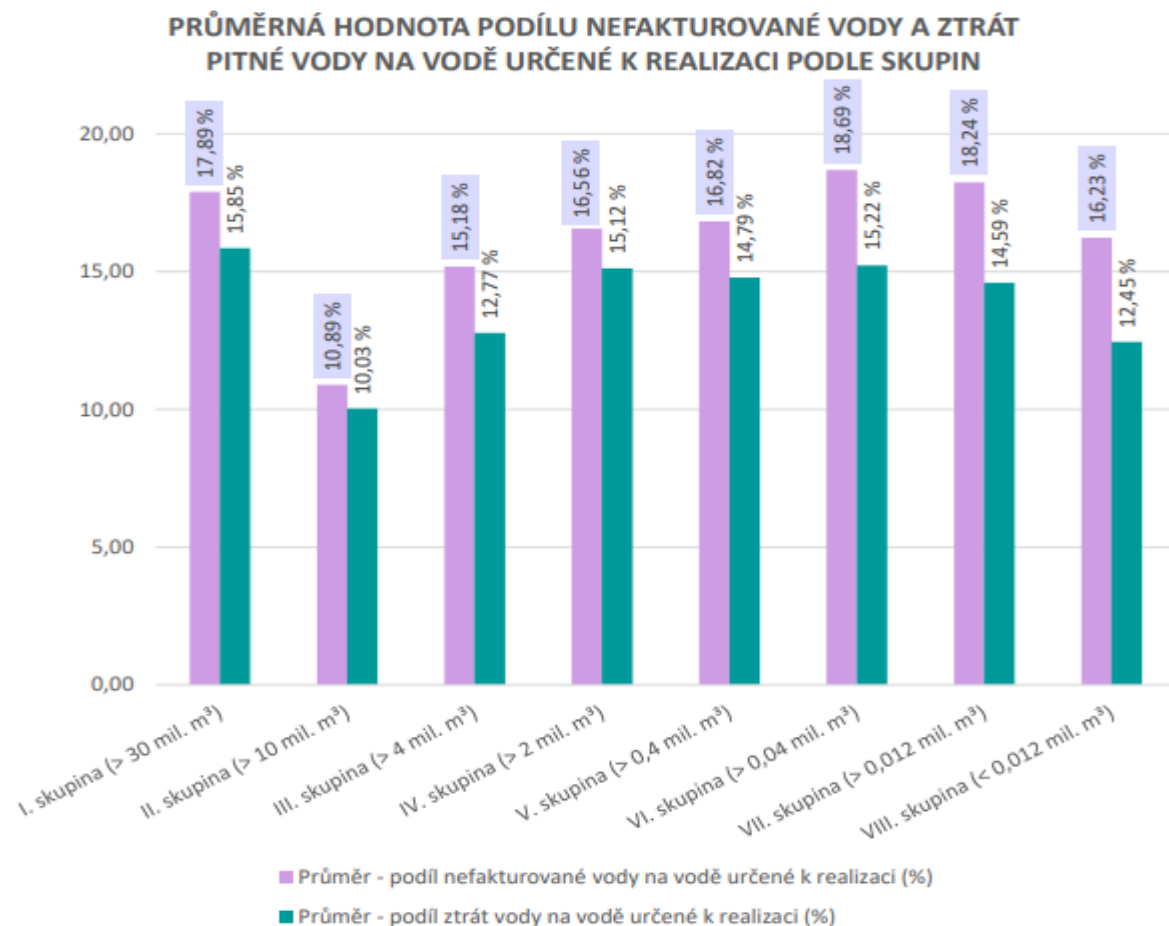


Obrázek 1: Vývoj ztrát vody v ČR v letech 1994–2019 [1]

V roce 2021 proběhl šestý cyklus benchmarkingu. Data za rok 2020 byla zpracována v souladu s Metodikou benchmarkingu. Tato data byla analyzována v rámci dvou benchmarkingových projektů: Benchmarking vlastnických subjektů za rok 2020 a Benchmarking provozovatelských subjektů za rok 2020. V souladu s metodikou byla vypracována Zpráva z benchmarkingu za rok 2020 shrnující výsledky obou realizovaných benchmarkingových projektů ve vztahu

k stanoveným cílům regulace. Zpráva také sumarizuje nálezy provedených analýz. Výsledky byly předloženy v souhrnném dokumentu v polovině roku 2022. [18]

Pro potřeby provozovatelského benchmarkingu MZe³ byla porovnání provozovatelů rozdělena do skupin podle objemu fakturované vody (VFC). I. skupina například zahrnuje provozovatele s VFC nad 30 mil. m³/rok, do VIII. skupiny spadají provozovatelé s VFC menší než 0,012 mil. m³/rok. Následující graf (Obrázek 2) zobrazuje provozovatelský benchmarking. [18]



Obrázek 2: Porovnání vybraných ukazatelů z benchmarkingu [18]

Z grafu (Obrázek 2) je zřejmé, že nejvyšších procentuálních hodnot vody nefakturované (VNF) dosahuje VI. skupina, tato skupina také dosahuje druhé nejvyšší hodnoty ztrát. Z rozdělení je zřejmé, že právě do VI. Skupiny spadají jedni z menších provozovatelů. Často se jedná o vodovody v menších obcích.

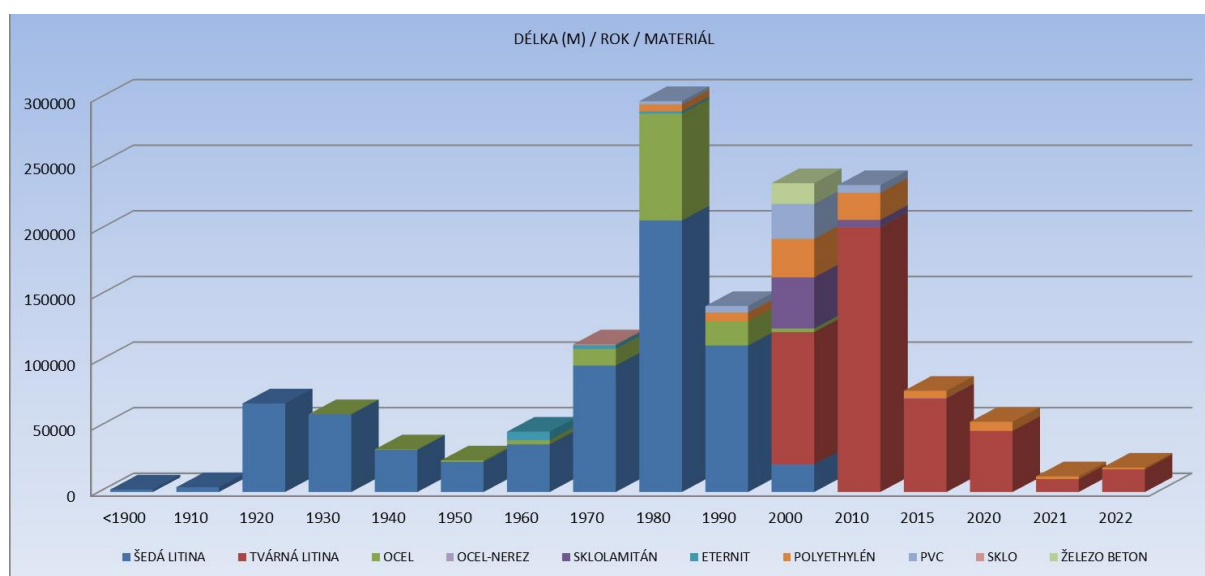
2.2.2 Brno

Brněnské vodárny a kanalizace, a. s. (dále jen BVK) se stejně jako většina velkých provozovatelů vodovodních sítí denně věnují snaze o systematické snižování ztrát vody v síti. V BVK je ukázkou výsledků této postupné každodenní práce zaměstnanců například číselné porovnání ztrát z roku 1993 a roku 2021, kdy před 30 lety dosahovaly ztráty vody 12.1 mil. m³/rok a VNF 12.5 mil. m³/rok. V roce 2021 se ztráty snížily na 2.6 mil. m³/rok, VNF na 2.8

³ Zpráva z benchmarkingu MZe za rok 2021

mil. m³/rok. Hodnoty z roku 2021 jsou výrazně nižší, a to i přesto, že během této doby narostla celková délka provozované vodovodní sítě z 1 014 km na 1 425 km. Naopak lze usuzovat, že i nové kilometry na síti měly podíl na zlepšení bilance ztrát vody, a to dle hodnot jednotkového úniku vody nefakturované (JUVNF), který z hodnoty 12 355 m³/km/rok v roce 1993 klesl na 1 979 m³/km/rok v roce 2021. [10]

Situace, kdy od 90. let klesala spotřeba vody, tudíž i voda vyrobená k realizaci (VVR), výrazně ovlivnila vývoj ztrát vody. Procentuální vyjádření ztrát vody z celkové VVR ale i přes tuto skutečnost klesalo, a to konkrétně z hodnoty 24.2 % (rok 1993) na 9.6 % (rok 2021). Jelikož v posledních 5 letech činilo množství vlastní spotřeby vody průměrně 0.2 mil. m³/rok, což znamená asi 0.8 % z VVR, je zřejmé, že hodnoty ztrát vody a množství VNF nejsou příliš rozdílné. [10]



Obrázek 3: Délka vodovodní sítě v Brně podle stáří a poměr využití materiálů [41]

Mezi činnosti na provozu vodovodů, které svým dílem přispěly a stále přispívají ke snížení ztrát vody lze zařadit: [10]

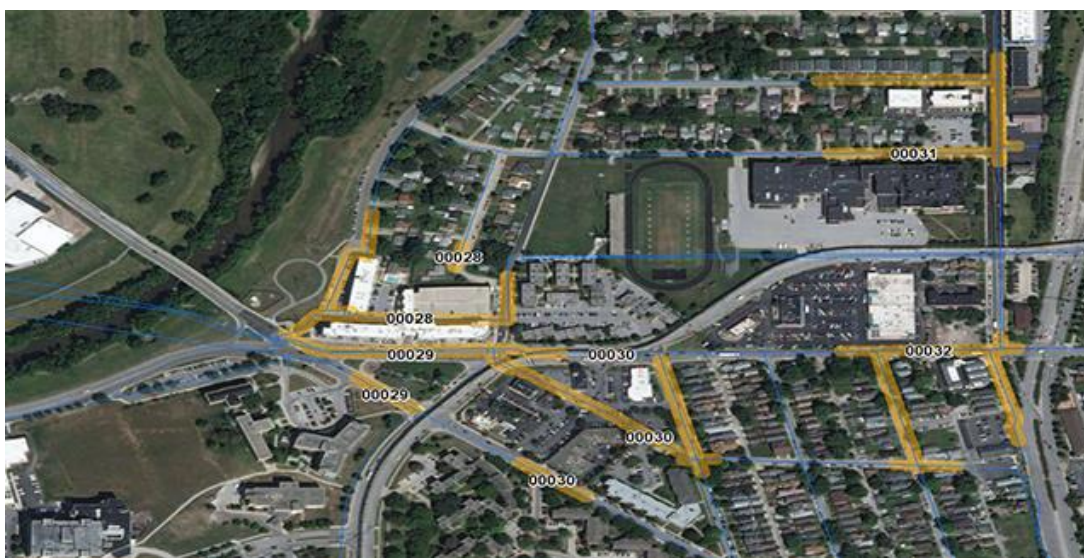
- **Modernizaci centrálního vodárenského dispečinku**, ke které došlo v roce 1997. Pro lepší přehled a rychlé řízení byl na všech provozovaných objektech vodovodů zajištěn dálkový přenos (SCADA) z měření průtoků, tlaků a hladin vody.
- **Rozdělení většiny vodovodní sítě na měřicí okrsky**, jenž umožňují sledování a realistické vyhodnocení nočních průtoků. Převážná část vodovodní sítě v Brně je již rozdělena na jednotlivé distrikty, které umožňují snadnější měření. Jediná dvě pásma nejsou snadno rozdělitelná na okrsky – jedná se o I. a II. Pásmo, tedy Brno-střed. Pro snadnější měření mají BVK v plánu rozdělit tyto pásma pomocí technologie Aqualink.

Tabulka 1: Způsob monitoringu sítě v Brně – rozdělení [41]

Rozdělení způsobu monitoringu VS		
Oblast	Velikost v procentech	Velikost v km
Monitorovaná (okrsky)	79 %	1132
Nemonitorované I. a II. Pásmo	21 %	293
Celá VS	100 %	1425

- **Systém preventivního pátrání po skrytých únicích** zajišťuje samostatná organizační jednotka společnosti – úsek diagnostiky vodovodní sítě. Systém zahrnuje i moderní technické vybavení, jako jsou půdní mikrofony, snímače šumu, záznamové jednotky, příložné průtokoměry, korelátory nebo multikorelační systém.
- **Permanentní snímače šumu s dálkovým přenosem zaznamenaných dat** byly postupně osazovány od roku 2019 a jsou užitečné především pro brněnské 1. tlakové pásmo, které není rozdělena měřicí okrsky z důvodu složité topologie vodovodní sítě a jiným omezením.
- **Plošnou výměnu všech uzavíracích armatur a hydrantů na vodovodní síti**, která zajistila ovladatelnost a funkčnost všech uzávěrů.
- **Postupnou výměnu všech starších vodovodních přípojek**, která začala v roce 1999. Materiálem nových přípojek je polyetylén.
- **Postupnou rekonstrukci vodárenských objektů**, jako například akumulární nádrže vodojemů, které jsou z hlediska ztrát vody velmi důležité.
- **Přizpůsobení velikosti vodoměrů snížené spotřebě vody** zpřesňující měření fakturovaného množství vody nejen u významných odběratelů.
- **Pravidelnou povinnou výměnu fakturačních vodoměrů** každých 6 let zaručuje větší přesnost přístrojů.
- **Dálkově odečítané vodoměry (smart vodoměry)** zajišťují lepší a aktuální přehled o situaci v jednotlivých okrscích. Umožňují tedy rychleji odhalit skryté úniky. K počátku roku 2023 bylo z celkových 43 tisíc brněnských vodoměrů asi 19 tisíc smart vodoměrů (asi 83 % spotřebované vody ve městě).
- **Rychlou reakci na vznik poruch vodovodních řadů**, která zahrnuje rychlou opravu většinou do 24 hodin.
- **Preferování tvárné litiny** už od roku 1994. Tento materiál se pro Brno osvědčil snížením počtu poruch a množství úniků.
- **Náhradu vybraných úseků přivaděče Vírského oblastního vodovodu**. Sklolaminátové trouby byly vyměněny za tvárnou litinu.

- **Optimalizaci tlakových poměrů ve vodovodní síti.** Snižováním tlaku v síti bylo docíleno menšího objemu ztrát vody.
- **Postupné rušení nepotřebných řadů užitkového vodovodu,** který byl v roce 1997 trvale propojen s vodovodem pitným. Byla tak mírně snížena délka sítě, a tím i ztráty v síti.
- **Přesný a spolehlivý GIS,** který přispívá k rychlé orientaci.
- **Evidenci poruch,** které se dělí podle typu a mohou být využívány pro plánování obnovy vodovodní sítě.
- **Interní ověření přesnosti hlavních vstupních průtokoměrů** proběhlo v roce 2009 a vedlo k výměně dvou méně přesných ultrazvukových vodoměrů za indukční vodoměry.
- **Výpočet ročních ztrát vody v přivaděčích,** jenž pomáhá kontrolovat měření množství vody na vstupech a výstupech z přivaděčů.
- **Satelitní (družicové) snímky** byly použity v roce 2021 na 440 km vodovodní sítě. Ze 45 vytipovaných míst touto metodou se podařilo skrytý únik potvrdit na 13 z nich. Překážkou jsou vyšší náklady na tuto technologii.



Obrázek 4: Ukázka výstupů ze satelitního snímkování [41]

Společnosti BVK se už v roce 2013 podařilo ztráty vody zredukovat pod hodnotu 10 % [3], kterou už téměř nelze stávajícím způsobem snižovat se stejnou účinností. [10]

2.2.3 Praha

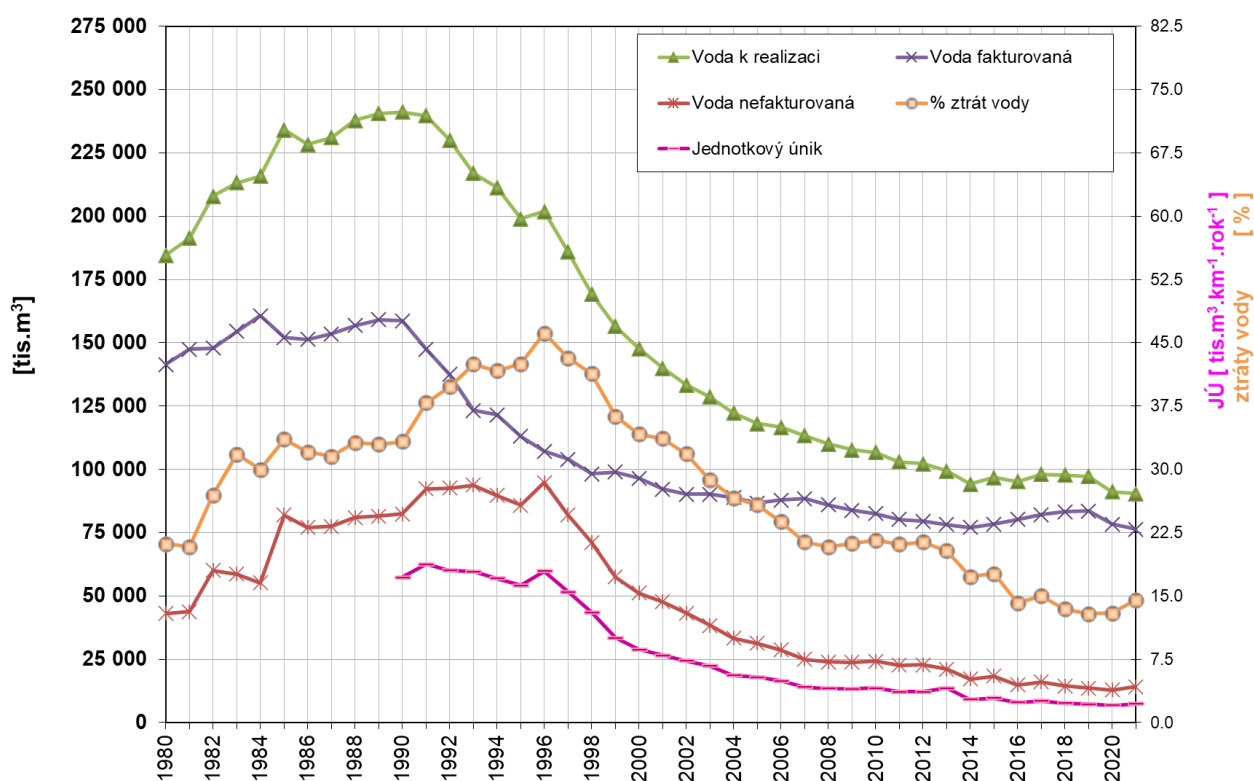
V Praze provozuje vodovodní síť společnost Pražské vodovody a kanalizace, a. s. Nejstarší vodovodní řady v pražském provozu jsou datovány do roku 1880. Poruchovost na síti je poměrně vysoká, např. za rok 2021 bylo řešeno 1588 tekoucích havárií na vodovodních řadech a 848 tekoucích havárií na přípojkách. [11]

Tabulka 2 zobrazuje údaj o vodovodní síti provozované společností Pražské vodovody a kanalizace, a. s.

Tabulka 2: Vybrané údaje o provozované vodovodní síti (2022) [11]

Délka vodovodní sítě	3 563 km
Délka vodovodních přípojek	881 km
Počet vodovodních přípojek	117 170 ks

Když po roce 1990 začal v okolí ubývat průmysl, klesala s ním i spotřeba vody. Ztráty v tomto období překonaly hodnotu 45 %. To bylo podnětem k systematickému snižování ztrát, které probíhá dodnes. V Praze byla v posledních letech testována mimo jiné satelitní detekce ztrát vody. [11]



Obrázek 5: Vývoj ukazatelů hospodaření s vodou Praha 1980–2021 [11]

Satelitní detekce ztrát vody

Princip spočívá v analýze snímku vybrané oblasti o velikosti cca 50×70 km s podkladem např. z GISu, který obsahuje informaci o umístění potrubí v prostoru. Na základě odražených radarových vln jsou vyhodnocena potencionální místa s únikem pitné vody z vodovodních řadů. Radarový signál je schopný proniknout 2-3 m pod povrch, odráží ho všechny materiály. Hlavní funkcí je schopnost ze snímku zjistit přítomnost zeminy nasycené pitnou vodou. Asi do 2-3 týdnů jsou k dispozici výsledky, tedy místa předpokládaných poruch (dále jen POI). Provozovatel následně v terénu prověří POI detekovaná satelitním snímkováním. [11]

Společnost Pražské vodovody a kanalizace, a. s. v roce 2020 otestovala satelitní snímkování na pilotním území v centrální části města Prahy s 500 km vodovodní sítě. V průběhu tří let je v plánu podobné zmapování celé Prahy (tj. asi 1 000 km vodovodní sítě/rok). K dispozici jsou výsledky z prvních dvou let dalšího mapování (Tabulka 3).

Tabulka 3: Přehled dosažených výsledků satelitní detekce ztrát vody [11]

Rok	2020	2021	2022
Délka sítě [km]	500	1000	1000
Satelitní snímek pořízen	1. 3. 2020	10. 3. 2021	23. 3. 2022
Výsledky předány	27. 3. 2020	26. 3. 2021	6. 4. 2022
Průzkum	26. 4. - 30. 5. 2020	14. 4. - 29. 6. 2021	19. 4. - 30. 6. 2022
Počet POI	45	207	248
Délka sítě v POI [km]	35,7	111,1	105,5
Počet nalezených skrytých úniků	9	50	34
Počet vzniklých tek. havárií v POI do konce průzkumu	17	73	9
Počet skrytých úniků + tek. havárie v POI	26	123	43
Procento úspěšnosti	42 %	41 %	16 %

Pro vyhodnocení projektu byly předběžně lokalizovány poruchy ze všech řešených zásobovacích pásmech a v místech POI byla použita korelační technologie. Ve vybraných pásmech byla nasazena multikorelační technologie Enigma 3m. Cílem tohoto procesu byla přesná identifikace poruch v POI a zjištění poruch i mimo POI detekované satelitním snímkováním. [11]

Výhodou satelitního snímkování je možnost kombinace se stávajícími způsoby detekce úniků vody, nevýhodou je jeho finanční náročnost a v případě Prahy a konkrétně roku 2022 i nízká úspěšnost detekce opravdových úniků. Společnost Pražské vodovody a kanalizace, a. s. je odhodlána snížit hodnotu ztrát pod 10 % a proto stále hledá a testuje nové technologie pro identifikaci skrytých úniků.[11]

2.2.4 Ostrava

Ve vodovodní síti SmVaK Ostrava se během 10 let povedly ztráty vody eliminovat přibližně na polovinu. Společnost Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a. s. mimo svoji provozní činnost zahrnující systematické sledování a vyhodnocování stavu sítě, které umožňuje včasné odstranění zjištěných úniků, spustila online aplikaci Monitor úniků. Tato online aplikace vznikla ve spolupráci SmVaK Ostrava a technologické společnosti DHI. Společnost DHI se zabývá vývojem a implementací chytrých řešení a technologií pro vodárenství. [12]

Aplikace byla do provozu v Ostravě uvedena v roce 2019 a do dnešní doby je stále rozvíjena. Nejen díky online aplikaci, ale i přičiněním včasného odstraňování detekovaných úniků, ztráty v oblastech zásobovaných SmVaK Ostrava v roce 2021 činily 10.57 %. [12]

Tabulka 4 obsahuje přehled postupného redukování ztrát od roku 2012 do roku 2021.

Tabulka 4: Ztráty vody v trubní síti SmVaK Ostrava v průběhu let [12]

Rok	% ztrát vody v trubní síti z vody k realizaci
2012	19.27
2013	17.61
2014	16.66
2015	16.41
2016	14.34
2017	14.22
2018	14.08
2019	12.42
2020	12.29
2021	10.57

V SmVaK byl dříve využíván výhradně SCADA systém poskytující online informace o minimálních nočních průtocích, jednotlivé distrikty byly hodnoceny pomocí technického ukazatele, jímž je jednotkový únik. Dále probíhala běžná provozní činnost, kterou mimo jiné vykonávali pátrači při preventivním odposlechu armatur, prověřování problematických oblastí a dohledávání úniků vody. Aplikace Monitoring úniků tak má ještě zlepšovat účinnost detekce a následné eliminace míst ztrát ve vodovodní síti. [12]

Vlastnosti aplikace Monitoring úniků

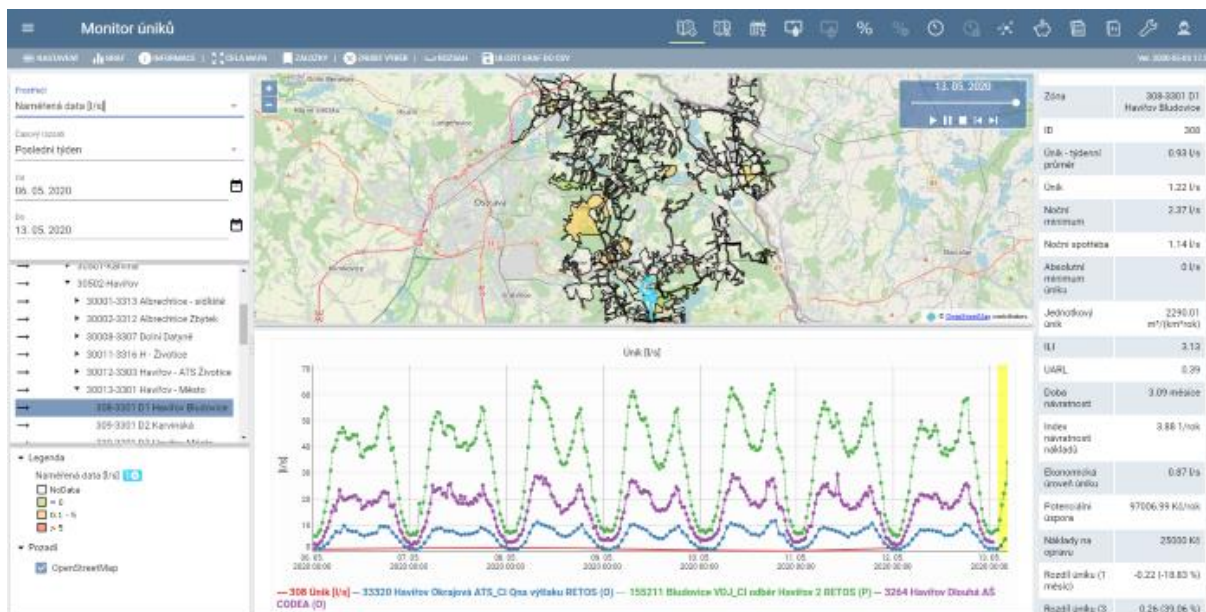
Tento specializovaný software se používá ke sběru dat a vyhodnocování úniků vody na základě výpočtu z průtoků nočního minima. Ve stanovených okrscích (distriktech) se sledují noční nátoky pomocí dispečerského systému, který nám poskytuje naměřená data. Priority v odstraňování jednotlivých úniků určuje ekonomické hodnocení. [12]

Na výběr jsou dva typy rozhraní softwaru – desktopové a webové. Desktopové rozhraní je nainstalováno na serveru SmVaK Ostrava, při čemž na každém ze čtyř provozů mají k softwaru přístup dva administrátoři, jeden dispečer a jeden technik. Tito uživatelé mohou vidět pouze příslušnou databázi týkající se jejich provozu. Přístup k celkové databázi má jedině hlavní administrátor dohlížející na jednotlivé provozy. SmVaK Ostrava má v současnosti pět desktopových licencí – čtyři pro provozy a jednu pro hlavního administrátora. Desktopové rozhraní je určené pro zavádění distriktů, senzorů, nastavování vstupních parametrů, klíčových ukazatelů, k tvorbě struktury a pro správu dat. Pro relevantní vyhodnocení úniku je klíčové správné nastavení vstupních dat. [12]

Ačkoliv druhá varianta – webová aplikace – nijak neomezuje počet uživatelů a po zadání přihlašovacích údajů je dostupná z jakéhokoliv místa s datovým připojením, jejím účelem

Diplomová práce

je primárně umožnění vizualizace dat přehledně uspořádaných v grafech či tabulkách. Zároveň obsahuje uživatelské záložky umožňující přehlednou identifikaci jednotlivých zón a detailní rozbor zobrazených dat. Hlavním nástrojem uživatelského rozhraní je mapa a stromová struktura pro výběr jednotlivých zón. Dalším prvkem je tabulka událostí, v níž se zobrazují detaily událostí (např. úniků) a jejich řešení. Pro zobrazení aktuální funkčnosti zavedených čidel měření v okrcích se používá záložka s tabulkou výpadku senzorů. Záložka s tabulkou limitů zase ukazuje překročení nastavených limitů. Jelikož priority v odstraňování úniků jsou vyhodnocovány na základě ekonomických ukazatelů, nechybí zde ani nástroj s ekonomickým hodnocením pro zobrazení indexu návratnosti nákladů, potencionální úspory a ceny odstranění úniků. Software obsahuje několik nadstavbových funkcionalit, do kterých mimo jiné spadá tvorba alarmů, které vyhodnocují nově vzniklé události či úniky. [12]



Obrázek 6: Ukázka uživatelského rozhraní aplikace Monitoring úniků ze SmVaK Ostrava [2]

Zavádění aplikace do provozu

Samotnému zavedení softwaru předcházela nutnost rozdělit u každého provozu jednotlivé oblasti do distriktů. Optimálně mělo být možné měřit a přenášet data vždy na nátok a do distriktu a následně na odtoku z něj. Vznikl tak strom struktury schémat s popisnými údaji názvů a ID zón. Tato struktura byla řazena ve sledu provoz – středisko – entita – lokalita – distrikt, kdy provoz je na vrcholu pomyslné pyramidy. Jakmile byly oblasti rozděleny na distrikty, bylo k těmto distriktům nutno definovat všechny nátoky a odtoky a jejich vazby na dispečerský systém Retos (data z telemetrických stanic a dálkových odečtů GSM). To znamená, že každému nátoku i odtoku z distriktu bylo přiděleno číslo uzlu, číslo názvu stanice a číslo vstupu, díky čemuž bylo možné vytvořit strukturu v programu a vytvořit vazbu mezi konkrétními distrikty a senzory. Jelikož na mnoha místech nebyla k dispozici telemetrie, bylo nutno z těchto zón zajistit přenosy z měření pomocí dálkových odečtů technologie Codea. [12]

K roku 2022 bylo v systému navedeno 800 distriktů s cca 1050 senzory poskytujícími celkově 110 000 dat za den. K hlavním zdrojům dat pro Monitoring úniků je vhodné zařadit Retos, aplikaci MoNET (GIS) poskytující data o skladbě vodovodní sítě, a také program Smartevod, který zpracovává data z jednotek Codea v systému smartmeteringu. [12]

Během celého procesu zavádění aplikace se objevilo několik překážek, které bylo nutné překonat. První problém vyvstal s výpadky senzorů. Velmi často bylo odhaleno, že k výpadkům dochází z důvodu chybného zavedení do systému, chybného nadefinování senzoru v návaznosti na konkrétní zónu nebo nesprávného odesílání dat v čase. S dalším vývojem se objevily i určité nejasnosti s pokročilejšími funkcionalitami. V reakci na nejasnosti s řadou informací vznikaly manuály základních úkonů k jednotlivým částem aplikace. Manuál obsahuje návod k úkonům jak pro webové, tak pro desktopové rozhraní aplikace. [12]

Přínosy

V aplikaci je možné zobrazit si grafický průběh dat i vizualizaci v časových řadách, grafech nebo tabulkách. Data v kterékoliv z těchto forem je možné exportovat do formátu CSV. Také se dají zobrazit klíčové ukazatele zón (např. jednotkový únik). Aplikace umožňuje sledování všech vyhodnocených událostí, navýšení nebo poklesu událostí či úniku v absolutní či relativní hodnotě. Nástroj nabízí souhrnný přehled celé vodovodní sítě, kde lze odečíst nárůsty úniků, indexy návratnosti, výpadky senzorů nebo překročení limitů a je schopen všechna data z jednotlivých provozů mezi sebou porovnávat. Cílem SmVaK Ostrava je stále zintenzivňovat a posilovat každodenní využívání aplikace. [12]

2.2.5 Plzeň

Společnost VODÁRNA PLZEŇ a. s. provozuje více než 1400 km vodovodní sítě, přičemž zajišťuje dodávku pitné vody pro téměř 250 000 obyvatel. Společnosti se daří během let postupně snižovat ztráty vody ve vodovodní síti. V poslední době jsou za účelem snižování ztrát vody využívány akustické snímače. [26]

VODÁRNA PLZEŇ se ztrátami vody zabývá již několik desetiletí. Měřicí skupina, která se právě snižování ztrát vody věnuje, se v současné době skládá ze 6 zaměstnanců. Od roku 2003 dochází k preventivnímu proměřování vodovodní sítě. Původně byla k proměřování využívána sada akustických snímačů PHOCUS II, postupně byly pořízeny další měřicí přístroje. [26]

V současné době společnost zvládá zkontrolovat přibližně 270 km vodovodní sítě za rok, což délkově odpovídá asi 45 % vodovodní sítě ve městě Plzni. Ročně se tak daří odhalit v průměru 30–40 skrytých poruch. [26]

Tabulka 5: Přehled preventivně proměřených řadů a vývoj objemu ztrát v aglomeraci Plzeň-město [26]

Rok	Délka sítě	Proměřená síť		Počet nalezených poruch		Celkový počet poruch	Ztráty
	[km]	[km]	[%]	prevence	dohledané		[%]
2017	587.9	115.0	19.6	29	195	567	20.4
2018	590.2	224.1	38.0	44	140	499	17.1
2019	591.9	278.1	47.0	40	133	408	13.4
2020	594.7	232.3	39.1	33	124	441	15.2
2021	596.6	215.9	36.2	28	119	373	14.3
2022	598.6	274.3	45.8	35	135	380	11.9

Původní akustické senzory ENIGMA 3M bylo často problematické osazovat a provádět jimi permanentní měření vodovodní sítě z důvodu jejich velikosti. Pro výměnu baterie bylo nutné tyto původní snímače odeslat do servisu, a tím je vyřadit z provozu až na několik týdnů. [26]

Permanentní akustické snímače

Pro eliminaci nedostatků v měření a lepší kontrolu vodovodní sítě byly vybrány dva různé typy akustických snímačů: třicet přístrojů ZONESCAN NB-IoT společnosti Gutermann a dvacet snímačů ORTOMAT-MTC-04G společnosti vonRoll Hydro. [26]

Oba přístroje fungují na podobném principu. Výhodou obou přístrojů je malá velikost umožňující rychlou a snadnou instalaci. Pro hledání možných úniků se využívají noční průtoky na síti s nejnižším odběrem. Přístroje zaznamenávají strukturu hluku a pomocí vysoce citlivého vibračního senzoru kreslí nejjemnější zvuky unikající vody v síti linek. Hlukový záznamník se instaluje pomocí magnetické adaptace do ventilových šachet, hydrantů nebo přímo na vodovodní potrubí. ZONESCAN NB-IoT je světově první záznamník hluku detekující únik vody založený na systému Narrowband Internet of Things⁴ („NB-IoT“). Pro detekci přesného místa úniku využívá systém automatickou korelaci, ke které dochází přímo v cloudu pomocí specializovaného softwaru. Systém vychází ze skutečnosti, že každý zvukový signál je časově synchronizován. Je tak možné data korelovat mezi všemi sousedními senzory a upřesnit tím místo úniku. ZONESCAN NB-IoT využívá vlastní mobilní aplikaci – Zonescan Instal, ORTOMAT-MTC-04G využívá též vlastní mobilní aplikaci – Infraport. Tyto dva přístroje byly podrobeny testování v terénu.[26]



Obrázek 7: Přístroje ZONESCAN NB-IoT (vlevo) a ORTOMAT-MTC-04G (vpravo) [27] [28]

Testování v terénu

Testování přístrojů probíhalo od 19. července do 26 srpna 2022 v plzeňské části Červený Hrádek. Instalace přístrojů nebyla časově náročná i z důvodu jejich kompaktnějších rozměrů, za jeden den bylo možné osadit osmdesát až sto snímačů. [26]

Snímače jsou nastaveny pro měření v době minimálních nočních průtoků, tedy od 2 do 4 hodin ráno. Výsledky jsou k dispozici ihned druhý den po instalaci snímačů. Samotné vyhodnocování

⁴ speciální úzkopásmová síť, která slouží pro přenos dat, právě na ní stojí internet věcí (IoT)

výsledků je pak velmi přehledné: lze je seřadit podle pravděpodobnosti poruchy nebo zobrazit seznam korelací řazených od nejpravděpodobnějšího případu poruchy až po korelační křivky bez poruchy. U aplikace Zonescan Instal se na mapě objevují barevné vektory, které ukazují směrem ke zdroji šumu. V několika případech byla systémy detekována porucha i v místě mimo měřenou oblast. [26]

Chytré vodoměry

VODÁRNA PLZEŇ v rámci neustálého snažení snižování ztrát rozdělila část redukované vodovodní sítě do 23 distriktů definovaných redukcními šachtami. [26]

Pan Petr Štěpán, vedoucí oddělení vodoměrné služby a metrolog společnosti VODÁRNA PLZEŇ a. s. poskytl pro účely DP následující komentář:

„U společnosti VODÁRNA Plzeň a.s. používáme technologii dálkového odečtu pomocí pulsního výstupu z fakturačních a distriktních měřidel, přičemž u rychlostních vodoměrů využíváme dále pak odečtovou hlavu pracující v režimu odesílání stavu pomocí LoRa sítě Města Plzně, anebo NBIOT Plzeň – sever. Vzhledem k problémům při vysílání přes vodu a podobně používáme dělenou verzi, tj. na měřidle je nainstalován pulsní snímač s kabelem 5 m a odečtová hlava je umístěna např. pod víko vodoměrné šachty a podobně. Ze zkušenosti víme, že hlava na měřidle není ideální v případě zatopení a podobně, kdy se výkon minimalizuje. Ze zkušenosti nefandíme úplně vodoměrům např. s integrovaným rádiem a podobně, kde je problém s výkonem vysílání obdobně jak popisují výše. Vodoměry využíváme od společností ITRON a SENSUS typově FLODIS, FLOSTAR, WOLTEX a 420. V koncepci osazení máme síť distriktně v Plzni městě osazenou na lokality a porovnáváme spotřeby fakturované a získané z distriktů, čímž se nám daří lokalizovat lépe a přesněji úseky s rozdíly a ztrátami. Bateriové napájení odečtových hlav u vodoměrů výrobce f. IOT garantuje 12 let tedy 2 cykly nicméně mi jsme se dohodli o použití na 6 let tedy s výměnou vodoměru měníme i odečtovou hlavu. Ohledně distriktů využíváme průtokoměry SIEMENS MAG a SIEMENS tlakové čidla, které buď napájíme opět baterií (není moc žádoucí vydrží max. 1 rok) anebo ze sítě osvětlení což se nám osvědčilo a již máme většinu takto pokrytou. K vyhodnocení využíváme software f. IOT a výstupy pomocí CSV nebo textového souboru přenášeného do našeho ZIS zákaznického informačního systému na bázi ORACLE nebo do fakturačního systému Helios. Ohledně fakturačního měření v následujících 4 letech hodláme osadit na síti cca 12 500 takto snímaných vodoměrů a koncepce je taková, že z 45 tisíc míst které zpravujeme oněch 12 500 míst představuje 90% celkové fakturované vody dodané. Nyní máme osazeno cca 6500 míst.“

2.2.6 Severní Čechy

Severočeské vodovody a kanalizace, a. s. (SčVK) se v současné době věnují problematice snižování ztrát vody ve spolupráci se Severočeskou servisní společností a. s. (SčS). Celková délka provozované vodovodní sítě činí 9 767 km a leží na území Ústeckého a Libereckého kraje. [35]

V průběhu dvaceti let se podařilo snížit objem ztrát vody o 56 %, a to i při rozšiřování provozovaného území a skutečnost, že průměrné stáří vodovodní sítě má rostoucí tendenci. Jedním z parametrů, který je pro vykazování ztrát používán, je jednotkový únik. V severních Čechách se za zmíněných 20 let podařilo snížit hodnotu jednotkového úniku ze 4,89 na 1,64 tis. m³/km/rok. [35]

Základem pro snižování ztrát vody byla systematizace měření a vykazování vody vyrobené, sektorizace vodovodní sítě a instalace distriktního měření pro vyhodnocování bilančních

oblastí. Zároveň bylo zpřesňováno měření vody fakturované a byly ukončovány paušální odběry vody. Byly rozšířeny týmy specialistů-diagnostiků pro dohledávání úniků vody, které byly také vybaveny moderní technikou. V roce 2022 byla za účelem dohledu nad touto problematikou zřízena Komise pro management VNF a ztrát ve vodovodních sítích. [35]

Mezi organizační složky, které zodpovídají za tento proces a soubor činností patří: [35]

- Pořizování naměřených dat
- Zpracování a analýza naměřených dat
- Diagnostika sítě a dohledávání skrytých poruch s úniky vody
- Odstraňování nalezených poruch s úniky

Práce s daty

Pro účely získávání co největšího množství informací o chování sítě je neustále zvyšován počet míst s měřeným průtokem a dálkovým přenosem dat. Zavedení měření systémem Aqualink, který se řeší navrtávkou do potrubí a nevyžaduje budování vodoměrných šachet, zaznamenalo úspěch. Všechna data z měření jsou shromažďována ve SCADA systému. [35]

Dále je využíváno smart meteringu, který byl primárně spuštěn za účelem usnadnění odečtů z fakturačních vodoměrů a pro další zákaznické účely. U velkých odběratelů jsou data z fakturačních vodoměrů získávána v online režimu. V místech, kde jsou k dispozici IoT⁵ sítě, je možné využít smart metering i pro provozní měření. [35]

V řadě velkých měst byl implementován Monitor úniků od společnosti DHI, který umožňuje detekovat pásma potenciálních úniků na síti. [35]

Standardní diagnostika

V současnosti mají SčVK 14 vyškolených specialistů – diagnostiků vodovodní sítě zařazené pod jednotlivé provozy vodovodů, kteří disponují plně vybavenými vozy s diagnostickou technikou. Tato technika slouží pro diagnostiku pomocí elektroakustických metod, jedná se o: [35]

- Půdní mikrofony
- Korelátory
- Systém křížové korelace ENIGMA
- Snímače šumu
- Trasovací přístroje

Jako doplňková metoda je využívána detekce pomocí formovacího plynu (vodíku se směsí s dusíkem při aplikaci s vodou. Tato metoda je vhodná např. pro plastová potrubí, kde se hůře šíří akustický signál poruchy. [35]

Nové diagnostické metody a technologie

Metody byly na provozech testovány v posledních třech letech. Jedná se o: [35]

⁵ Internet věcí (anglicky Internet of Things, zkratka IoT)

- **Systémy permanentní detekce šumu** – Systémy Smart Ear se snímači Ortomat-MTC po instalaci detekují poruchy a automaticky tyto informace přenášejí do cloudu, odkud je možné výsledky zobrazovat v PC nebo mobilních telefonech. Dosavadní výsledky jsou v počtu detekovaných poruch velmi pozitivní, výhodou je i cenová dostupnost.
- **Satelitní systém UTILIS** – Jedná se o systém postavený na principu satelitního snímání zemského povrchu pomocí mikrovlnného paprsku z družice ATERRA. Metoda umožňuje průzkum zvodnělých vrstev do hloubky 2-3 m pod povrch zemského povrchu. Jako testovací oblast bylo vybráno pásmo zahrnující Ústí nad Labem a Teplice. Výstupem průzkumu bylo celkem 60 POI⁶, tedy míst s potenciálním výskytem poruchy, avšak jen na 10 z nich se prokázala porucha. Tyto prokázané poruchy měly navíc jen malou vydatnost, proto byla tato metoda vyhodnocena jako ne zcela efektivní.
- **SmartBall** – Tento nástroj, který se vkládá do potrubí a je unášen vodou, se využívá k detekci úniků a vzduchových kapes v potrubí. Je vybaven akustickým senzorem a další elektronikou, která umožňuje zachytit a následně lokalizovat akustické signály poruch (úniků) z potrubí. Jedná se však o technicky a organizačně náročný proces, a proto nebyl vyhodnocen jako vhodný.

MÍSTO VLOŽENÍ



SMARTBALL SE POSOUVÁ V POTRUBÍ A ZAZNAMENÁVÁ ZVUK

Obrázek 8: Schéma použití nástroje SmartBall (upraveno) [40]

Výcvikový Polygon pro diagnostiky

Výcvikový Polygon pro teoretickou i praktickou výuku a doškolování pracovníků používajících diagnostickou techniku se nachází v Bílině a funguje již 25 let. Pracovníci testují své schopnosti přímo v terénu na uměle vytvořených poruchách. Polygon současně slouží i pro zkoušení nové techniky.

⁶ Point of interest

2.3 ZPŮSOBY VYKAZOVÁNÍ ZTRÁT VODY

Jednou ze základních povinností provozovatelů vodovodních sítí v České republice je sledování a vykazování ztráty vody. Do dnešní doby nebyl stanoven jednotný ukazatel, jímž by bylo povinné se řídit a vykazovat jeho pomocí míru ztrát vody.

2.3.1 Základní ukazatele ztrát vody

Mezi základní ukazatele ztrát vody náleží:

Procento vody nefakturované (% VNF)

Jedná se o jednoduchý poměrový ukazatel mezi množstvím vody nefakturované a vody vyrobené určené k realizaci. Udává, jaká část objemu vody dodaná do systému (VVR) se nedostala ke spotřebiteli (nebyla fakturovaná). [14]

Výpočet je následující [14]:

$$\% VNF = 100 \times VNF/VVR$$

(Rovnice 1)

Kde

% VNF... procento vody nefakturované [%]

VNF... objem vody nefakturované [m³]

VVR... objem vody vyrobené k realizaci [m³]

Tento ukazatel nezohledňuje dimenzionální strukturu vodovodní sítě. Problém může nastat v případě měst, kde by mohlo dojít k situaci, kde by například velký odběratel ukončil činnost a přestal odebírat ze sítě vodu. Jelikož by tímto klesl objem VVR, procento VNF by tím mohlo rapidně stoupnout, aniž by byl ovlivněn objem VNF. [14]

Procento ztrát (% ZV)

Je jednoduchým poměrovým ukazatelem mezi množstvím ztrát vody ZV a vody vyrobené k realizaci VVR. Udává, jaká část objemu vody, dodaná do systému, při odečtení objemu vody pro vlastní spotřebu (VS) a ostatní vody nefakturované (OVNF), se nedostala ke spotřebiteli. [14]

Výpočet je následující [14]:

$$\% ZV = 100 \times ZV/VVR$$

(Rovnice 2)

Kde

% ZV... procento ztrát vody [%]

ZV... objem ztrát vody [m³]

VVR... objem vody vyrobené k realizaci [m³]

Procento ztrát příliš nezohledňuje strukturu vodovodní sítě, stejně jako % VNF. [14]

Jednotkový únik vody nefakturované (JUVNF)

Jednotkový únik je obecně přijímaným ukazatelem, který umožňuje hodnotit různé vodovodní sítě. Představuje objem VNF připadající na 1 km přepočítané délky potrubí na profil DN 150 (Tabulka 6). [14]

Tabulka 6: Koeficienty pro přepočet délky podle DN [45]

DN	koeficient	DN	koeficient	DN	koeficient
60	0.4	250	1.67	600	4.00
80	0.53	300	2.00	650	4.33
100	0.67	350	2.33	700	4.67
125	0.83	400	2.67	800	5.33
150	1.00	450	3.00	900	6.00
200	1.33	500	3.33	1000	6.67
225	1.50	550	3.67	přípojky počet x 10 m	0.20

Výpočet je následující [14]:

$$JUVNF = VNF / L_{přep}$$

(Rovnice 3)

Kde

JUVNF...jednotkový únik vody nefakturované [m³/km/rok]

VNF...voda nefakturovaná [m³/rok]

L_{přep}...přepočítaná délka potrubí [km]

Následně se dle spotřeby zjišťuje, do které kategorie vodovod spadá (Tabulka 7) a zjišťuje se stav vodovodní sítě (Tabulka 8). [14]

Tabulka 7: Kategorie sítě dle spotřeby [14]

Kategorie sítě dle spotřeby	venkovská	0–10 m ³ /km/den
	příměstská	0-30 m ³ /km/den
	městská	> 30 m ³ /km/den

Tabulka 8: Kritéria jednotkového úniku [14]

Kategorie sítě	venkovská	příměstská	městská
	m ³ /km/den	m ³ /km/den	m ³ /km/den
dobrá	< 1.5	< 3	< 7
vyhovující	< 2.5	< 5	< 10
nevyhovující	2.5 < IP < 4	5 < IP < 8	10 < IP < 15
špatná	> 4	> 8	< 15

Hodnota JUVNF přímo indikuje, kolik VVR není efektivně dodáno spotřebitelům a zohledňuje strukturu vodovodní sítě. K vyhodnocení ukazatele je nutná znalost o dimenzionální struktuře vodovodní sítě. Nezohledňuje ale tlak v síti. [14]

Všechny možné použitelné ukazatele ztrátovosti jsou popsány v nové normě ČSN 75 5020 (více v kapitole 2.5.2) jenž byla přijata v říjnu roku 2023.

2.3.2 Vyhodnocení pomocí minimálních nočních průtoků

Minimální noční průtok (dále jen MNP), který je zaznamenán v místě, kde voda vstupuje do vodovodní sítě, je jedním z nejdůležitějších ukazatelů, který umožňuje sledovat ztráty vody v síti. [39]

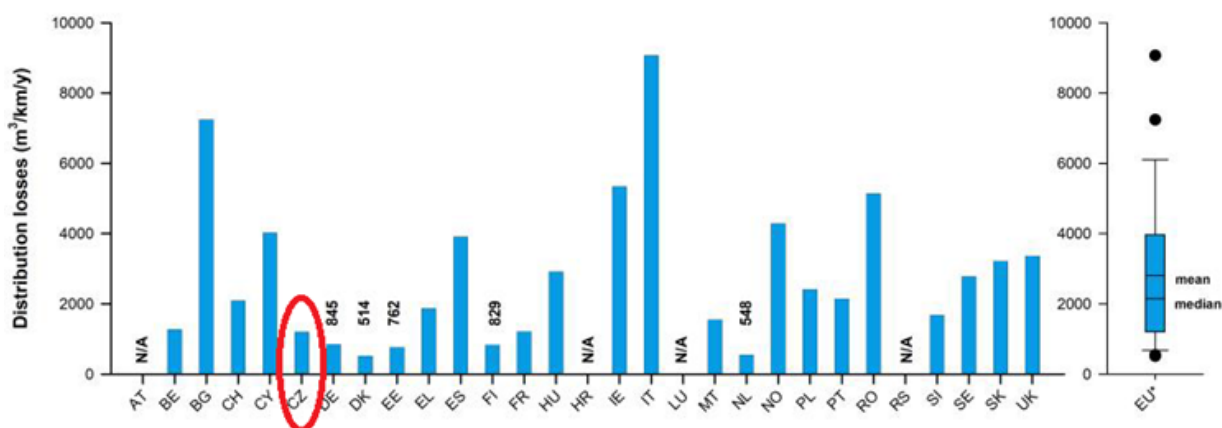
Běžnou praxí vodárenských dispečinků je průběžný monitoring MNP ve vybraných místech sítě, což umožňuje rychle detekovat např. nově vzniklé poruchy s únikem vody. Před zahájením měření průtoků je nezbytná určitá technická příprava měřicího místa a zejména navazující vodovodní sítě, kdy musí být jednoznačně definována zásobovaná oblast a hranice měřicího okrsku. Obecně lze minimální noční průtok definovat jako průtok, který vstupuje do vodovodní sítě v době, kdy je úroveň běžných legitimních odběrů na své minimální úrovni. V období minimálních průtoků, což bývá obvykle v době od 2 do 4 hodin v noci, je možné odhadnout s největší pravděpodobností úroveň jednotlivých složek, které MNP tvoří. [40]

Těmito složkami jsou: [39]

- Běžná noční spotřeba vody
- Skryté úniky
- Úniky způsobené poruchami potrubí

2.4 SITUACE VE SVĚTĚ

Hodnotit ztráty v celosvětovém měřítku je téměř nemožné, jelikož mezi jednotlivými zeměmi světa a jejich situací se zásobováním obyvatel pitnou vodou panují abnormální rozdíly. Například v některých částech Indie dochází z důvodu vysokých teplot k vysychání zásobovacích nádrží. Podobná situace se týká i oblastí USA, jako je například Kalifornie nebo Nové Mexiko, kde se krátí zásoby podzemní vody. [19]



Obrázek 9: Ztráty v síti (m³/km/rok) ve světě

2.4.1 IWA – mezinárodní asociace pro vodu

International Water Association (IWA) přitahuje výjimečné odborníky z více než 140 zemí a sdružuje vědce, výzkumné pracovníky, technologické společnosti, odborníky z vodohospodářských oblastí a širší zainteresované strany zapojené do vodního hospodářství.

Jako největší členská asociace pro globální vodohospodářský sektor byla Asociace založena ve své současné identitě v roce 2000 a staví na 75letém dědictví spojování vodohospodářských profesionálů z celého světa. IWA je mezinárodní reference pro vodohospodářský a sanitární průmysl. [22]

2.4.2 Smart water networks

V roce 2010 bylo založeno fórum SWAN (Smart Water Networks Forum – přední globální centrum pro inteligentní vodohospodářský sektor), které se jedinečným způsobem zaměřuje na zvyšování povědomí a urychlování inteligentních řešení založených na datech v sítích pitné a odpadní vody a srážkových vod po celém světě tím, že sdružuje podobně smýšlející lidi. [30]

Inteligentní řešení v oblasti vodohospodářství zlepšují hlavně efektivitu, životnost a spolehlivost základních fyzického majetku společnosti tím, že lépe měří, shromažďují, analyzují a reagují na širokou škálu síťových událostí. To ovlivňuje všechny aspekty veřejné služby, včetně každodenního provozu, údržby a plánování sítě. Díky těmto znalostem mohou společnosti přesně stanovovat cíle, plánovat investice a řešit problémy, jako jsou úniky, energetická účinnost, dodržování předpisů nebo služby zákazníkům. [30]

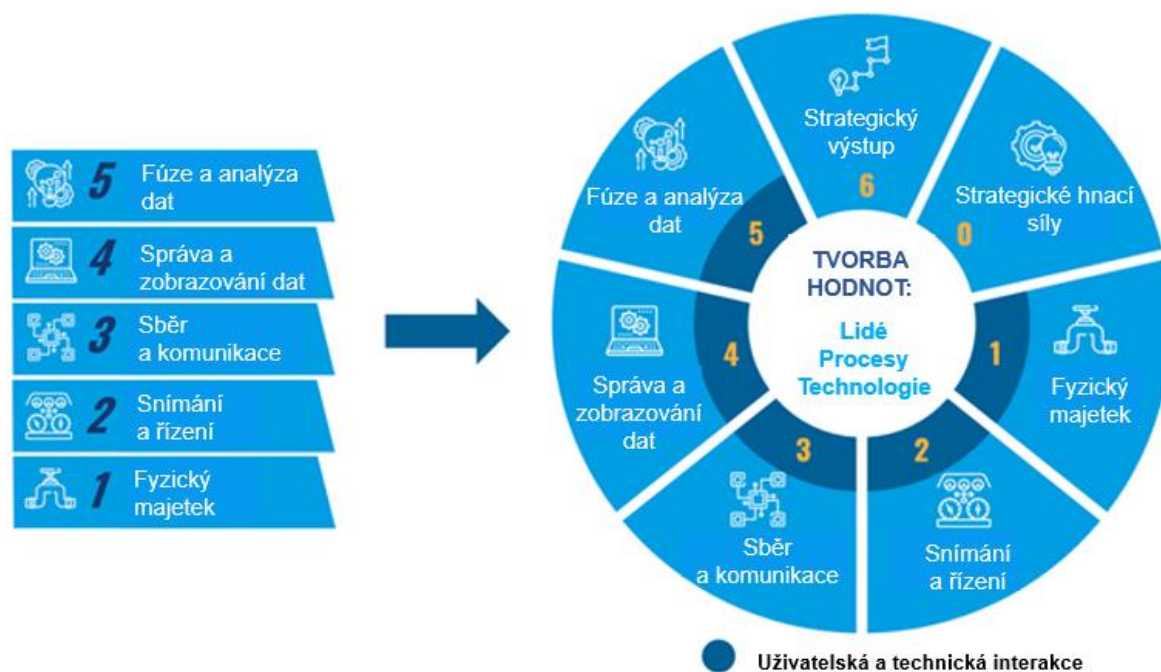
SWAN 5 Layer Model

Při popisu vodohospodářských sítí je vhodné zvolit metodu, u které dochází k rozdělení jednotlivých technologických prvků těchto sítí do vrstev. V roce 2010 byl vyvinut SWAN 5 Layer Model (model 5 vrstev SWAN), který je nyní běžně uváděn po celém světě. Celková síť veřejné služby se může stát inteligentnější přijetím vhodných technologických komponent z každé vrstvy. [30]

- **Fyzický majetek** zahrnuje potrubí, čerpadla, ventily, nádrže a další součásti koncového bodu dodávky.
- **Snímání a řízení** obsahuje zařízení a součásti měřidel, které měří různé parametry, jako je průtok, tlak, šum v potrubí a kvalita vody, a také dálkově ovládaná zařízení, jako jsou dálkově ovládaná čerpadla a regulační ventily. Tato vrstva propojuje inteligenci Smart Water Network se samotnou fyzickou sítí.
- **Sběr a komunikace** obsahuje technologie odpovědné za ukládání a přenos informací. Hlavním úkolem těchto technologií je shromažďovat informace ze vzdálených míst a odesílat je do vyšších vrstev, kde se analyzují a zpracovávají. Pomocí obousměrných komunikačních kanálů jsou pak příkazy předávány zpět do druhé vrstvy, aby daly senzorům a ovládacím prvkům pokyny, které údaje mají shromažďovat nebo které akce mají provést. Součástí této vrstvy je například pevná kabelová síť, rádiová, mobilní, Wi-Fi a další komunikační technologie související s přenosem dat.
- **Správa a zobrazování dat** umožňuje shromažďovat a zpracovávat shromážděná data do informací a následně je propojovat pro lidskou obsluhu prostřednictvím systému řízení a sběru dat (SCADA), geografického informačního systému (GIS) nebo jiných síťových vizualizačních nástrojů. Tato vrstva je také propojena se systémy kybernetické bezpečnosti a nástroji pro podporu obchodních funkcí, jako je správa pracovních objednávek a informační systémy pro zákazníky.
- **Fúze a analýza dat** poskytuje nástroje, které integrují software pro analýzu a modelování dat a využívají komunikační kanály a snímací zařízení v síti. Díky tomu mohou být prováděny úlohy správy sítě na dálku a automaticky, včetně online monitorování kvality vody, automatické detekce úniků, optimalizace čerpadel a dalších. Řešení v této vrstvě mohou dále využívat strojové učení, umělou inteligenci (AI) a funkce digitálního dvojčete, které pomáhají provozovatelům vyhodnocovat potenciální dopady změn v síti, reagovat na ně v reálném čase a zvažovat pravděpodobné scénáře "co kdyby".

Kruhový model SWAN

Z původního pětiúrovňového modelu chytrého zásobování vodou byl v roce 2021 vytvořen novější kruhový model. Zatímco pětivrstvý model bude i nadále existovat a bude poskytovat základní terminologii a pochopení logického toku mezi technickými vrstvami, od fyzických aktiv až po fúzi a analýzu dat, tento nový kruhový model slouží k dalšímu vzdělávání v odvětví zásobování pitnou vodou a přidává důležité prvky podporující pohled společnosti SWAN na cestu k inteligentnímu vodnímu hospodářství: tvorbu hodnot, strategické hnací síly, strategické výstupy a interakce mezi uživateli a technikou. [30]



Obrázek 10: Transformace modelu SWAN na kruhový [30] (upraveno)

Tento kruhový model je tvořen tak, aby odrážel požadavky rychle rostoucí „smart water komunity“ klást větší důraz na klíčovou roli lidského prvku v inteligentních systémech hospodaření s vodou: od způsobu, jakým provozovatelé komunikují a zapojují se do navrhovaných inteligentních řešeních, až po větší transparentnost dat, která jsou zákazníkům lépe dostupná. Model také podporuje pohled na inteligentní systémy z hlediska udržitelnosti a na zvyšování užitku pro společnost, která hospodáří na základech tohoto systému. [30]

2.4.3 Mezinárodní konference Water Loss

Mezinárodní konferenci Water Loss pořádá CzWA jako konferenci IWA v gesci odborné skupiny Water Loss. Tato konference se koná každé dva roky od roku 2001, kdy byla iniciativou doc. Ladislava Tuhovčáka z VUT Brno uspořádána poprvé, právě v Brně. Od té doby se rozrostla na největší akci svého druhu; konference putuje napříč planetou a účastní se jí vždy několik stovek účastníků. [21]

Cílem konference je mimo jiné i sdílení zkušeností z praxe různých společností z různých zemí a společné hledání nejlepších možností, které povedou k minimalizaci ztrát pitné vody. Prezentačními jsou odborníci jak z České republiky, tak ze zahraničí, kteří představují své poznatky a zkušenosti, díky kterým je možné se v odvětví vodního hospodářství stále posouvat dále. [21]

V roce 2022 byla konference pořádána v Praze. Následuje výběr z odborných přednášek, které na konferenci zazněly:

Nizozemsko a společnost Vitens

Společnost Vitens je největší vodárenskou společností v Nizozemsku. Vitens pokrývá pět provincií a má 5.8 milionu zákazníků, 2.5 milionu přípojek a přibližně 50 000 kilometrů vodovodních sítí. Oblast zásobování vodou představuje systém s převážně plastovým potrubím. Průměrný tlak v síti se pohybuje v rozmezí 29 až 35 m v. s. V celé vodovodní síti byly tlaky optimalizovány hlavně díky pokročilejšímu modelování sítě. [5] Ztráty vody v Nizozemí činí v průměru asi 3–8 %. [4]

Voda nefakturovaná (dále jen VNF) je již nyní na velmi nízké úrovni. Podnětem pro další investice do monitoringu ztrát vody je zaměření společnosti Vitens na udržitelnost v kombinaci s nedostatkem nových zdrojů podzemní vody v regionu. Snížení skutečných ztrát v rozsáhlém otevřeném, plastovém a nízkotlakém systému je poměrně nelehkou výzvou, jelikož zde jinak osvědčené nástroje jako je akustická korelace nefungují. Implementace měrných okrsků (MO) je považována za příliš nákladnou. Za nejlepší cestu vpřed byl považován čistě objemový přístup k aktivní detekci úniků v co nejmenších zónách, kombinovaný např. s metodou zvanou „Step testing“ (tato technika vyžaduje použití řady krátkých kroků izolace úseků potrubí postupným uzavíráním ventilů potrubí) a také satelitní lokalizací úniků, následovaný podrobným pokročilým modelováním sítě a intenzivním výzkumem půdních mikrofonů pro přesnou lokalizaci úniků v prioritních zónách. [5]

Výchozím bodem pro aktualizovaný program monitoringu ztrát vody byly nové audity vody. Společnost Vitens používá metodiku AWWA M36 spolu se softwarem AWWA Free Water Audit Software v6.0 pro vypracování standardní roční vodní bilance. Audity vody byly vypracovány pro vodárenskou společnost jako celek a pro každý z deseti provozů společnosti, které zahrnují celkem 80 oblastí a celkem 189 zón. Pomocí poštovních kódů v přesném GIS programu bylo možné přesně rozdělit jak dodanou pitnou vodu, tak i vodu fakturovanou celkem (dále jen VFC). Všechny ostatní potřebné údaje byly zjištěny v databázích veřejných služeb. [5]

Výsledky vodohospodářského auditu byly využity pro určení prioritních zón pro snížení zjevných ztrát nebo pro cílené zjišťování úniků, a to v zónách s nejvyššími skutečnými ztrátami v kombinaci s omezenou zásobou vody. Aktualizovaný program kontroly ztrát vody byl vypracován v roce 2021, mimo jiné prostřednictvím pilotního ověřování nových a inovativních technologií a přístupů. Tyto pilotní projekty zahrnují přezkoumání průtokoměrů velkého průměru, inteligentní měření, optimalizaci proplachování sítě, zřízení specializovaného týmu pro detekci úniků, pokrok v oblasti vysoce kvalitního modelování a analýzy sítě, zlepšení kvality dat a pokrok v oblasti monitorování dodané pitné vody a fakturované povolené spotřeby. Kromě toho se pro nové technologie a přístupy aktualizují související interní procesy a postupy. Součástí aktualizovaného programu je katalog s aktivitami v oblasti snižování spotřeby pitné vody, který společnosti Vitens umožní standardizovat osvědčená opatření pro snižování spotřeby v celé oblasti služeb. [5]

Společnost Vitens je přesvědčena, že tento program kontroly ztrát vody umožňuje pokračovat v požadované úrovni služeb, a to tak, že nejpozději v roce 2030 téměř eliminuje ztráty vody. [5]

Chytré vodoměry v Jordánsku

Jordánský vodohospodářský sektor se vyznačuje vážným nedostatkem vody v důsledku nižšího množství srážek, růstu počtu obyvatel a nedostatečného hospodaření s vodními zdroji. Podle zdrojů z roku 2014 [7] dosahovaly ztráty vody v Jordánsku až 50 %. Nízké ceny vody, vysoké

dotace a značné procento nedostatečně fungujících vodoměrů jsou hlavními příčinami nepřicházejícího zlepšení přístupu uživatelů. Nepřesnosti vodoměrů jsou navíc považovány za podstatnou část ztrát vody a při přerušovaném zásobování vodou se životnost a přesnost vodoměrů rychle zhoršuje, jak se stalo v Jordánsku. Vodárenské společnosti v Jordánsku jsou přesvědčeny, že používání vysoce přesných vodoměrů pomůže zlepšit jejich provoz a zvýšit příjmy. Mělo by také dojít ke zvýšení odpovědnosti zákazníků za spotřebu vody. [6]

Bylo tak provedeno srovnání mechanických a ultrazvukových vodoměrů pro zjištění možné efektivity a potřeby výměny starých mechanických vodoměrů právě za přesnější ultrazvukové. Celý proces probíhal tak, že na vybraných domovních přípojkách byly nainstalovány nové ultrazvukové inteligentní vodoměry, a poté byla vyhodnocena nepřesnost odečtů mechanických vodoměrů s využitím porovnání odečtů inteligentních vodoměrů s mechanickými vodoměry na každé domovní přípojce. Byl rovněž analyzován přínos možné opravy stávajících mechanických vodoměrů pomocí pozorování týkajících se: odečtů z vodoměrů v průběhu času, typu vodoměrů a pozorování v terénu zaznamenaných týmem Miyahuna. [6]

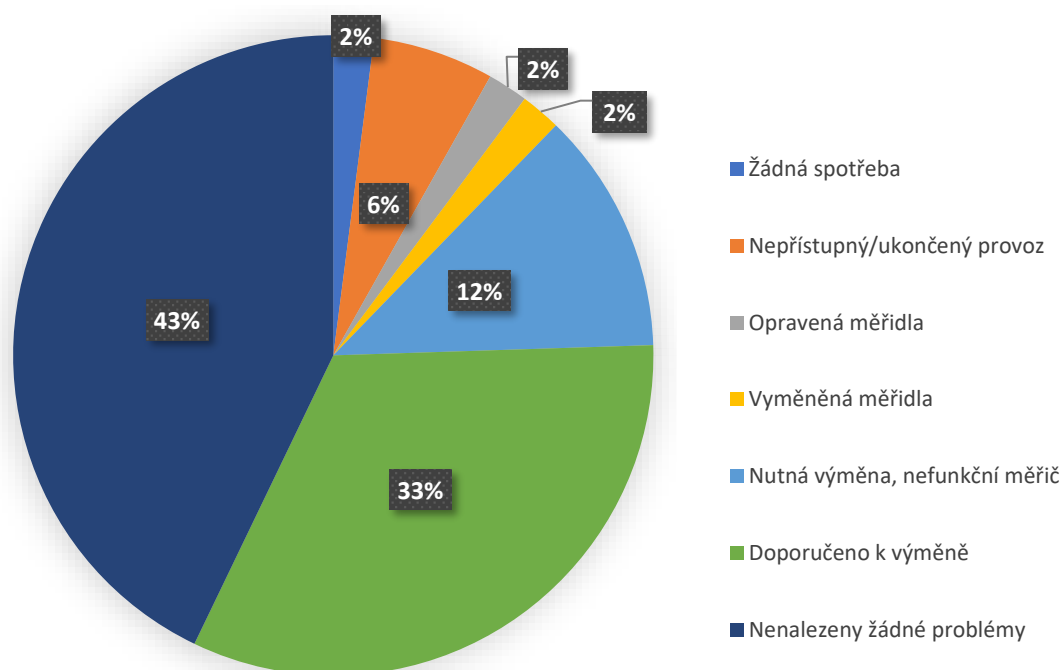
Výzkum probíhal v oblasti Hai Al-Nasser v Ammánu, která má přibližně 1 650 aktivních zákazníků s 356 domovními přípojkami. Celkem bylo instalováno 419 inteligentních vodoměrů. Vzhledem k omezené dostupnosti určitých velikostí inteligentních vodoměrů v Miyahuně, bylo nutné na některé domovní přípojky, které mají vysokou spotřebu, instalovat více než jeden inteligentní vodoměr. Obrázek 11 zobrazuje rozmístění vodoměrů, kde jednotlivé body představují chytré vodoměry instalované na přípojkách. Různé barvy znamenají různý počet vodoměrů instalovaných na jedné přípojce. Modrá barva znamená jeden přístroj, zelená dva, červená 3 a fialová barva znamená 4 přístroje na jedné přípojce. [6]



Obrázek 11: Mapa počtu inteligentních měřičů instalovaných pro každou domovní přípojku [6]

V rámci výzkumu byl vypracován seznam podezřelých mechanických vodoměrů, které bylo třeba prošetřit a ověřit na místě – vykazovaly totiž anomálie, mezi něž patří: 1) žádná spotřeba, 2) ukončený provoz, 3) záporné hodnoty ve srovnání s předchozím odečtem, 4) nefunkční měřidlo, 5) odečet nelze provést z důvodu kapek vody uvnitř měřidla a 6) podezření na nezákonné použití. [6]

Celkový počet těchto případů byl 49 a všechny byly zkontrolovány a prověřeny týmem Miyahuna, což vedlo k nápravným opatřením, jak je shrnuje Obrázek 12. Procento těchto případů z celkového počtu měřičů je 2,7, což je považováno za nevýznamné a mělo minimální vliv na zlepšení VNF i na zlepšení přesnosti zákaznických měřičů. Měřičů určených k výměně bylo zjištěno 1,2 %. Šest měřičů bylo nefunkčních a bude vyměněno, což představuje přibližně 16,74 m³/týden. [6]



Obrázek 12: Shrnutí prověření podezřelých vodoměrů [6]

Došlo k sérii celkem 3 měření na základě odečtů z vodoměrů. Odečty byly jak u mechanických, tak u chytrých ultrazvukových vodoměrů, provedeny ručně pro co největší přesnost (hlavně u mechanických vodoměrů). Získané údaje byly ověřeny a očištěny, aby se předešlo zavádějícím výsledkům. Pro analýzu byly vzaty v úvahu pouze domovní přípojky s úplnými a konzistentními odečty. [6]

Výsledky ukazují nedostatečnou registraci u přibližně 10,6-11,7 % celkového spotřebovaného množství, jak je shrnuto v tabulce (Tabulka 9). Pro ověření, zda lze chybu považovat za systematickou, či náhodnou, byl vypočten koeficient determinace mezi mechanickými/chytrými odečty. Analýza ukazuje více než 0,85, což svědčí o systematické chybě, nikoli o chybě lidské nebo náhodné. [6]

Tabulka 9: Shrnutí výsledků měření [6]

Číslo měření	1	2	3
Datum prvního odečtu	01.11.2020	14.12.2020	31.01.2021
Datum druhého odečtu	14.12.2020	01.01.2021	07.02.2021
Počet vodovodních přípojek	69	56	248
Počet chytrých vodoměrů	89	70	355
Počet mechanických vodoměrů	328	254	1462
Objem naměřený chytrými vodoměry [m ³]	4970	2063	4440
Objem naměřený mechanickými vodoměry [m ³]	4397	1845	3949
Koeficient determinace [R ²]	0.92	0.87	0.91
Rozdíl v měření [m ³]	-573	-218	-490
% nepřesnosti vodoměrů	11.53%	10.56%	11.05%

Z měření jednoznačně vyšlo, že mechanické vodoměry byly ve srovnání s novými ultrazvukovými vodoměry nepřesné. [6]

Provozní podmínky, potíže s dodržením požadavku na instalaci mechanických měřidel a naproti tomu delší životnost a udržitelný výkon ultrazvukových měřidel poskytují jordánským vodárenským společnostem jasný výsledek, a to budoucí upřednostňování chytrých vodoměrů před původními mechanickými. [6]

Austrálie a umělá inteligence

V Austrálii podle zdrojů z roku 2017 [8] činily ztráty vody v průměru asi 10 % (počítáno jako % VNF).

V Melbourne, hlavním městě australského státu Victoria a zároveň druhém největším městě v zemi, byla společností Detection Services pro kontrolu záznamů pořízených akustickými snímači šumu vyzkoušena umělá inteligence. Zkouška trvala 8 měsíců a jejím cílem bylo zjistit účinnost a výhody oproti manuálnímu přezkoumání dat z akustických snímačů šumu před tím, než se na místo dostaví technik pro aktivní detekci úniku. [9]

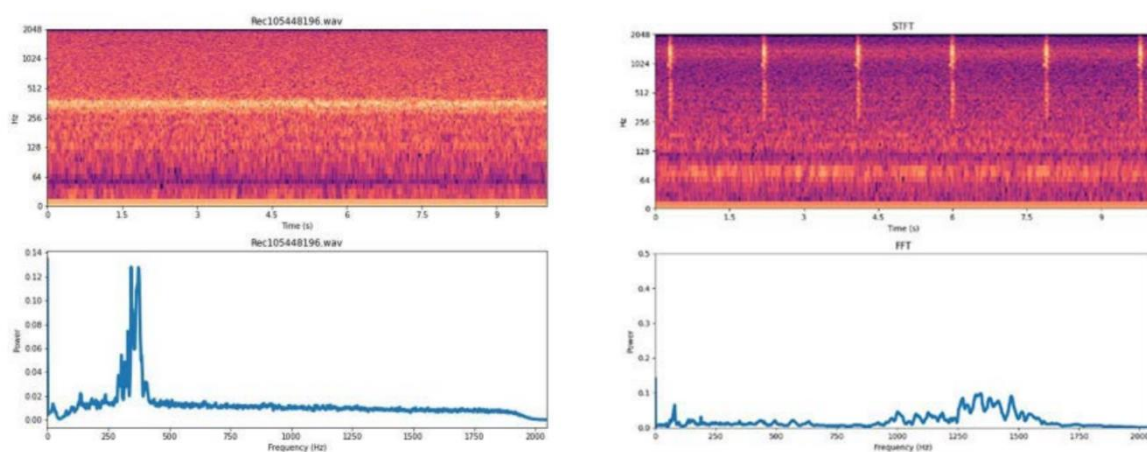
V centru Melbourne společnost nainstalovala 50 akustických snímačů šumu. Jedná se o rušné prostředí s výškovými budovami a spotřebou vody v pozdních nočních (a časných ranních) hodinách s mnoha bary a restauracemi. [9]

Na ventily a podzemní hydranty byly rozmístěny snímače šumu, které byly nastaveny tak, aby snímaly šum ve 2 a 3 hodiny ráno a v případě detekce šumu byl tento šum zaznamenáván ve 4 hodiny ráno. Jedná se o dobu nejnižšího odběru, kdy bývá tlak v síti nejvyšší. Z těchto měření postupně vznikla série záznamů. [9]

Zpočátku umělá inteligence zařazovala většinu zaznamenaných šumů do kategorie potenciálních úniků, což vedlo k četným šetřením a přezkoumáváním snímačů na místě, často opakovaně. Problémem bylo, že zvuky prostředí rušného města byly často mylně zaměňovány za šum. Umělá inteligence má však schopnost se učit, a proto jí bylo poskytováno co nejvíce souborů se záznamy, kde byl opravdu zaznamenán šum. [9]

S postupným vylepšováním modelu umělé inteligence se přesnost předpovědi úniků umělou inteligencí rychle zvyšovala. Počet upozornění se snížil z 10-20 týdně na jedno nebo dvě upozornění za několik týdnů. [9]

Umělá inteligence byla později schopná rozlišit šum z úniku za falešný šum (Obrázek 13)



Obrázek 13: Rozdíl mezi detekovaným únikem (vlevo) a falešným šumem (vpravo) [9]

Byly provedeny testy systému detekce úniků, aby se potvrdilo, že umělá inteligence dokáže zachytit existující úniky, které byly lokalizovány a nebyly opraveny. Bylo zjištěno, že některé z menších úniků nebyly akustickými snímači zachyceny a byly by nalezeny pouze aktivní detekcí úniků – šum byl příliš slabý na to, aby se dostal do místa, kde se nachází snímače. [9]

S tím, jak se zvyšovala důvěra v upozornění na únik pomocí umělé inteligence, se čas na přezkoumání záznamů omezil na záznamy, které umělá inteligence sama určila jako úniky. Tím vznikl kratší seznam záznamů vyžadujících kontrolu na místě a výrazně se snížilo manuální úsilí a čas strávený přezkoumáváním souborů. Kromě toho umělá inteligence vyřadila mnoho falešně pozitivních upozornění na únik, čímž ušetřila pracovníkům čas. [9]

Termohydraulické modely ve Velké Británii

Ve Velké Británii se detekce úniků prováděla především pomocí akustických metod. To bylo za dobrých podmínek velmi účinné. Vyhledávání netěsností v celém sektoru pomocí akustických metod je však časově náročné, nákladné a neodhalí všechny netěsnosti.

Novým způsobem, jak detekovat a lokalizovat úniky s větší přesností, je vysoce přesné měření teploty na stěnách potrubí. Rozmístěním několika snímačů teploty na vnější straně potrubí v distribučním systému lze zúžit možné úniky na malou oblast, kterou lze poté podrobně prohledat s nižšími náklady a s větší úspěšností. Patentově chráněná metoda a systém se nazývá Street Level Sensing, slovo „Street“ neboli ulice, poukazuje na zaměření na lokalizaci úniků v rámci jednotlivých ulic.

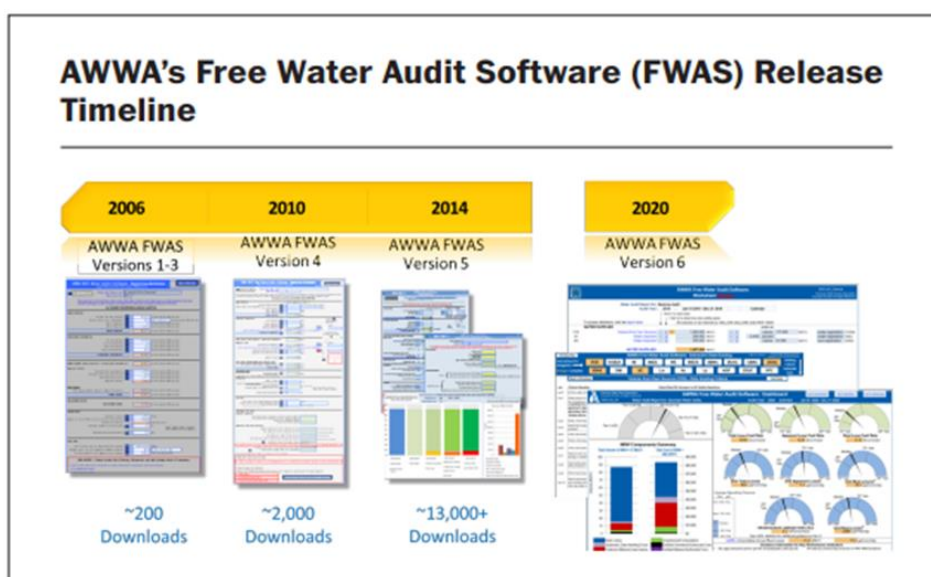
Tato metoda má řadu výhod a přínosů, protože například funguje v nízkotlakých distribučních systémech, kde není dobře rozpoznatelný šum způsobený úniky, dále zmenšuje oblast, kterou je třeba prohledat čímž šetří čas prohledávání dané oblasti a tím snižuje náklady na detekci. Jelikož jsou tímto přístupem nové úniky lokalizovány ihned, když se objeví, lze je snadno integrovat do monitorovacího systému.

Pro provedení této metody je potřeba vytvořit jednoduchý termohydraulický model sítě, který slouží k určení optimálního umístění sady komunikujících a vysoce přesných snímačů teploty. Ty jsou rozmístěny v určitých intervalech (obvykle 500 metrů až 2 km) v distribuční síti a měří teplotu vně vodovodní sítě v intervalu několika sekund. Měření se opírá o principy přenosu tepla při proudění vody v potrubí: teplo se pohybuje mezi vodou, potrubím a zemí a zeminou obklopující potrubí. Voda přijímá a zase uvolňuje teplo v důsledku ztrát třením, vodivostí

a turbulentním mícháním uvnitř vodního tělesa. Při průchodu vody sítí vznikají charakteristické průběhy teploty, které jsou závislé na průtoku. Tyto charakteristické průběhy se použijí pro vytrénování neuronové sítě pro předpověď teplot v každé lokalitě na základě obvykle dvoutýdenních teplotních dat. Pokud již v potrubí existuje netěsnost, dojde k narušení teplotního vzorce předvídatelným způsobem, který lze využít k lokalizaci netěsnosti pomocí matice citlivosti odvozené z termohydraulického modelu. Přesnost je několik set metrů.

Software v Severní Americe

V Severní Americe byl vyvinut software společnosti WWA pro bezplatný audit vody (FWAS) a uznán jako standartní nástroj pro provádění auditu vody shora dolů podle příručky AWWA M36, auditu vody programy kontroly ztrát. FWAS byl poprvé publikován v roce 2006, s přibližně 200 staženími v průběhu prvních čtyřech let (Obrázek 14). Verze před rokem 2020 (v5.0) byla vydána v roce 2014 a byla stažena více než 13 000krát, což odráží značný zájem o téma o auditu vody a kontroly ztrát v Severní Americe za poslední dekádu.

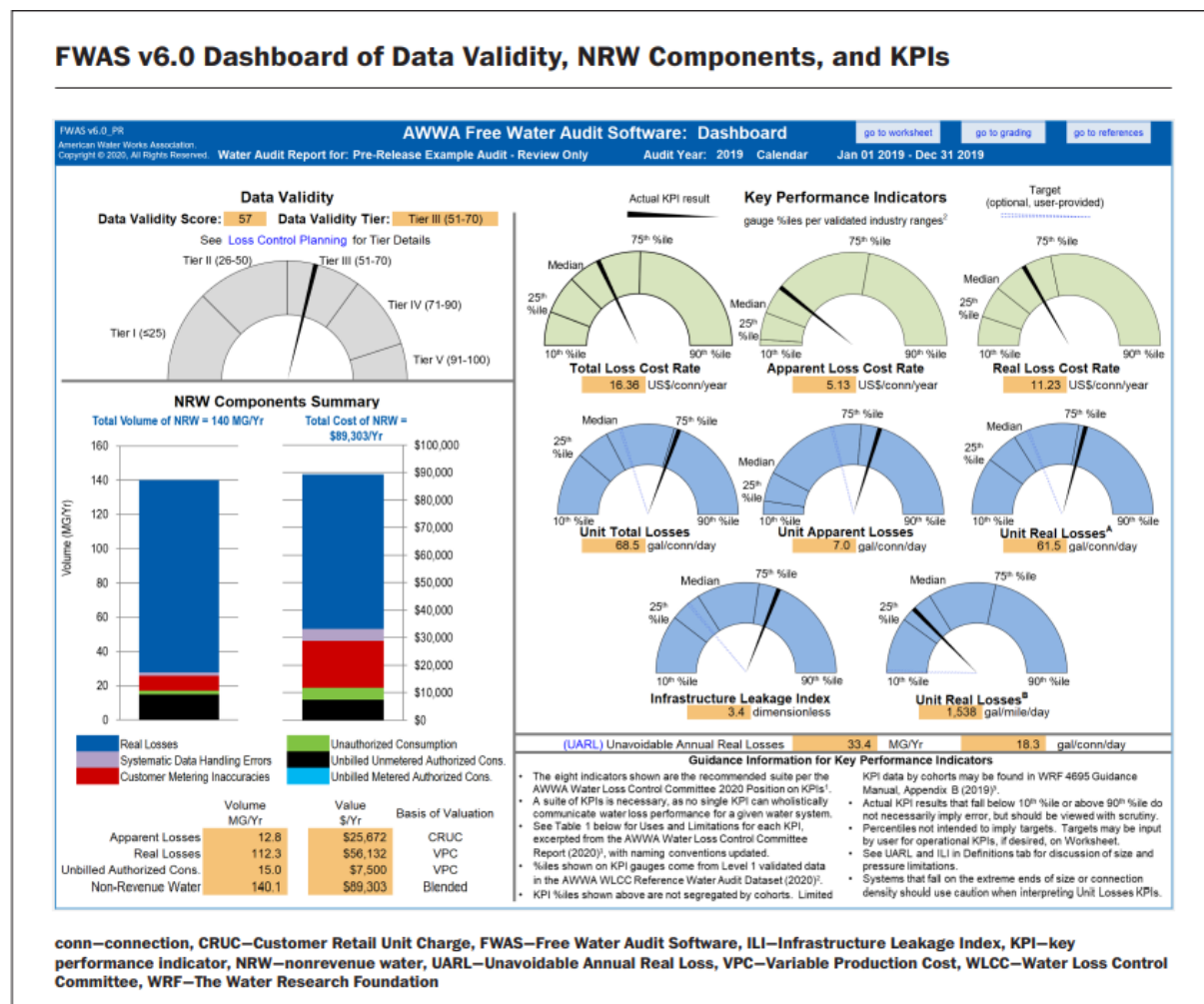


Obrázek 14: Vývoj softwaru FWAS v čase

Vydání z roku 2020, poslední verze FWAS (v6.0) byla vyvrcholením přibližně tří let vývojových aktivit výboru pro kontrolu ztrát vody společnosti AWWA, konkrétně podvýboru softwaru, který začlenil recenze z komentářů nejméně 1000 uživatelů a zahrnoval vyhrazená období vývoje testování.

Kromě obecných vylepšení, podvýbor softwaru stanovil následující cíle návrhu systému FWAS v.6.0:

- Vhodné pro různé velikosti vodovodních systémů a úrovně zkušeností auditora
- Zahrnout dostatek parametrů a detailů vodního auditu tak, aby byl systém efektivní a zároveň uživatelsky přívětivý, časově nenáročný.
- Odstranění subjektivních prvků v matici třídění dat
- Minimalizace variability mezi verzemi FWAS v5.0 a FWAS v6.0, při stejných vstupních podmínkách



Obrázek 15: Grafické zobrazení platnosti dat na přístrojovém panelu

Při vývoji verze v6.0 padlo mnoho rozhodnutí ohledně zvážení různých cílů a určení nejlepší rovnováhy, která by přesně sloužila co nejvíce uživatelům. Ostatní státy testují nebo zavádějí pilotní programy využívající metodu AWWA. Tato úroveň aktivity poskytuje nedocenitelné podněty od všech uživatelů v celé Severní Americe, které budou činit FWAS v6.0 ještě výkonnějším nástrojem pro práci s informacemi o systému vodárenství. Provádění ročního auditu vody pomocí systému FWAS je všeobecně uznáváno jako osvědčený postup pro všechny vodárenské společnosti bez ohledu na jejich velikost nebo region. Zodpovědnost předchází efektivitě a klíčové ukazatele výkonnosti (KPI) ze systému jsou zásadní pro informování o programových aktivitách v oblasti kontroly ztrát vody a zpětného získávání příjmů. Nový vývoj a zlepšení v systému FWAS v6.0 pomohou novým uživatelům lépe začít pracovat a pokročilým uživatelům pomohou získat nové poznatky do výkonnosti jejich vodárenských systémů. AWWA FWAS bude i nadále pomáhat společnostem, regulačním orgánům a konzultantům prohloubit jejich znalosti o vodních zdrojích, postupů při ztrátách vody a ukazatelů výkonnosti.

2.5 ZPŮSOBY VYKAZOVÁNÍ ZTRÁT VE SVĚTĚ

Ztráty vody jsou jak v českém, tak i ve světovém měřítku vykazovány různě. Není dán jednotný ukazatel, který by reprezentoval ztráty vody v dané oblasti. Jedním z mnoha důvodů je například různorodost systémů zásobování vodou v jednotlivých zemích. Řada zahraničních společností vykazuje svoje ztráty pomocí hodnoty ILI.

2.5.1 Infrastructure leakage index (ILI)

ILI neboli Infrastructure leakage index bývá česky překládaný jako Index infrastrukturní ztrátovosti vodovodní sítě. Autorem je Alan Lambert (UK).

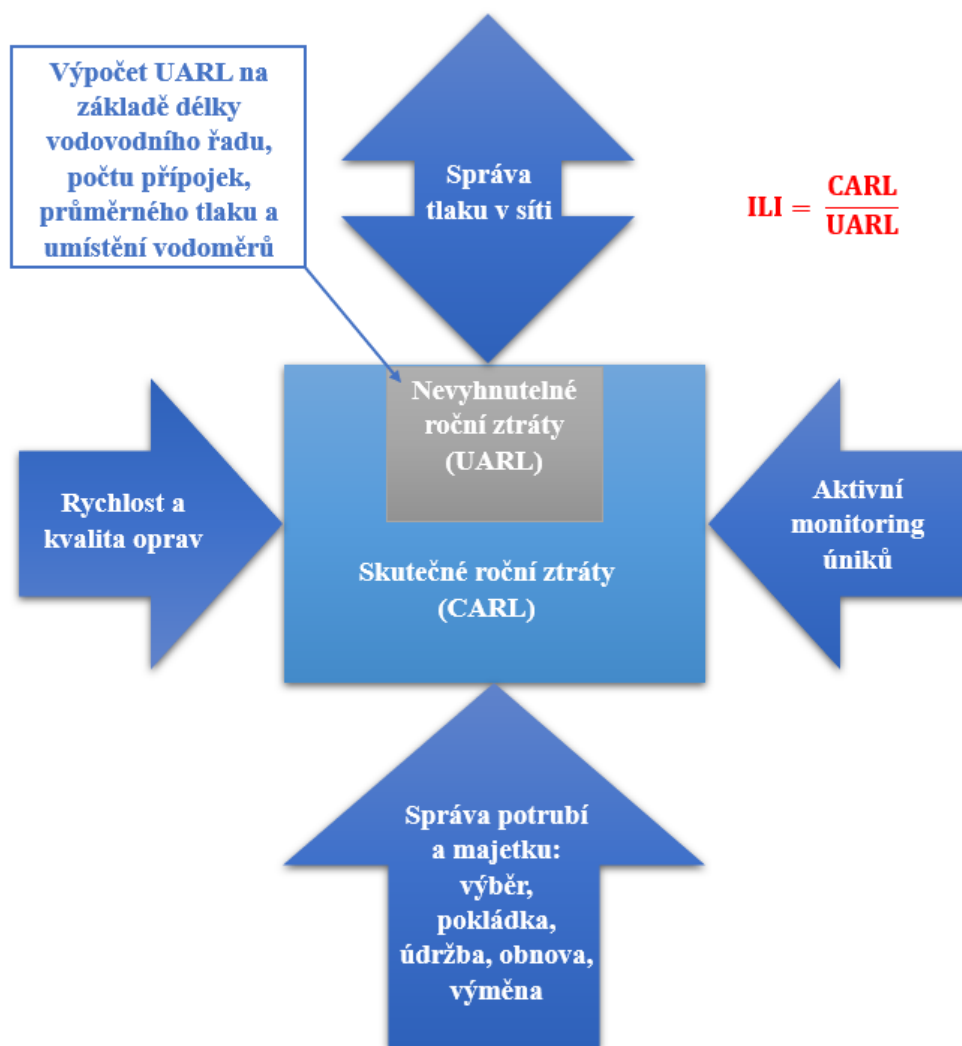
Alan Lambert na podporu lepšího otevřeného přístupu k pracovníkům v praxi založil v roce 2013 webové stránky LEAKSSuite⁷, které poskytují snadno dostupné bezplatné informace o efektivním řízení úniků vody a tlaku ve veřejných vodovodních systémech s využitím osvědčených praktických konceptů. Do jara 2019 k němu mělo přístup 40 000 uživatelů ve 175 zemích, kteří si prohlédli více než 200 000 stránek. Skupina IWA pro ztráty vody vytvořila v roce 1999 nevyhnutelné roční ztráty (UARL) a ILI jako jediné ukazatele speciálně navržené pro národní a mezinárodní porovnávání účinnosti technického řízení skutečných ztrát. [42]

Tradiční ukazatele výkonnosti (na km rozvodné sítě, na servisní přípojku, na nemovitost) jsou podle IWA pro smysluplná srovnání často zavádějící; % jsou vždy). Naproti tomu UARL a ILI náležitě zohledňují klíčové parametry specifické pro systém – velikost systému, hustotu přípojek, umístění měřidel, průměrný tlak – a vytvářejí tak "rovné podmínky". Výkonnost utilit v oblasti řízení NRW a skutečných ztrát je ve většině zemí mimořádně citlivou otázkou. Některé utility přijímají výzvy s otevřeností, jiné se raději účastní srovnávacích cvičení pouze tehdy, pokud je možné chránit jejich anonymitu; často proto, aby mohly identifikovat případné nedostatky a získat návod, jak zlepšit svou výkonnost. [42]

Tabulka 10: Členění IWA – Water balance [kniha]

Celkový objem vody vstupující do systému	Oprávněná spotřeba vody	Fakturovaná oprávněná spotřeba vody	Fakturovaná měřená spotřeba voda (včetně vody předané)	Voda fakturovaná	
			Fakturovaná neměřená spotřeba voda (paušály, náhradní výpočty)		
	Ztráty vody	Nefakturovaná oprávněná spotřeba vody	Neplacená měřená spotřeba vody	Voda nefakturovaná	
			Neplacená neměřená spotřeba vody		
	Ztráty vody	Zdánlivé ztráty			Neoprávněné (černé) odběry
					Chyby měření, nepřesné měření
		Skutečné ztráty vody (CARL)			Úniky na příváděcích řadech a na řadech rozvodné sítě
			Úniky a přepady ve vodojemech		
			Úniky na přípojkách (po vodoměr)		

⁷ www.leakssuitelibrary.com



Obrázek 16: Faktory ovlivňující hodnotu IRI [39]

Výpočet IRI

Vyjadřuje podíl skutečných ztrát (CARL) a teoreticky nevyhnutelných ztrát (UARL). Obě tyto hodnoty vychází z bilančního schématu IWA (International Water Association) a udávají se v jednotkách l/přípojka/den. Podílem těchto hodnot je bezrozměrný index pohybující se od hodnoty 1 nahoru – čím nižší index, tím je lepší stav provozované sítě. [14]

Výpočet je následující [14]:

$$IRI = SZ/TNZ$$

(Rovnice 4)

kde

IRI...Infrastructure leakage index [-]

SZ...skutečné ztráty [l/přípojka/den]

TNZ...teoreticky nevyhnutelné ztráty [l/přípojka/den]

Teoreticky nevyhnutelné ztráty (TNZ)

Teoreticky nevyhnutelné ztráty jsou ovlivňovány provozně – technickými parametry, jako např. délkou vodovodní sítě a počtem přípojek. Jedná se o ztráty, se kterými je nutné v dané síti počítat a nelze je úspěšně redukovat nezměníme-li provozně-technické parametry sítě.

TNZ lze odečíst z příslušné tabulky [45] na základě počtu přípojek na km sítě a průměrného provozního tlaku v kPa, nebo je možný výpočet.

Závisí na:

- **Hustotě přípojek** – nemělo by se používat pro systémy, kde je hustota přípojek menší než 20 přípojek na 1 km řadu
- **Průměrném provozním tlaku** – průměrný tlak za 24 h

Výpočet je následující [14]:

$$TNZ = 18 \times L_m + P \times N_s \times (0.8 + 25 \times L_p) / 1000$$

(Rovnice 5)

kde

L_m ...délka vodovodních řadů [km]

P ...průměrný provozní tlak [m v. sl.]

N_s ...počet vodovodních přípojek

L_p ...průměrná délka vodovodní přípojky po hranici pozemku [m]

Abychom zjistili průměrný provozní tlak P , je nutné vyhodnotit všechna tlaková pásma. [14]

Orientační stanovení ILI

Podle vyhodnocení dat z let 1997 až 2004, které bylo provedeno pro 44 vodárenských společností v České republice, bylo možné odvodit vztah pro orientační stanovení ILI, známe-li hodnoty jednotkových úniků vody na přípojkách.

Výpočet je následující:

$$ILI = 0.016 \times VNFP + 0,19$$

(Rovnice 6)

kde

$VNFP$... voda nefakturovaná na přípojku [l/přípojka/den]

Voda nefakturovaná na přípojku

Ztráty vody na přípojku se vypočtou jako podíl celkového množství vody nefakturované (VNF) a počtu vodovodních přípojek.

Výpočet je následující:

$$VNFP = \frac{VNF \times 10^3}{PP \times 365}$$

(Rovnice 7)

kde

VNF... voda nefakturovaná [m³]

PP... počet přípojek [ks]

Odvození vztahu JUVNF a ILI

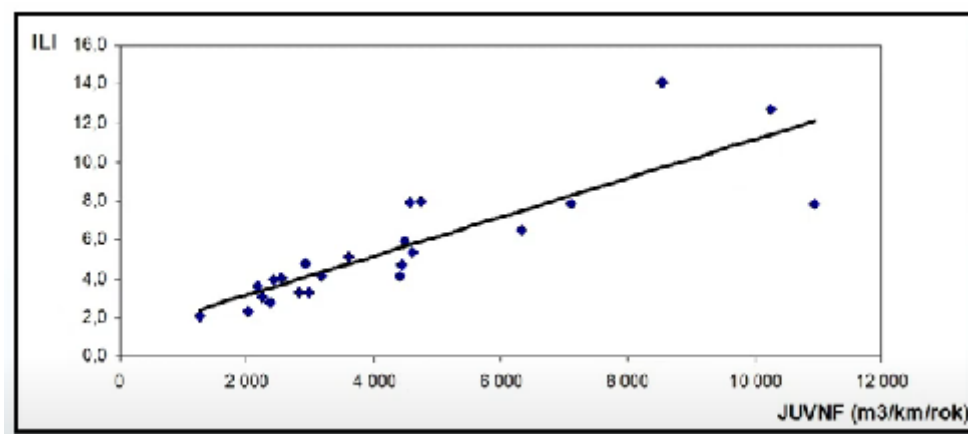
Na základě výzkumu v ČR byl odvozen vztah pro JUVNF a ILI, který může sloužit k orientačnímu stanovení hodnoty ILI: [14]

$$ILI = 1.14 + 0.001 \times JUVNF$$

(Rovnice 8)

kde

JUVNF... jednotkový únik vody nefakturované [m³/km/rok]



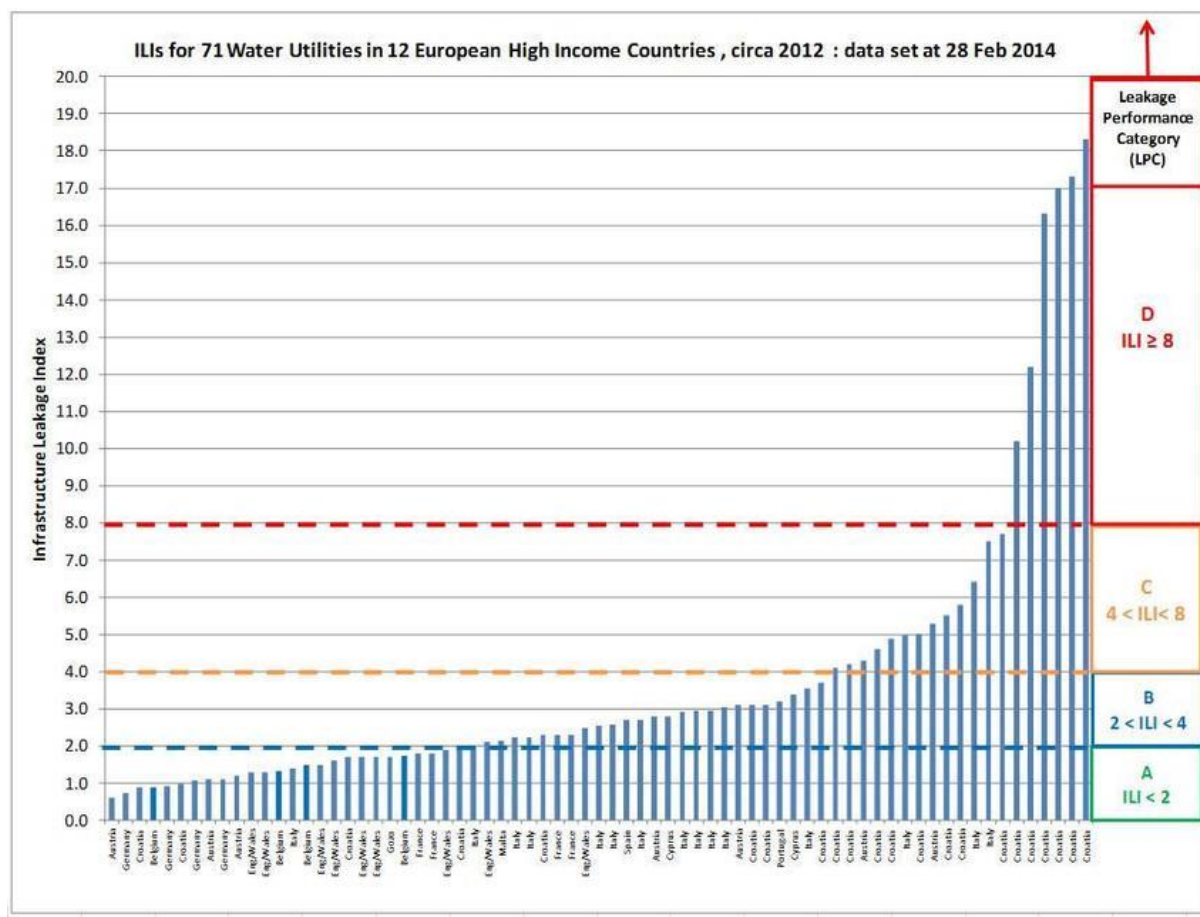
Obrázek 17: Výsledek výzkumu závislosti ILI na JUVNF [14]

Kategorizace ILI

Hodnota ILI by měla být ideálně 1, avšak pokud není hodnota vyšší než 2, je snižování neekonomické. Hodnoty nad 8 by měly značit nevhodnou síť. [14]

Tabulka 11: Kategorizace ILI [14]

Kategorie sítě	Venkovská	Příměstská	Městská
Dobrá	< 1.5	< 3	< 7
Vyhovující	1.5–2.5	3–5	7–10
Nevyhovující	2.5–4	5–8	10–15
Špatná	> 4	> 8	> 15



Obrázek 18: Výsledky mezinárodního srovnání ILI z 12 evropských zemí [14]

2.5.2 Norma ČSN 75 5020

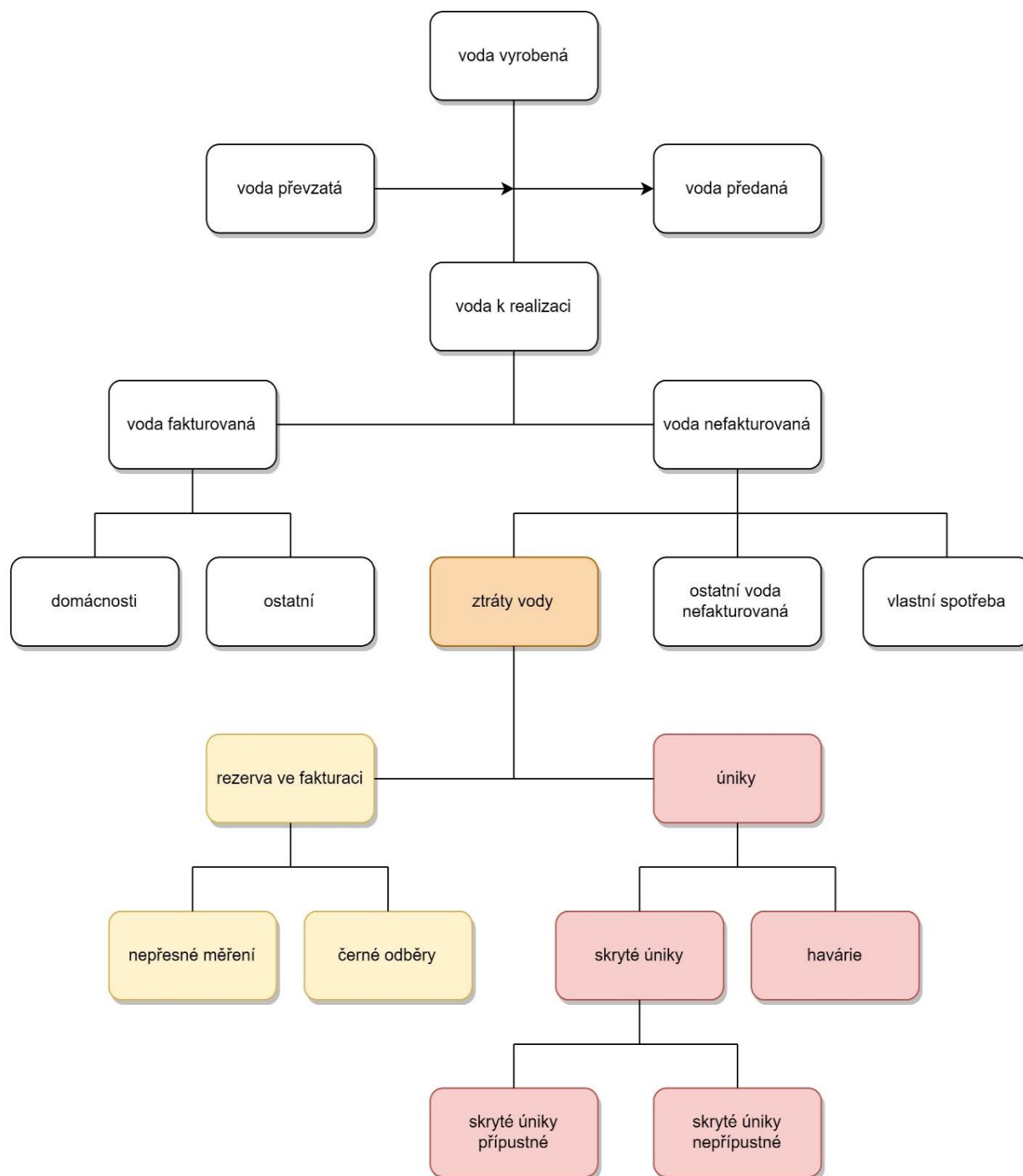
Norma, která vyšla v platnost v říjnu 2023, reaguje především na směrnici Evropského parlamentu (2.1.2), která určuje jednotlivým státům posouzení za použití hodnotící metody založené na ILI nebo jiné vhodné metody. Výsledky posouzení se předpokládají do 12. ledna 2026. Do 12. ledna 2028 Komise na základě ILI vodovodní sítě nebo jiné vhodné metody stanoví mezní hodnotu, při jejímž překročení členské státy předloží akční plán. Tento akt v přenesené pravomoci se vypracuje s využitím posouzení členských států a průměrné míry úniků v Unii stanovené na základě těchto posouzení. [16]

Norma ČSN 75 5020 metodicky specifikuje vykazování ztrát pitné vody z vodovodů pomocí několika možných technických ukazatelů. [13]

Vyhodnocování účinnosti systému zásobování vodou, a tedy i stanovení ztrát vody, je prováděno porovnáváním bilančních nebo technických údajů. Výsledkem vyhodnocení je stanovení objemu vody, která byla vyrobena (nakoupena), ale nebyla dodána odběrateli. [13]

Cílem vyhodnocování ztrát vody je zlepšit účinnost vodohospodářské infrastruktury a omezit nevhodné využívání vodních zdrojů. [13]

Vyhodnocení se provádí ročně s údaji za uplynulý rok, v případě potřeby i častěji. [13]



Obrázek 19: Členění bilančních údajů [13]

Požadavky na technické ukazatele

Ztráty vody je možno vyjádřit mnoha ukazateli, od jednoduchých poměrových (% VNF, % ztrát), po jednotkové, kde je voda nefakturovaná nebo ztráty vztažené na délku vodovodní sítě nebo počet přípojek apod.

Cílem ukazatelů je porovnání různých vodovodních systémů a snahou je získat představu, v jakém stavu je systém zásobování s vodou a kde je možné snižovat ztráty vody.

2.5.3 ILI v České Republice

Dne 15.-16.6. 2023 se v Talinu uskutečnilo jednání komise EU1 pro pitnou vodu EurEau. EurEau (EVROPSKÝ SVAZ NÁRODNÍCH ASOCIACÍ DODAVATELŮ VODY A POSKYTOVATELŮ ODKANALIZOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD) funguje již od roku 1975, kdy se zabývala především pitnou vodou. Od roku 1998 se svaz zabývá i vodou odpadní. Aktuálně sdružuje 34 členů z 29 členských států EU. [33]

Mimo jiná důležitá témata bylo předmětem jednání *Aktualizované stanovisko k tématu ztrát vody*. V rámci EU navrhlo EurEau použití harmonizovaného indexu, aby tak došlo ke sjednocení metodiky hlášení úniků vody. Tento index by byl používán provozovateli, členskými státy a Komisí pro podávání zpráv v souladu DWD⁸. Úroveň úniku vody by měla být vyjádřena pomocí jedné nebo obou následujících objemových jednotek: [34]

- 1) objem [m³] ztrát/km sítě/rok
- 2) objem [m³] ztrát/počet přípojek/rok

Provozovatelé by tak měli pro definici ztrát vody používat terminologii, která se vyskytuje ve standardní bilanci vody dle IWA. [34]

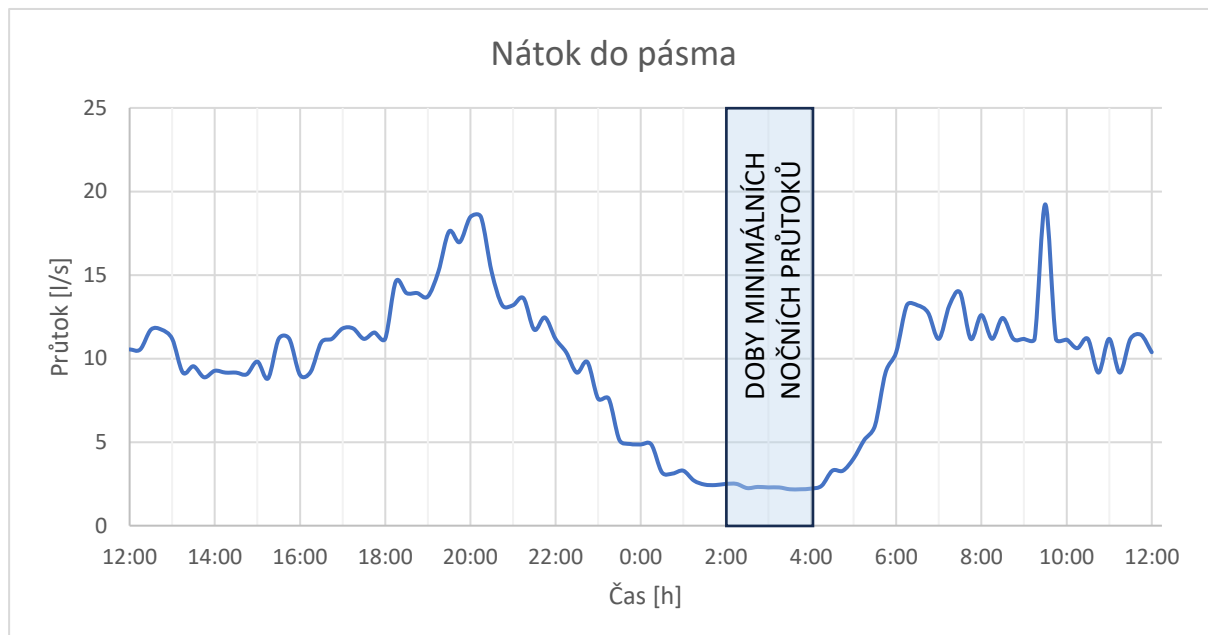
Z těchto posledních informací vyplývá, že se ILI nedoporučuje v České republice používat jako směrodatný ukazatel pro souhrnné vykazování ztrát vody.

Směrodatným dokumentem pro určení způsobu vykazování ztrát je nová norma ČSN 75 5020 *Vykazování ztrát pitné vody z vodovodů* [13], která uvádí doporučené ukazatele ztrát vody (viz kapitola 2.3.1).

⁸ Nová EU směrnice pro pitnou vodu 2020/2184/ES (DWD – Drinking Water Directive)

3 METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ ILI PODLE MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ

Základními informacemi k vyhodnocování MNP jsou údaje o nátoku do pásma, které lze získat z vodoměru mezi vodojemem a samotným spotřebištěm. Z těchto hodnot dostáváme minimální noční průtoky, ke kterým dochází zpravidla mezi 2. a 4. hodinou ranní.

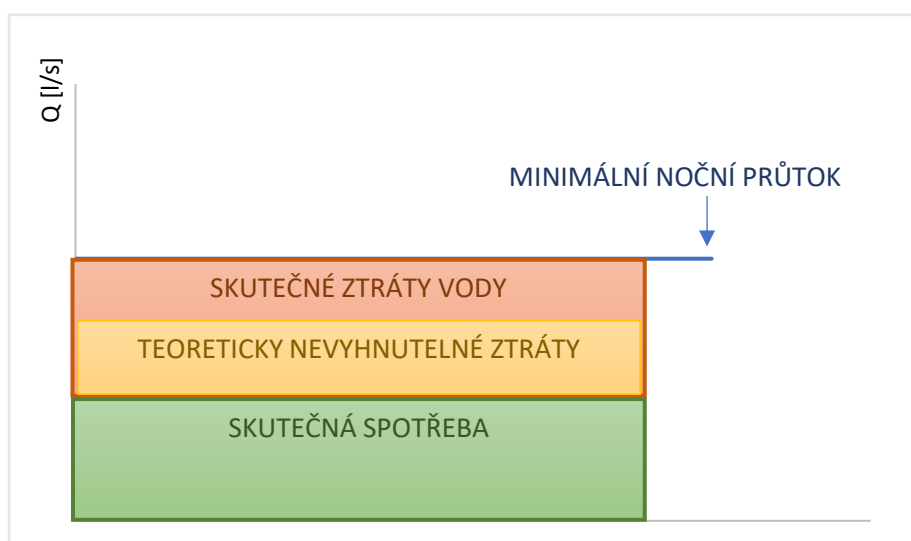


Obrázek 20: Příklad křivky charakterizující nátok do pásma včetně zvýraznění doby MNP

3.1 DEKOMPOZICE MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ

Minimální noční průtok Q_{MNP} sestává ze 3 složek:

- **Skutečná spotřeba odběratelů**
- **Skutečné ztráty vody**, do kterých řadíme i teoreticky nevyhnutelné ztráty vody



Obrázek 21: Dekompozice MNP

3.1.1 Skutečná spotřeba

K určení skutečné spotřeby v tlakovém pásmu je ideální mít k dispozici data o průběhu spotřeby v čase, která můžeme vidět např. díky Smart vodoměrům, nainstalovaným u jednotlivých přípojek.

Pokud nemáme informace o skutečné spotřebě v době MNP, pro její odhad je třeba znát charakter spotřebišť, zejména složení odběratelů – tzn. zda se mezi odběrateli nachází velkoodběratel, který by způsoboval nárůsty spotřeby i v době MNP, tj. 2.00 – 4.00 h. Může se jednat např. o výroby s nepřetržitým provozem či nemocnice.

Tyto aspekty by následně ovlivňovaly procentuální zastoupení skutečné spotřeby v Q_{MNP} .

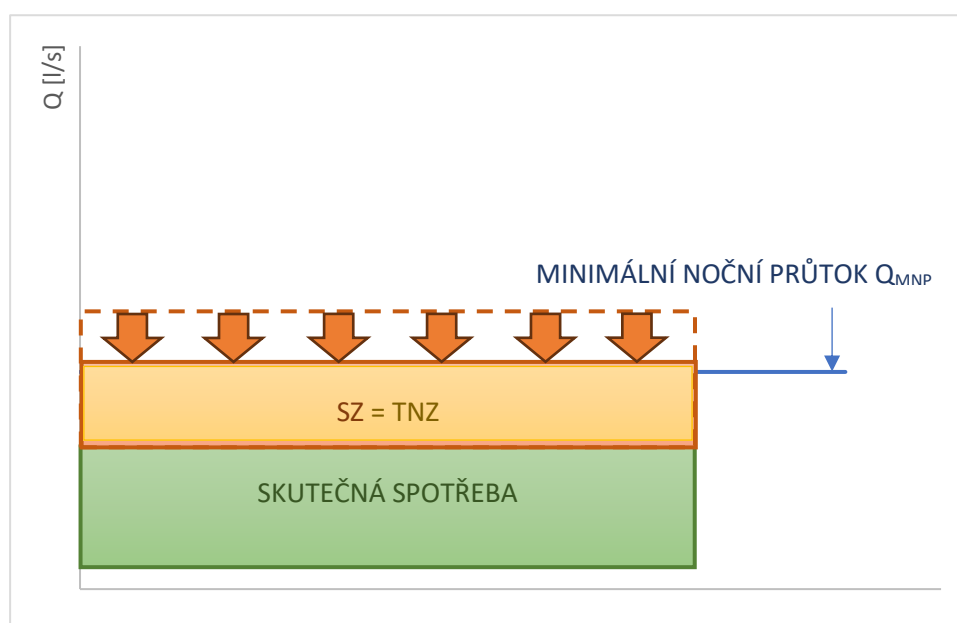
3.1.2 Teoreticky nevyhnutelné ztráty vody (TNZ)

Jsou pevnou složkou skutečných ztrát. TNZ lze odečíst z příslušné tabulky na základě počtu přípojek na km sítě a průměrného provozního tlaku v kPa, nebo je možný výpočet.

Detailnější popis TNZ se nachází v kapitole 2.5.1.

3.1.3 Skutečné ztráty vody (SZ)

Skutečné ztráty vody můžeme popsat jako vodu proteklou vodovodem, od které se však odečte skutečná spotřeba (jak fakturovaná, tak případně vlastní). Nedílnou součástí skutečných ztrát jsou teoreticky nevyhnutelné ztráty, které představují jakousi hranici, po kterou je možné úspěšně redukovat skutečné ztráty.



Obrázek 22: Minimalizace skutečných ztrát do ideálního stavu, kdy $SZ = TNZ$

3.2 ORIENTAČNÍ DOPORUČENÉ HODNOTY MNP A ODVOZENÍ ILI

Orientační doporučené hodnoty MNP by měly objemově dosahovat cca 0.8–1.0 % denní spotřeby. V řádech litrů za sekundu by tak Q_{MNP} orientačně činily 19.2–24.0 % průměrné denní spotřeby Q_p [l/s]. Teoreticky nevyhnutelné ztráty by měly činit cca 1/3 MNP. [14]

To znamená, že:

$$TNZ = 6.4 - 8 \% Q_p$$

(Rovnice 9)

Z toho vyplývá, že ze vztahů uvedených výše je možné orientačně stanovit hodnotu ILI a vyhnout se tak empirickému vzorci uvedenému v kapitole 2.5.1.

ILI získáme podle vzorce:

$$ILI = SZ/x$$

(Rovnice 10)

kde

ILI... infrastructure leakage index [-]

SZ... skutečné ztráty vody [%]

x... hodnota v rozptylu 6.4 – 8 %

Známe-li doporučené procentuální vyjádření hodnot MNP a TNZ a je-li nám známý průměrný denní průtok Q_p (ideálně získaný z analýzy nátoků do pásma), můžeme určit přibližné hodnoty těchto ukazatelů.

Literatura uvádí, že během celého dne, tzn. i v noci je aktivních 3-10 % obyvatelstva. [39]

3.3 URČENÍ SKUTEČNÉ SPOTŘEBY

Jelikož jsou výše uvedené hodnoty (kapitola 3.2) pouze orientační, a zároveň jsou uváděny v určitém rozmezí, je vhodné, aby i výsledky této analýzy ztrát vody byly uváděny alespoň jako rozptyl mezi dvěma hodnotami.

Pro tyto účely je vhodné použít metodu PERT⁹. Pokud však hodnoty Q_{MNP} činí cca 6.4–8.0 % Q_p a méně, není nutné provádět dekompozici MNP s využitím metody PERT, jelikož jsou ztráty příliš malé a je pravděpodobné, že se SZ rovnají TNZ.

⁹ Program Evaluation and Review Technique

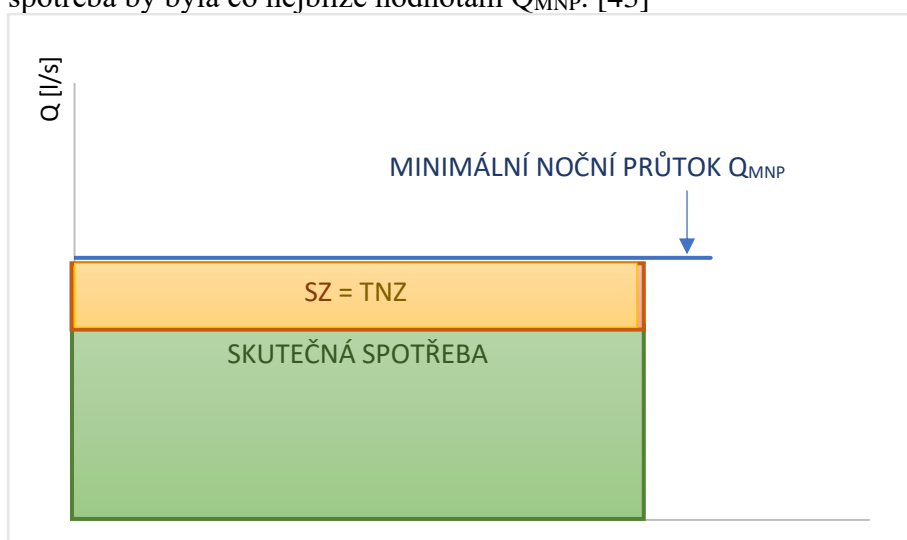
3.3.1 Metoda PERT

Metoda PERT spočívá ve zobecnění metody kritické cesty (CMP). Používá se k řízení složitých úloh stochastické povahy. Skládá se z náhodných proměnných, které mají určité rozložení pravděpodobnosti. V praxi toto nejlépe vystihuje tzv. beta rozdělení, jež vystihuje proměnlivost provozních podmínek. [43]

Beta rozdělení aplikované do dekompozice MNP

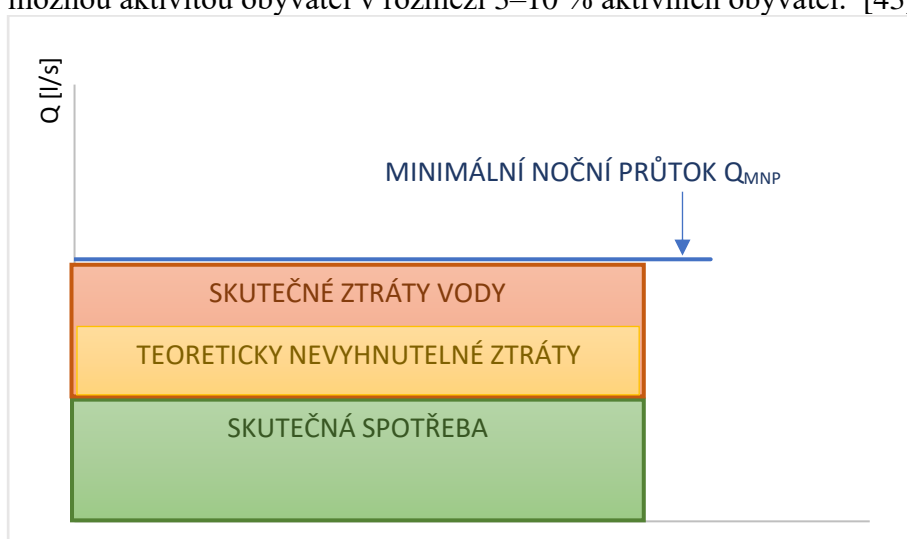
Momenty beta rozdělení se počítají na základě odhadů:

- **Optimistický odhad a** charakterizuje nejmenší možné skutečné ztráty, tedy skutečná spotřeba by byla co nejlépe hodnotám Q_{MNP} . [43]



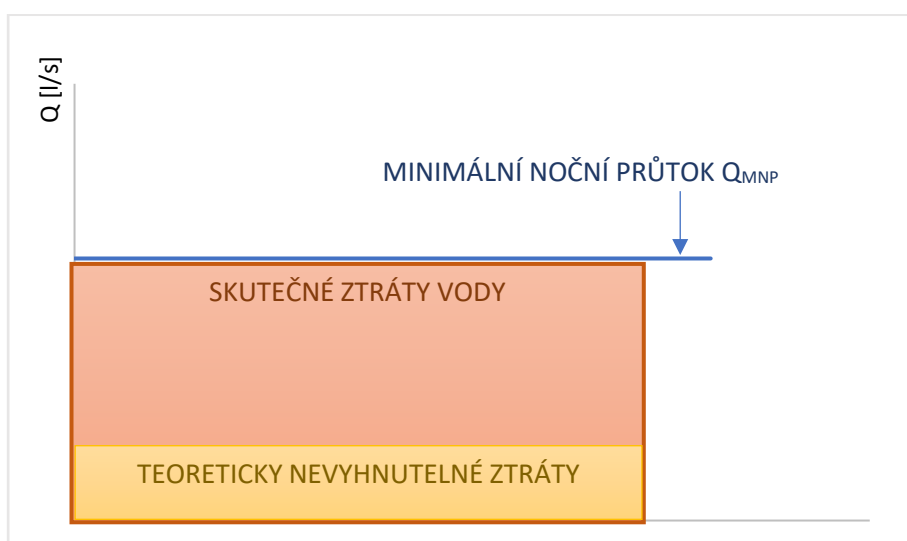
Obrázek 23: Optimistický odhad složení MNP (příklad)

- **Modus (nejpravděpodobnější odhad) m** je nejpravděpodobnější hodnota skutečné spotřeby, kterou je nutné zvolit odborným odhadem. Odhad by mohl být zpřesněn možnou aktivitou obyvatel v rozmezí 3–10 % aktivních obyvatel. [43]



Obrázek 24: Nejpravděpodobnější odhad složení MNP (příklad)

- **Pesimistický odhad** b předpokládá největší ztráty, tedy spotřeba by mohla klesnout na 0, tedy $Q_{MNP} = SZ$ zde je nutné brát v potaz možné ztráty vody přímo u odběratelů, které by mohly způsobovat nenulovou skutečnou spotřebu. [43]



Obrázek 25: Pesimistický odhad složení MNP (příklad)

Při provádění odhadů bereme v úvahu vlivy, které můžeme klasifikovat jako náhodné jevy: [43]

- Poruchovost vodovodu (kombinace stáří a materiálu sítě)
- Poruchovost u spotřebitelů (např. protékající záchod)
- Spotřeba vody v nočních hodinách (nelze přesně určit počet aktivních obyvatel)
- Nepřesnosti měření

Očekávaná hodnota daného ukazatele je vypočtena podle vztahu: [43]

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

(Rovnice 11)

kde:

t_e ... očekávaná hodnota

a ... optimistický odhad

m ... modus (nejpravděpodobnější odhad)

b ... pesimistický odhad

Směrodatnou odchylku dostaneme výpočtem podle: [43]

$$\sigma_{t_e} = \frac{(b - a)}{6}$$

(Rovnice 12)

kde:

σ_{t_e} ... směrodatná odchylka

a ... optimistický odhad

b ... pesimistický odhad

3.3.2 Výsledky metody PERT

Výsledkem bude očekávaná hodnota t_e charakterizující skutečnou spotřebu v době MNP a rozptyl včetně směrodatné odchylky. Zbývající část MNP bude charakterizovat skutečné ztráty.

3.4 URČENÍ TNZ A VÝPOČET ILI

Díky výsledkům metody PERT můžeme podle kapitoly 3.1 získat hodnotu SZ jednoduchým odečtem očekávané hodnoty skutečné spotřeby t_e od hodnoty MNP.

TNZ by měly činit cca 6.4–8.0 % Q_p . Bude-li při dekompozici MNP skutečná spotřeba zastávat takový podíl MNP, aby SZ vycházely stejně, nebo dokonce méně, než je 6.4–8.0 % Q_p , můžeme tvrdit, že $SZ = TNZ$. Tedy hodnota ILI by se rovnala 1.

Jsou-li vypočtené SZ vyšší, než 6.4–8.0 % Q_p , následuje výpočet podle vzorce pro ILI (Rovnice 10). V tomto případě orientačně stanovíme právě rozmezí 6.4–8.0 % Q_p jako TNZ a vydělíme jí hodnotu SZ, která nám vyšla při dekompozici MNP.

Podle spočtené hodnoty ILI můžeme provést klasifikaci (Tabulka 11).

4 ZÁJMOVÉ LOKALITY

Pro účely zjišťování ztrát vody ve vybraných úsecích vodovodní sítě byly vybrány tři poměrně odlišné sítě. Jedná se o úseky vodovodní sítě na území města Brna, jejíž provozovatelem je společnost Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., dále o skupinový vodovod Tučapy – Komořany – Podbřežice vlastněný obcemi a provozovaný společností INSTA CZ s. r. o. a o vodovod vlastněný i provozovaný obcí Hvozdná.

Mezi rozdíly patří jak způsob provozování sítí, tak samotnou lokaci, která následně určuje další parametry, jako jsou doby odběrů, stáří sítě atd.

4.1 VYBRANÉ OKRSKY Z BRNĚNSKÉ VODOVODNÍ SÍTĚ

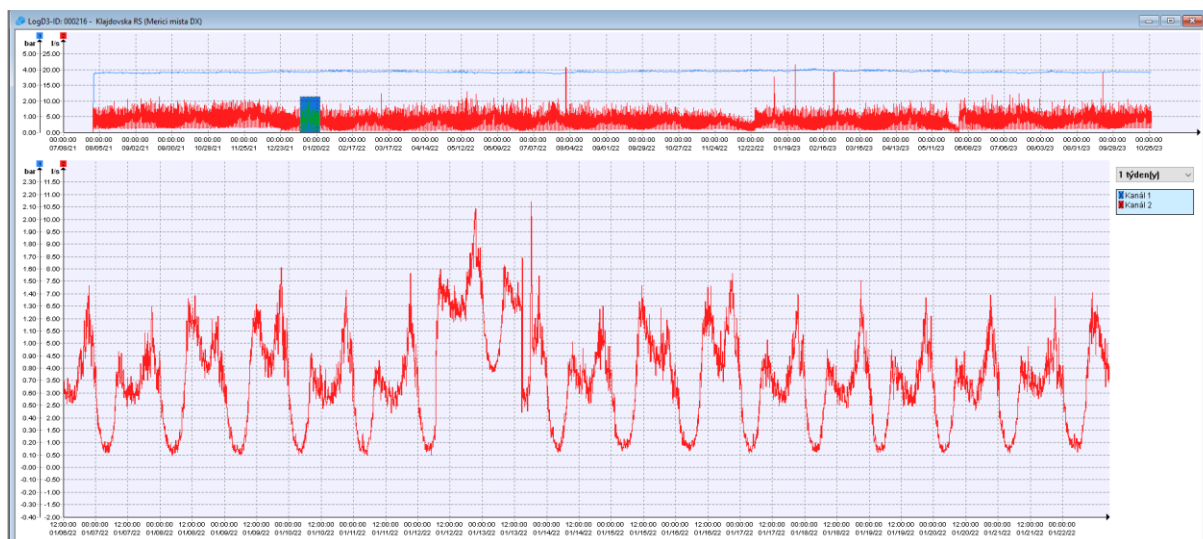
Ve spolupráci s BVK, a. s. byly vytipovány 3 samostatné hydraulicky oddělené části sítě (okrsky). Mezi parametry, podle kterých byly tyto části sítě vybrány patří:

- **Okrskování** – Pro určování ztrát v podrobnějším měřítku je v dnešní době zásadní mít síť rozdělenou na jednotlivé okrsky, kterými rozumíme hydraulicky oddělené části.
- **Druh zástavby** – Úseky vodovodní sítě byly vybrány tak, aby zahrnovaly jak okruhy zásobující zástavbu sídlištního charakteru, zástavbu s rodinnými domy, tak i spotřebišť se smíšenou zástavbou.
- **Měřidla** – Důležitou roli hrálo měření na síti a zaznamenávání informací. Úseky byly vybrány tak, aby z nich bylo možné získat jak údaje o nátoku do sítě, tak o spotřebě.

4.1.1 Diagnostika a chytré vodoměry

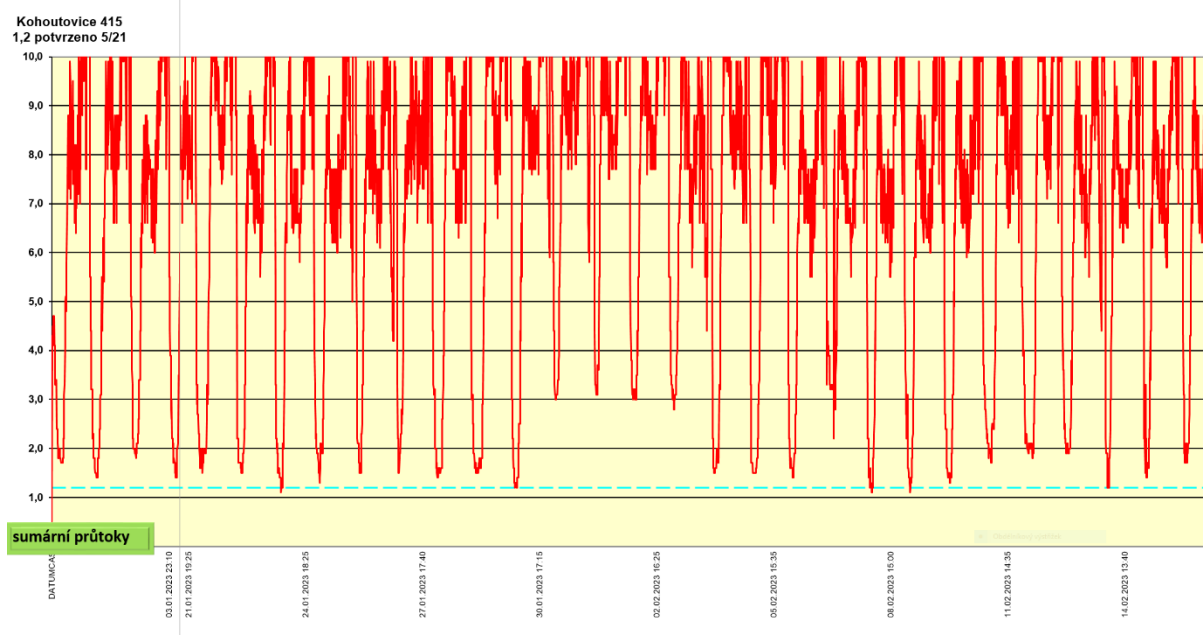
Jak bylo již zmíněno v kapitole 2.2.2, společnost BVK, a. s. se neustále snaží snižovat ztráty vody různými způsoby. Jedním z hlavních úseků, které se této problematice věnují, je úsek diagnostiky. Odtud je pravidelně sledována celá provozovaná vodovodní síť a následně jsou detekovány případné úniky.

Průzkum sítě probíhá každodenně nejprve formou dálkové kontroly minimálních nočních průtoků v jednotlivých okrscích v systému SCADA nebo dálkově z přidaných dataloggerů (výjimkou je I. a II. tlakové pásmo v centru města Brna, které zatím nebylo pro složitost a rozlehlost systému rozděleno na okrsky tak, aby bylo možné sledovat MNP). Pokud MNP neklesnou pod určitou hranici, kterou charakterizuje běžný průměrný noční minimální průtok v daném okrsku, vede tato skutečnost k podezření na poruchu způsobující zjevný únik. Do terénu se pracovníci BVK vydávají v závislosti na velikosti detekovaného potenciálního úniku. Jestliže není potenciální únik vyhodnocen jako nutný k okamžitému odstranění, je daný okrsek nadále sledován a v případě opakovaných vyšších MNP se volí průzkum v terénu. Průzkum probíhá nejčastěji detekcí šumu pomocí akustických sond. Jednorázové nadprůměrné MNP nemusí vždy značit úniky, proto je třeba znát charakter spotřebišť a věnovat pozornost např. plaveckým areálům, výrobnám, provozovnám otevřeným do ranních hodin atd.



Obrázek 26: Ukázka dálkové detekce poruchy na ulici Kubelíkova (Klajdovská) [41]

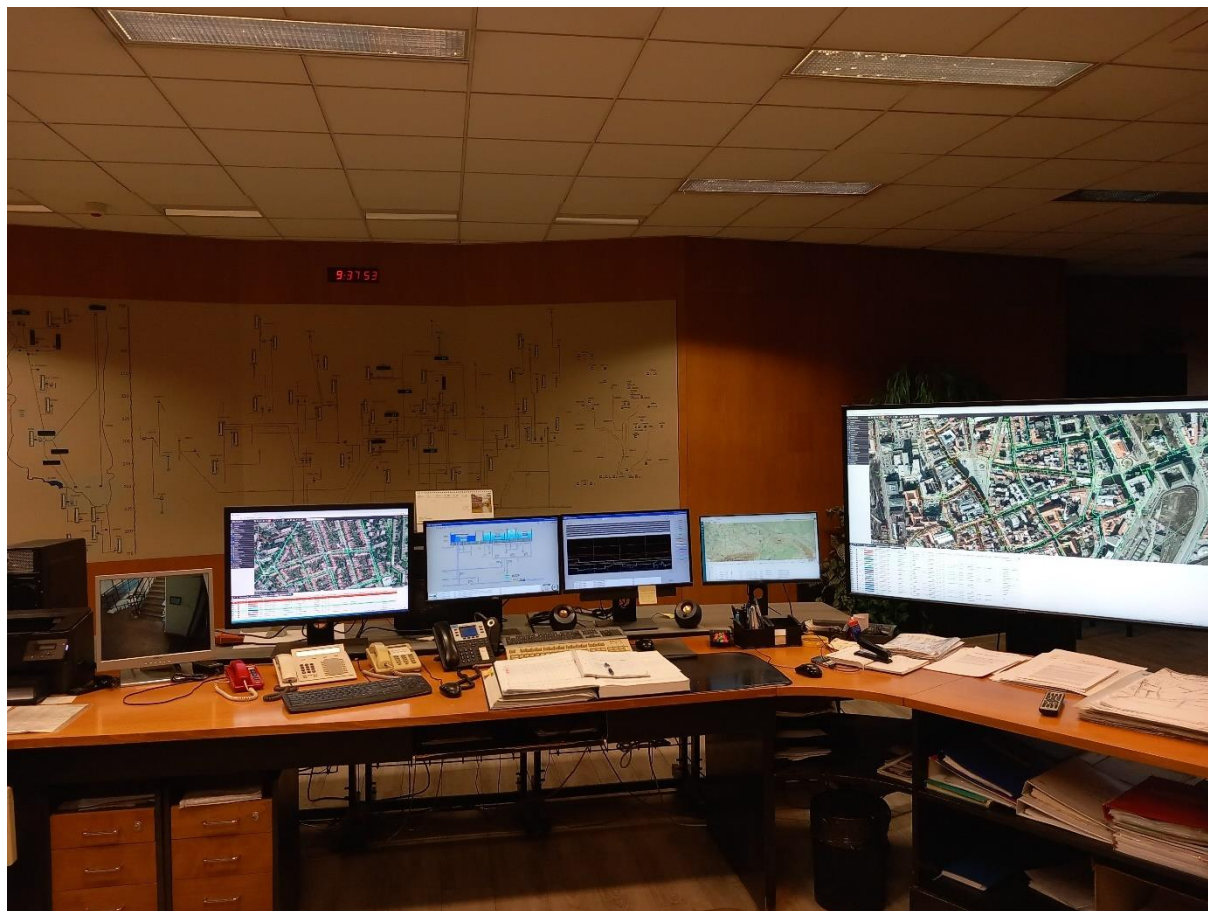
Obrázek 26 je příkladem, kdy byla pracovníky úseku diagnostiky detekována porucha na síti pomocí dataloggeru. Z grafu na obrázku lze vyčíst, že v měřené části sítě dosahují MNP přibližně podobných průměrných hodnot (cca 0.75 l/s). Jakékoliv větší vychýlení je z grafu okamžitě možné poznat – můžeme si všimnout nárůstu MNP cca o 3.5 l/s. Vzhledem k velikosti nárůstu MNP byla porucha vyhledána a odstraněna v řádu hodin a je vidět, že další den se MNP dostaly na obvyklé hodnoty.



Obrázek 27: Ukázka dálkové detekce poruchy na okrsku Kohoutovice 415 [41]

Obrázek 27 je dalším příkladem detekce poruchy, která byla zaznamenána v systému SCADA. Graf znázorňuje nátok z vodojemu do sítě. V tomto případě byly hodnoty MNP vyšší asi o 1.5 l/s, než byl průměrný MNP. Poruchu se povedlo odstranit v řádu několika dní. Zároveň stojí za zmínku, že v grafu se rovněž nachází i další dny s MNP, které jsou sice vyšší, než je běžný MNP v síti, avšak jsou pouze jednorázové, tudíž se nejednalo o poruchu.

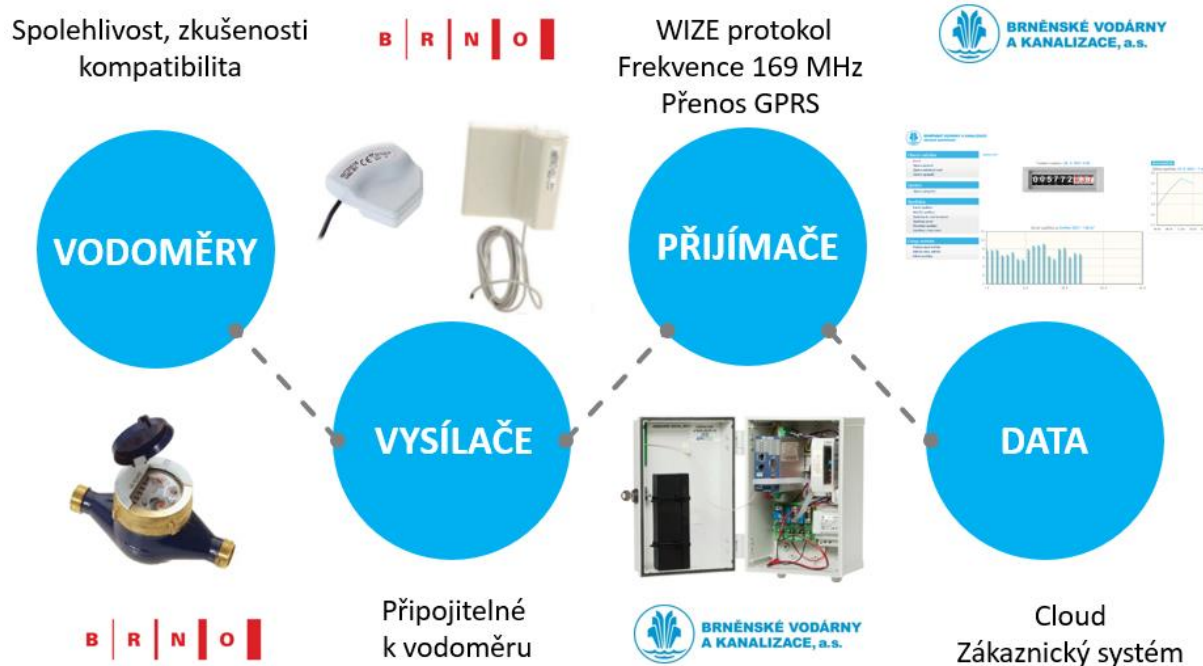
Nedílnou součástí systému, který slouží k minimalizaci ztrát vody v BVK, a.s. je také centrální vodohospodářský dispečink, který slouží jako prostředník mezi odběrateli a provozovatelem sítě. V případě problémů v oblasti zásobování vodou (prasklé potrubí, jakýkoliv únik vody, prosakování vody, nestandardní tlak vody atd.) a také při problémech v oblasti odvádění odpadních vod je centrální vodohospodářský dispečink k dispozici 24 hodin denně, aby tak bylo možné jakékoliv možné problémy hlásit, následně co nejdříve vyhodnocovat a hledat řešení.



Obrázek 28: Centrální vodohospodářský dispečink BVK, a.s.

Chytré vodoměry

BVK má vlastní síť přijímačů. Na jednotlivých vodoměrech jsou nainstalovány snímače pulzů a vysílače Flostar nebo Sensus. Antény a přijímače jsou technologií dodavatele SUEZ. Vysílání probíhá na radiové frekvenci 169 MHz a data jsou získávána po 6 hodinách.



Obrázek 29: Schéma toku dat ze Smart vodoměrů k zákazníkovi (odběrateli) [41]

V praxi jsou chytré (nebo také Smart) vodoměry v Brně využity pouze částečně – lze na nich odhalit úniky u spotřebitele, které si sám spotřebitel může kontrolovat díky aplikaci. Nejčastěji však bývají spotřebitelé v případě úniku upozorněni až ze strany BVK. Úsek diagnostiky však upřednostňuje pro detekci poruch spíše metodu sledování MNP na nátok do pásma, případně na přidaných dataloggerech, jelikož data se Smart vodoměrů zatím nejsou v aktuální formě a časovém odstupu viditelnosti efektivně využitelná.

4.1.2 Popis jednotlivých měrných okrsků

Co se týče materiálu, je většina potrubí ve všech třech okrscích z šedé litiny, která je postupně nahrazována tvárnou litinou. Největší podíl má tvárná litina v měrném okrsku Klajdovská, kde tvoří cca 25 % délky vodovodu.

Kamenný Vrch

Měrný okrsek Kamenný Vrch zasahuje do městských částí Brno-Starý Lískovec a Brno-Bohunice. Z pohledu zástavby je spotřebiště sídlištního typu. Jedná se o výškové panelové domy. Jak ve Starém Lískovci, tak v Bohunicích se nacházejí i rodinné domy, ty jsou však zásobovány v rámci jiného měrného okrsku, který není součástí DP.



Obrázek 30: Charakter zástavby spotřebiště Kamenný vrch [37]

Měrný okrsek Kamenný vrch je napájen ze zemního vodojemu Kamenný vrch 320, který se nachází na okraji sídliště Kamenný Vrch. Celková délka vodovodu činí cca 10,96 km.



Obrázek 31: Mapa vodovodní sítě v měrném okrsku Kamenný vrch 320 (žlutá barva) [41]

Podrobnější mapa vodovodní sítě měrného okrsku Kamenný vrch včetně zakreslení vodojemu se nachází v **Příloze č. 1**

Kohoutovice

Brno-Kohoutovice jsou městskou částí na západě statutárního města Brna. Je tvořena katastrálním územím (dále jen KÚ) Kohoutovice, západní částí KÚ Pisárky a jižní částí KÚ Jundrov. Samosprávná městská část vznikla v roce 1990. Žije zde cca 12 000 obyvatel (2021). Území je převážně na východní části do značné míry zalesněno a protéká jím Kohoutovický potok. Vlastní čtvrť Kohoutovice je tvořena převážně níže položená nevelká zástavba původní vesnice, která je obklopena zástavbou panelového sídliště. Z důvodu velké členitosti terénu je zástavba spíše nesouměrná. Pisárecká část zástavby je tvořena zástavbou domů smíšeného typu. Jundrovská část je tvořena převážně chatami. [43]

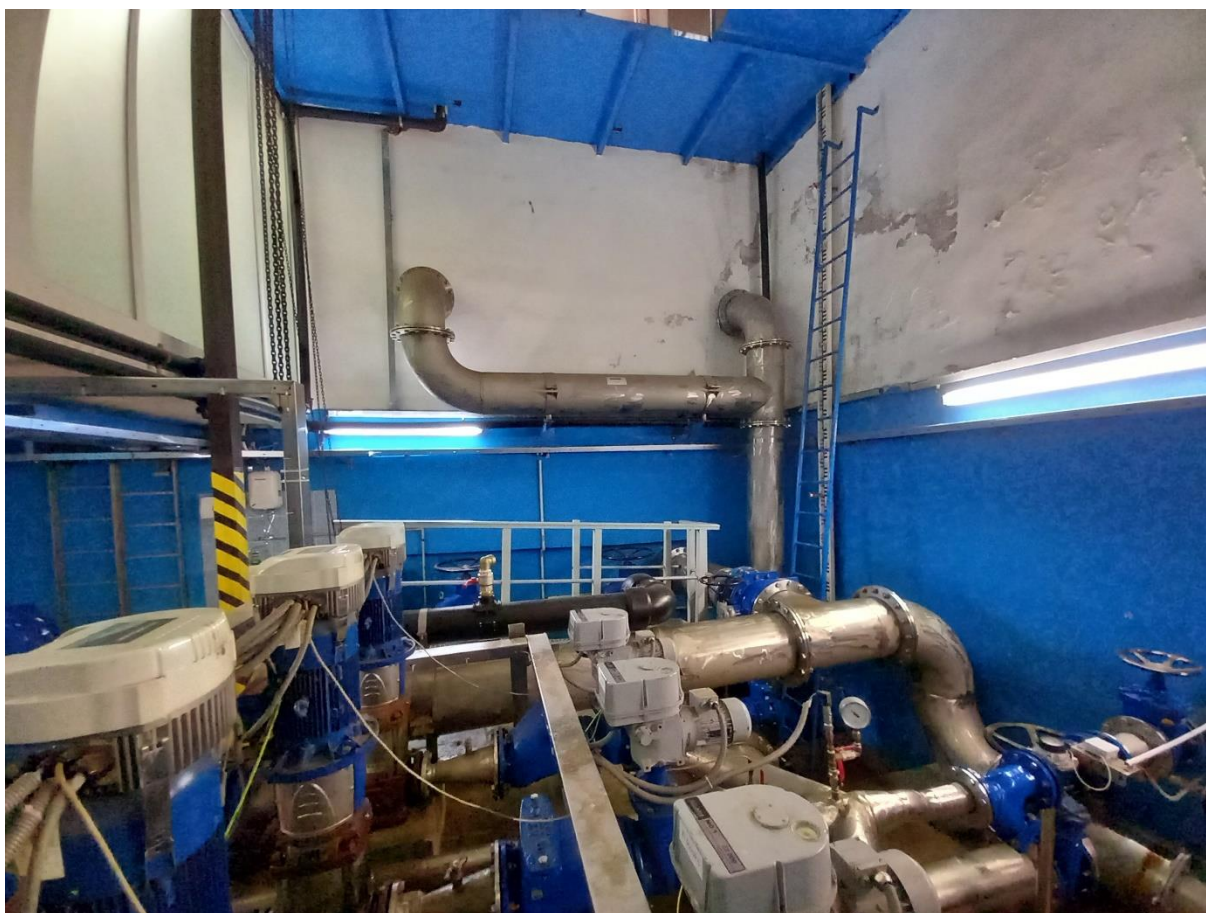


Obrázek 32: Charakter zástavby Brno – Kohoutovice [36]

Oblast městské části Kohoutovice je napájena ze dvou vodojemů. Jedná se o věžový vodojem, který napájí především panelové domy vystavěné na kopcích Kohoutovic, a zemní vodojem, z něhož jsou zásobovány rodinné domy i domy panelové. Diplomová práce se zabývá částí vodovodu, kterou napájí zemní vodojem Kohoutovice. Celková délka vodovodu činí cca 13.65 km.



Obrázek 33: Zemní vodojem Kohoutovice



Obrázek 34: Armaturní komora zemního VDJ Kohoutovice



Obrázek 35: Mapa vodovodní sítě v měrném okrsku Kohoutovice (modrá i červená barva) [41]

Podrobnější mapa vodovodní sítě měrného okrsku Kohoutovice včetně zakreslení vodojemu se nachází v **Příloze č. 2**

Klajdovská (Brno – Líšeň)

Ulice Klajdovská se nachází v městské části Brno-Líšeň na severovýchodním okraji statutárního města Brna. Název okrsku Klajdovská je pojmenován právě podle této ulice, jelikož právě v ulici Klajdovská se nachází měrná šachta okrsku. Zástavba je složena převážně z rodinných domů. Jedná se o původní zástavbu vesnického charakteru. [45]



Obrázek 36: Obrázek 30: Charakter zástavby Brno – Klajdovská (Líšeň) [36]

Měrný okrsek Klajdovská je napájen z vodojemu Líšeň II, který napájí i jiné části sítě, a proto je na ulici Klajdovská umístěna měrná šachta, která tak odděluje okrsek Klajdovská od zbytku sítě. Celková délka vodovodu činí cca 11,6 km.



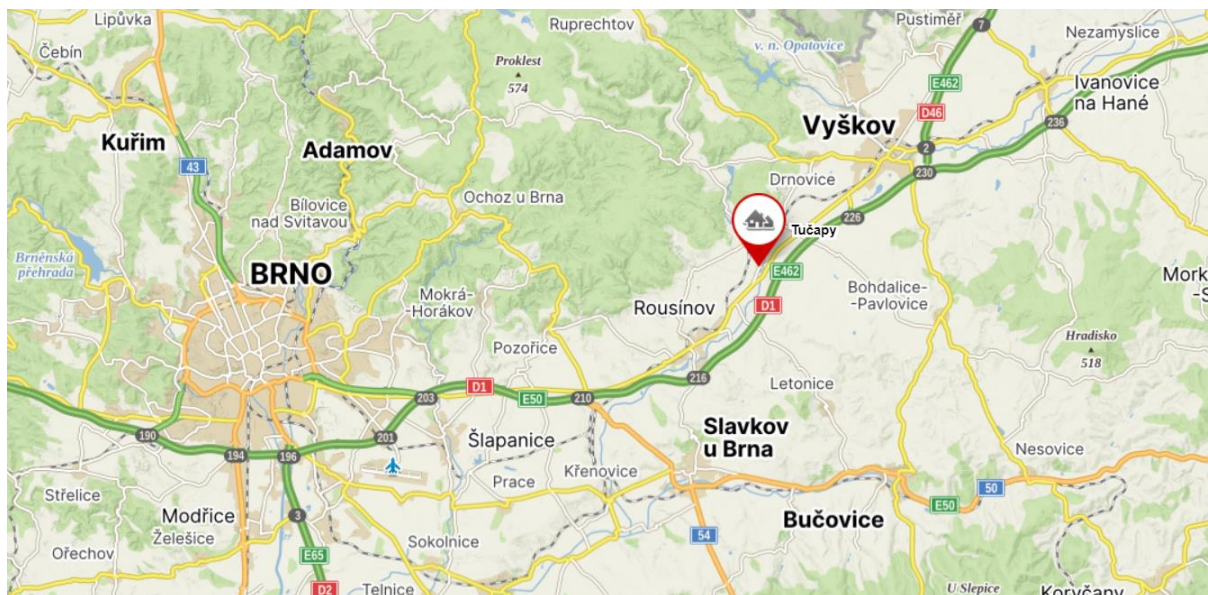
Obrázek 37: Mapa vodovodní sítě v měrném okrsku Klajdovská (modrá barva) [41]

Podrobnější mapa vodovodní sítě měrného okrsku Klajdovská včetně zakreslení předávacího místa se nachází v **Příloze č. 3**

4.2 SKUPINOVÝ VODOVOD TUČAPY – KOMOŘANY – PODBŘEŽICE

4.2.1 Popis zájmového území

Obce Tučapy, Komořany a Podbřežice se nachází v Jihomoravském kraji asi 25 km východně od města Brna.



Obrázek 38: Poloha obcí Tučapy, Komořany a Podbřežice [25]

Tučapy

Polohu obce znázorňuje Obrázek 38 a Obrázek 39. Obec Tučapy se nachází v katastrálním území Tučapy u Vyškova s rozlohou 529 ha. Průměrná nadmořská výška v obci činí 257 m n. m. V obci se nachází hostinec, základní škola i mateřská škola. Obcí protékají dva vodní toky: Rakovec a Habrůvka. Rakovec se vlévá do katastrálního území obce ze severu a opouští ho na jižní hranici. Vodní tok Habrůvka přitéká ze západu a na východním okraji obce se vlévá do vodního toku Rakovec. Obec je členem mikroregionu Větrník. [23] Počet obyvatel k 1. 1. 2023 činil 596. [24]



Obrázek 39: Poloha obce Tučapy vzhledem k zájmovému území [25]

Komořany

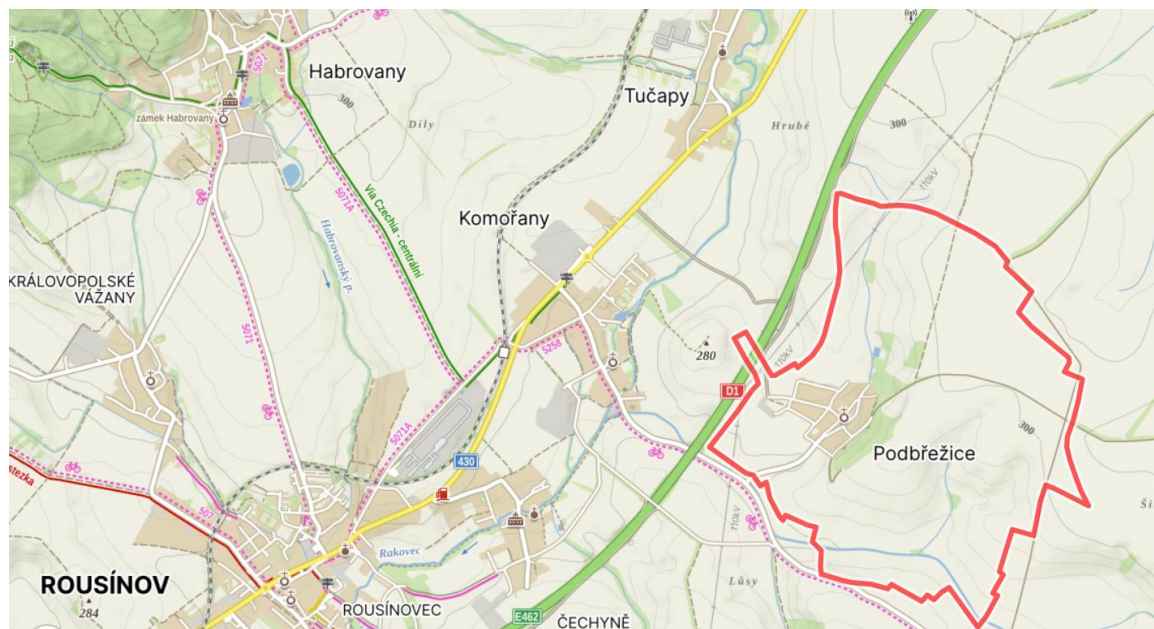
Polohu obce znázorňuje Obrázek 40. Obec Komořany se nachází v katastrálním území Komořany na Moravě s rozlohou 588 ha. Průměrná nadmořská výška v obci činí 242 m n. m. V horní části obce je průmyslová zóna. V obci se nachází restaurace a základní i mateřská škola. Ve směru na obec Dražovice se nachází chráněná krajinná oblast "Stepní stráně". Obcí protéká vodní tok Rakovec, který se vlévá do katastrálního území obce ze severovýchodní strany a opouští ho na západní hranici. Do katastrálního území obce přitéká z východu Dražovický potok, jenž se vlévá do vodního toku Rakovec na jižním okraji obce. [23] Počet obyvatel k 1. 1. 2023 činil 751. [24]



Obrázek 40: Poloha obce Komořany vzhledem k zájmovému území [25]

Podbřežice

Polohu obce znázorňuje Obrázek 41. Obec Podbřežice se nachází v katastrálním území Podbřežice s rozlohou 253 ha. Průměrná nadmořská výška v obci činí 244 m n. m. V obci se nachází hostinec. Obcí protéká Podbřežický potok směrem ze severu k východu. Jižní částí katastrálního území obce protéká Dražovický potok. [23] Počet obyvatel k 1. 1. 2023 činil 266. [24]



Obrázek 41: Poloha obce Podbřežice vzhledem k zájmovému území [25]

4.2.2 Popis vodovodní sítě

Pitná voda do tohoto SV je dodávána ze SV Vyškov – větev vyškovská. Hlavními zdroji jsou úpravny vody – Lhota, Dědice, Manerov a zdroje Drnovice, Kašparov. Zdroj Kašparov je vrt o vydatnosti $Q = 10$ l/s. ÚV Lhota, která odebírá povrchovou vodu z vodárenské nádrže Opatovice má výkon $Q = 120$ l/s. ÚV Dědice, která upravuje podzemní vodu ze zdrojů - 4 vrtů HV 4, HV 114, HV 117, HV 118 má výkon $Q = 32$ l/s, celková vydatnost těchto vrtů činí 26 l/s. ÚV Manerov, do které je čerpána podzemní voda z vrtů HV 1, HV 3, HV 3C má výkon $Q = 7.5$ l/s. Zdroj Drnovice se skládá ze čtyř vrtů - S1, S3, S4, S5, z nichž vrt S5 je odstaven z provozu. Vydatnost prameniště činí $Q = 30$ l/s. [31]

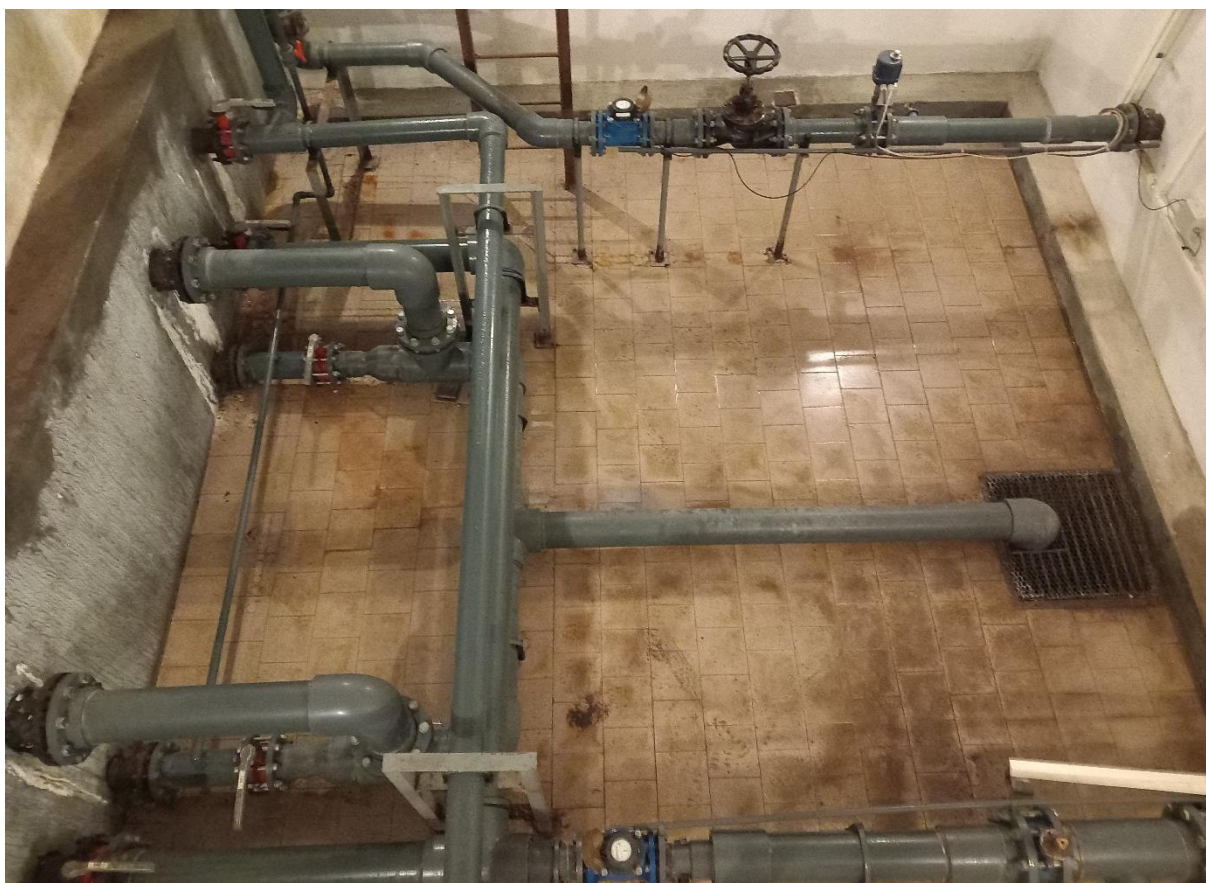
Podrobnější mapa vodovodní sítě skupinového vodovodu Tučapy – Komořany – Podbřežice včetně zakreslení vodojemu se nachází v **Příloze č. 4**

Vodojem Tučapy

Voda z ÚV Lhota je zajištěna přivaděčem DN 300, který vyústí do vodojemu Tučapy. Jedná se o typový monolitický vodojem s typovou armaturní komorou MK 1. Kapacita vodojemu činí 2×150 m³.



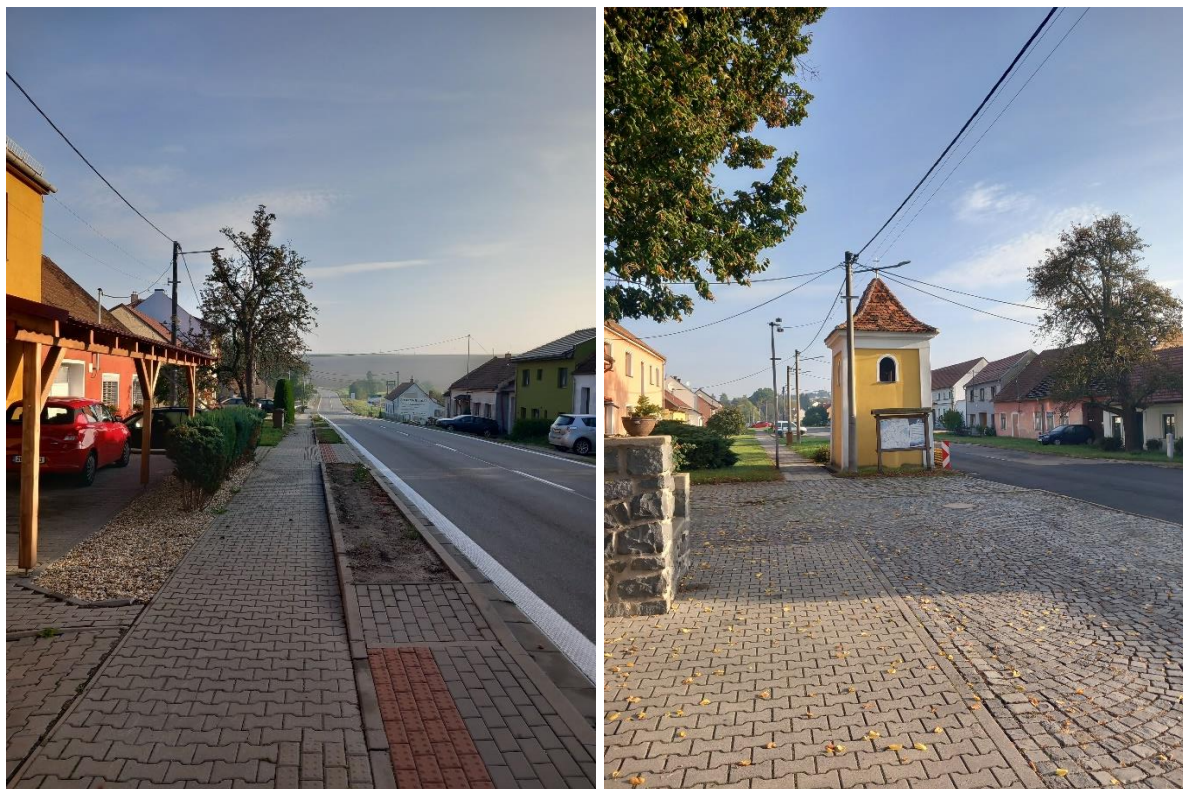
Obrázek 42: Vodojem Tučapy



Obrázek 43: Armaturní komora ve vodojemu Tučapy

Tučapy

Výstavba vodovodu byla dokončena v roce 1995. Dříve se zásobování obyvatelstva uskutečňovalo prostřednictvím soukromých studní, což bylo nedostačující. Některé části obce se potýkají s nedostatkem podzemní vody a nezávadnost všech místních studní nelze zajistit. [29]



Obrázek 44: Charakter zástavby v obci Tučapy

Vodovod Tučapy patří k typu gravitačního vodovodu. Stavba vodovodu sestává z vodojemu, přívodného řadu DN 225 a vlastní rozvodné sítě v obci. Vlastní vodovodní síť je provedena jako větvená, a to z PVC DN 90 a DN 110. Jednotlivé větve sítě jsou odděleny sekčními šoupátky. Sekční šoupátka jsou litinová vodárenská se zemními soupravami a litinovými poklopy. Na řadech jsou umístěny podzemní hydranty. Hydranty jsou osazeny spolu s šoupátky a také v nejvyšších a nejnižších místech trasy. Rozvodné řady v obci křížují místní toky Rakovec a Tučapský potok. Podchody jsou provedeny PE šybkou. Veškeré křížení vodovodních řadů s komunikací je řešeno protlakem. [29]

Navržený trubní materiál respektuje ČSN 75 7111 *Jakost vod. Pitná voda* (k 1. 11. 2001 zrušena). Vzhledem k tomu, že značná část trubních řadů je v zastavěné části, kde je několik podzemních vedení, sdělovací kabel místní i dálkový, stávající kanalizace atd., bylo nutno při ukládání v zemi respektovat ČSN 73 6005 *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. Tlakové zkoušky vodovodního potrubí byly provedeny podle ČSN 73 6611 *Tlakové zkoušky vodovodního a závlahového potrubí* (k 1. 4. 1995 zrušena). Vertikální a horizontální lomy byly zajištěny proti bočnímu úhybu betonovými bloky. [29]

Komořany

Výstavba vodovodu byla dokončena v roce 1998. Vodovod Komořany patří k typu gravitačního vodovodu. Stavba vodovodu sestává z přívodného řadu DN 160 a DN 110 a vlastní rozvodné sítě v obci. Vlastní vodovodní síť je provedena jako větvená, a to z PE DN 50, PVC DN 90 a DN 110. Jednotlivé větve sítě jsou odděleny sekčními šoupátky. Sekční šoupátka jsou litinová vodárenská se zemními soupravami a litinovými poklopy. Na řadech jsou umístěny podzemní hydranty. Hydranty jsou osazeny spolu s šoupátky a také v nejvyšších a nejnižších místech trasy. Rozvodné řady v obci křížují místní toky Rakovec mlýnský náhon. Veškeré křížení vodovodních řadů s komunikací je řešeno protlakem. [29]



Obrázek 45: Charakter zástavby v obci Komořany

Podbřežice

Výstavba vodovodu byla dokončena v roce 2005. Vodovod Podbřežice patří k typu gravitačního vodovodu. Stavba vodovodu sestává z přívodného řadu PE DN 110 a vlastní rozvodné sítě v obci. Vlastní rozvodná síť je provedena jako větvená, a to z PE DN 63, DN 90 a DN 110. Jednotlivé větve sítě jsou odděleny sekčními šoupátky. Sekční šoupátka jsou litinová vodárenská se zemními soupravami a litinovými poklopy. Na řadech jsou umístěny podzemní hydranty. Hydranty jsou osazeny spolu s šoupátky a také v nejvyšších a nejnižších místech trasy. Rozvodné řady v obci křížují místní tok Podbřežický potok. Podchody jsou provedeny PE shybkou. Veškeré křížení vodovodních řadů s komunikací je řešeno protlakem. [29]



Obrázek 46: Charakter zástavby v obci Podbřežice

4.3 VODOVOD V OBCI HVOZDNÁ

V rámci řízeného proplachu vodovodní sítě obce Hvozdná společností VODA BRNO, s.r.o. spin-off VUT bylo možné získat podklady pro vyhodnocení ztrát vody v obci. Jako zdroj informací byl použit GIS obce Hvozdná vypracovaný panem Ing. Vladimírem Jonáškem (odborným zástupcem pro provoz VaK v obci Hvozdná).



Obrázek 47: Obec Hvozdná

4.3.1 Základní informace

Obec Hvozdná je větší obec ležící severovýchodně od města Zlína – cca 10 km. Zástavba v obci má severojižní směr. V obytné zástavbě převažují přízemní nebo dvoupodlažní rodinné domy. Objekty zemědělské výroby jsou soustředěny na severní straně obce, objekty průmyslové výroby se v obci nenachází. V obci se nachází základní škola, několik restaurací, společenský sál. [38]

V současnosti (2023) má podle podkladů OkÚ Zlín celá obec 1 317 obyvatel, ve výhledu se uvažuje s mírným růstem počtu stálých obyvatel. [38]

Organizačně je obec Hvozdná samostatnou obcí kraje Zlín s vlastním obecním úřadem. Obec spadá pod stavební úřad Slušovice. Dopravní napojení na vyšší komunikační síť je zajištěno státní silnicí II/491 – Holešov – Fryšták – Slušovice – Vizovice a III/4913 Želechovice – Lužkovice – Hvozdná – Ostrata. Katastr obce se rozkládá v nadmořských výškách 265 až 352 m n.m., veškerá zástavba se nachází v rozmezí 270 až 345 m n.m. [38]

4.3.2 Popis vodovodní sítě

Veřejný vodovod ve Hvozdné využívá vodu převzatou ze skupinového vodovodu Zlín (vlastník: Vodovody a kanalizace Zlín, a.s. (dále jen VaK Zlín), provozovatel Vodárna Zlín a.s. (dále jen VoZl). Tato přebíraná voda je směsí vod povrchových a podzemních, přičemž za běžných podmínek jednoznačně převyšuje obsah vod povrchových z vodní nádrže Slušovice upravovaných na ÚV Klečůvka ve správě společnosti Vodárna Zlín, a.s. Řídicím vodojemem je vodojem Hvozdná 2×250 m³, do kterého je voda čerpána z ČS Štípa. [38]



Obrázek 48: Vodojem Hvozdná

Podrobnější mapa vodovodní sítě vodovodu Hvozdná včetně zakreslení vodojemu se nachází v Příloze č. 5

Délka vodovodní sítě je 12 452 m a je tvořena PE potrubím o dimenzi PE40–125. [38]

Vodovodní síť je rozdělena na tři tlaková pásma: T1, G1 a G2. Tlakové pásmo T1 bylo postupně vybudováno vesměs v „akci Z“ a zprovozněno v r. 1978. Toto pásmo (lokalita Osmek) je v současné době systematicky obnovováno. Tlaková pásma G1 a G2 byla zprovozněna v roce 2008. [38]

Za řídicím vodojemem Hvozdná je instalována automatická tlaková stanice pro zajištění dostatečné kapacity přiváděné pitné vody do obce Hvozdná. Nastaven je provozní tlak 4.7 bar při chodu jednoho čerpadla (druhé slouží jako záložní). Voda se dopravuje potrubím PE 90 protaženým ve starém litinovém potrubí LT 150 (vlastník: VaK Zlín, provozovatel VoZl) do automatické tlakové stanice ATS1 na okraji zastavěné části obce Hvozdná. Vlastníkem a správcem automatické tlakové stanice ATS1 vč. strojního vybavení, potrubí a armatur je Obec Hvozdná. Výjimkou je fakturační vodoměr společnosti VaK Zlín ve správě VoZl, který slouží k přehledu množství převzaté vody z řídicího vodojemu Hvozdná. [38]

Z automatické tlakové stanice ATS1 jsou vyvedena dvě odběrná potrubí: [38]

1) Odběrné potrubí PE 90 pro tlakové pásmo T1 – tlakové potrubí

Odběrné potrubí pro tlakové pásmo T1 se dále větví a slouží k zásobování horní části obce – objekty v rozsahu výšek 320–347 m n.m.

2) Odběrné potrubí PE 90 (bezprostředně za ATS1 se rozšiřuje na PE 125 pro tlakové pásmo G1 a G2 – tlakové potrubí

Označení G1 a G2 je pozůstatkem z dob, kdy bylo potrubí gravitační – bez posilovacích čerpadel ve VDJ Hvozdná. Na potrubí je osazen redukční ventil CLA-VAL, parametry: vstupní tlak 4.5–8.0 bar, výstupní tlak 0-2.5 bar, max. průtok 4 l/s, nastavený provozní tlak 0.5 bar.

Odběrné potrubí pro tlaková pásma G1 a G2 se dále větví a slouží k zásobování střední a dolní části obce. Tlakové pásmo G1 zásobuje objekty ve výškách 280–324 m n.m. Tlakové pásmo G2 navazuje na tlakové pásmo G1 a tlak je upravován v přerušovací komoře (tlakový regulační ventil CLA-VAL, DN 50, PN 10/16, výstupní tlak 1.0-5.3 bar, nastavený provozní tlak 4.8 bar) zásobuje objekty ve výškách 260–300 m n.m.

Některé nemovitosti v nejnižších částech tlakových pásem G1 a G2 jsou vybaveny domácími redukčními ventily z důvodu překročení doporučeného maximálního tlaku ve vodovodu 6 bar.

V horní části obce je instalována vodoměrná šachta VŠ1, která je osazena příslušnými uzavíracími armaturami, zpětnými klapkami, vodoměry a potrubím pro havarijní propojení veřejného vodovodu Hvozdná a vodovodu ZOD DELTA Štípa, družstvo v případě dlouhotrvajícího přerušení dodávky vody z VDJ Hvozdná. Podobně může ZOD DELTA Štípa, družstvo odebírat vodu z veřejného vodovodu Hvozdná. [38]

5 ZPRACOVÁNÍ DAT

Pro zájmové oblasti byl ve většině případů poskytnut velký objem dat v podobě průtoků, informací o délce, materiálu a stáří potrubí, data z provozní a majetkové evidence, provozní řády, informace o vodojemech atd. V některých vybraných lokalitách probíhalo měření se záměrem zjištění aktuální situace. Pro účely diplomové práce byly vybrány nejdůležitější informace, které primárně slouží k dalším výpočtům, a také pomáhají lépe charakterizovat vlastnosti daného úseku vodovodu.

5.1 MO KAMENNÝ VRCH

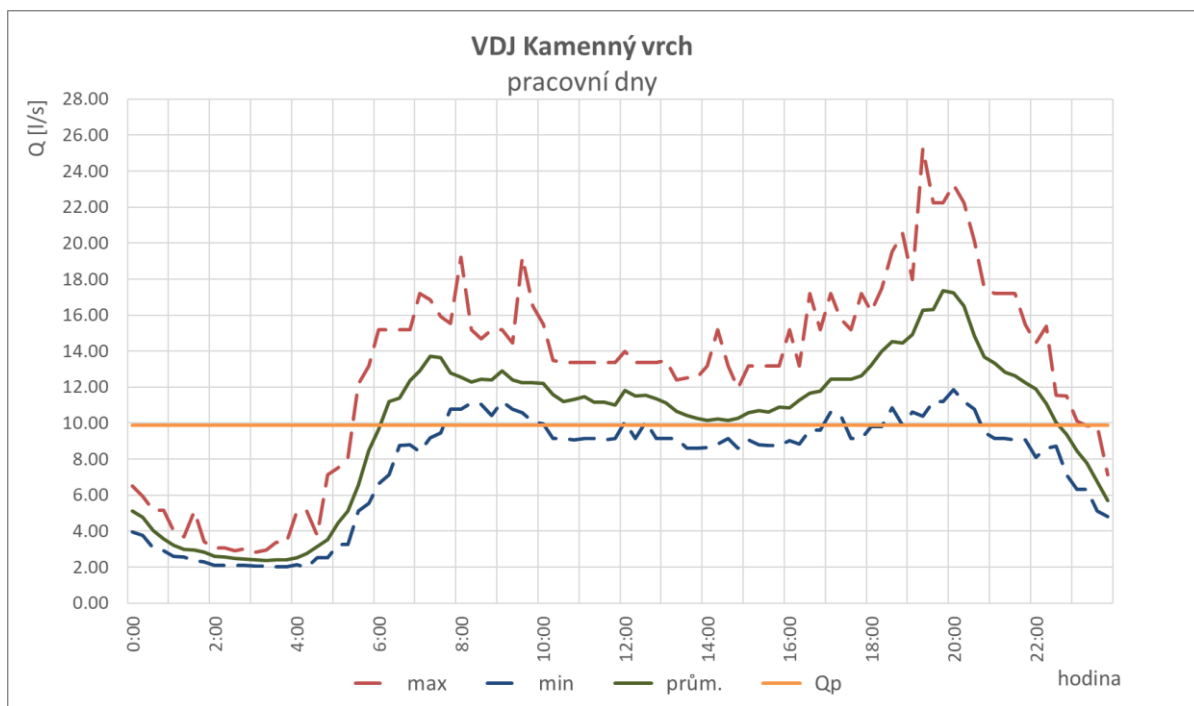
Pro MO Kamenný vrch bylo možné využít mimo jiné dat ze Smart vodoměrů nainstalovaných na většině domovních přípojek v MO.

5.1.1 Nátok do sítě

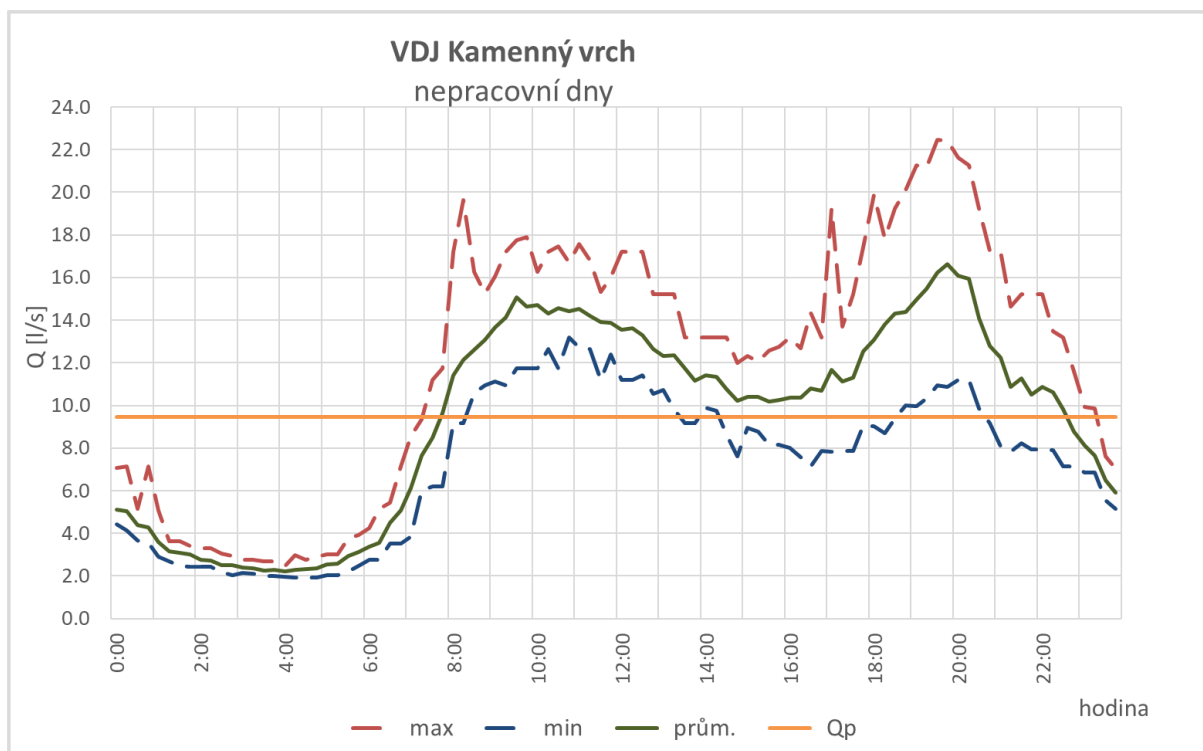
Z měření za vodojemem Kamenný vrch byl získán průběh průměrných průtoků po 15 minutách. Bylo vybráno časové období od 1. 9. 2023 do 31. 10. 2023. Po zpracování dat bylo možné určit charakteristické průtoky z VDJ.

Tabulka 12: Charakteristické průtoky z VDJ Kamenný vrch

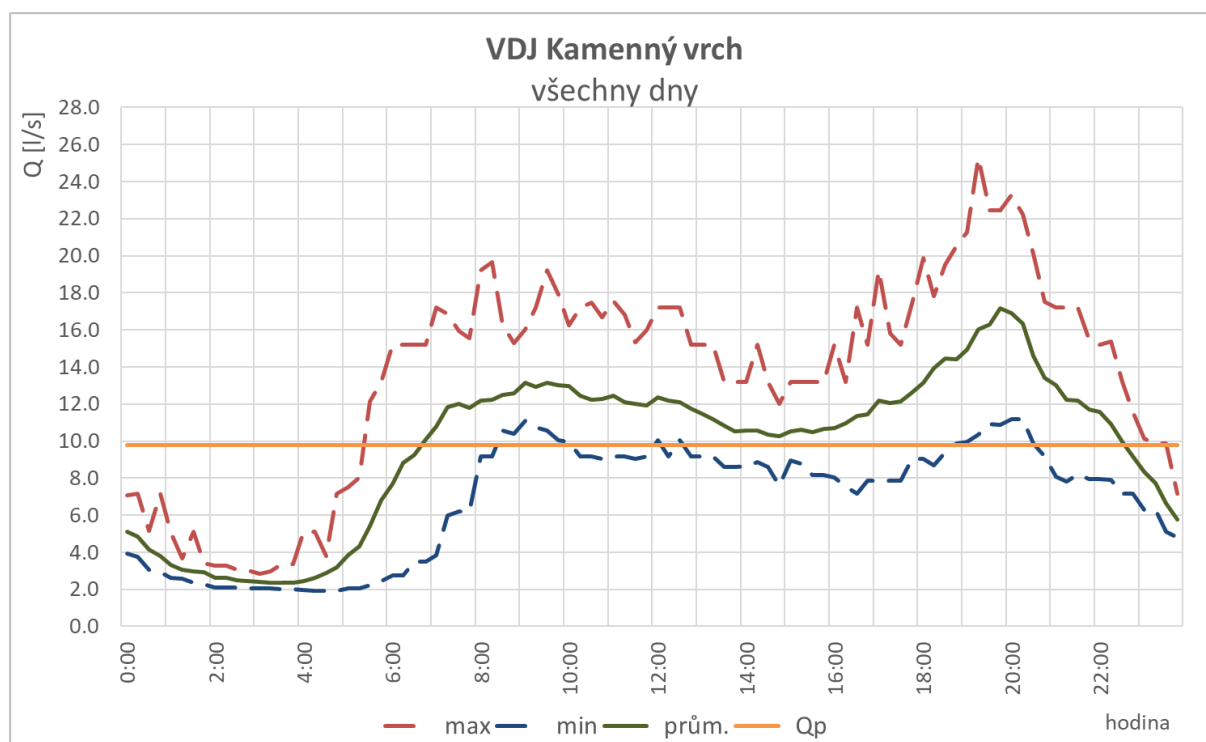
VDJ Kamenný vrch				
		Pracovní dny	Nepracovní dny	Všechny dny
Q_p	[l/s]	10.13	9.72	10.01
Q_d	[l/s]	12.63	12.39	12.63
	[m ³ /d]	1091.39	1070.34	1091.39
Q_h	[l/s]	33.810	25.930	33.810
Q_{min}	[l/s]	1.560	1.110	1.110
% Q_p	[%]	0.641	0.476	0.462
k_h	[-]	2.677	2.093	2.677
k_d	[-]	1.247	1.274	1.262



Obrázek 49: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kamenný vrch (pracovní dny)



Obrázek 50: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kamenný vrch (nepracovní dny)



Obrázek 51: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kamenný vrch (všechny dny)

Kompletní vstupní data včetně výpočtů jsou z důvodu velké obsáhlosti uloženy v elektronické podobě u zpracovatelky DP.

5.1.2 Spotřeba v síti

V distriktu Kamenný vrch je většina přípojek (154 ze 161 přípojek) osazena chytrými vodoměry. Zbýlých 7 přípojek je k odběratelům, kteří pravděpodobně nezpůsobují pohyby v nočních odběrech – jedná se o maloobchody, autoservis a v jednom případě o pohostinství s otevírací dobou do 24 h, které by mohlo mírně ovlivňovat průtoky v brzkých ranních hodinách, avšak v malém měřítku vzhledem k celému okrsku.

Data o spotřebě byla sledována od 1. 9. 2023 do 31. 10. 2023. Z každého chytrého vodoměru v síti byl vytažen jeden sešit aplikace Excel s hodnotami průtoků po 6 hodinách (celkem tedy 154 souborů s příponou .xlsx).

Jelikož byly hodnoty dostupné vždy po 6 hodinách, nabízela se metoda PERT jako vhodné rozdělení průtoků do jednotlivých hodin, avšak zjistilo se, že časy měření byly u různých vodoměrů nahodilé, což vedlo k volbě jiného postupu. Chytré vodoměry byly rozděleny do skupin:

Tabulka 13: Rozdělení chytrých vodoměrů v pásmu na skupiny

ROZDĚLENÍ NA SKUPINY DLE DOBY ODEČTŮ																									
Skupina	Hodiny dne [h]																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	
I	X						X					X							X						
II		X						X					X							X					
III			X						X					X							X				
IV				X					X						X							X			
V					X					X							X						X		
VI						X					X							X						X	

Tabulka 13 zobrazuje hodiny dne, ve kterých byla data odečítána, skupiny se odlišují začátky měření podle toho, ve kterou hodinu dne bylo daný den měření započato (zelené vybarvení).

Tyto soubory byly zkompletovány nejprve do 6 souborů dle času odečtu a následně (po sečtení všech hodnot dle času odečtu) byl vytvořen jeden souhrnný list (Obrázek 52), který obsahoval celkové proteklé množství zaznamenané Smart vodoměry v dané skupině po 6 hodinách.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Datum	Den týdne	Čas odečtu	I	II	III	IV	V	VI
1428	30.10.2023	PO	10:00					31049	
1429	30.10.2023	PO	11:00						38769
1430	30.10.2023	PO	12:00	45996					
1431	30.10.2023	PO	13:00		35384				
1432	30.10.2023	PO	14:00			41250			
1433	30.10.2023	PO	15:00				44664		
1434	30.10.2023	PO	16:00					37655	
1435	30.10.2023	PO	17:00						34977
1436	30.10.2023	PO	18:00	39048					
1437	30.10.2023	PO	19:00		35853				

Obrázek 52: Výstřížek sešitu aplikace Excel se zkompletovaným a sečteným proteklým množstvím ze Smart vodoměrů

Kompletní vstupní data včetně tabulek a výpočtů jsou z důvodu velké obsáhlosti uloženy v elektronické podobě u zpracovatelky DP.

Následně bylo nutné určit si 6hodinové úseky, které budou podstatné pro doby MNP:

Tabulka 14: Odečty důležité pro určení MNP

ODEČTY V DOBĚ MNP																									
Skupina	Hodiny dne [h]																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	
I	X						X					X							X						
II		X						X					X							X					
III			X						X					X							X				
IV				X						X					X							X			
V					X						X						X						X		
VI						X						X						X						X	

Tabulka 14 zvýrazňuje, které časové úseky (světle oranžové zvýraznění) bylo nutné brát v potaz, aby pokryly hodiny MNP. Červeně jsou zvýrazněny hodiny dne s minimálními nočními průtoky (2:00 – 4:00). Tmavě oranžová políčka značí odečty vodoměrů po 6hodinových úsecích.

Tímto způsobem byly vybrány jednotlivé 6hodinové úseky, které je třeba dále analyzovat. Jednalo se o 7 úseků, jelikož ve skupině IV zasahují do rozmezí hodin MNP dva úseky.

Byl spočítán průměrný průtok ve zmíněných časových úsecích zobrazených v tabulce výše (Tabulka 14).

Tabulka 15: Průměrný průtok na Smart vodoměrech v časových úsecích zasahujících do hodin MNP

Skupina	t_{MNP}	$Q_{SM,prům} [m^3]$			$Q_{SM,min}$	$Q_{SM,max}$
		Pracovní	Nepracovní	Celkem		
I	0-6	14.37	9.85	12.97	7.55	22.42
II	1-7	15.17	7.33	12.73	6.02	18.98
III	2-8	22.11	15.11	19.93	11.01	25.99
IV	21-3	27.88	24.94	26.96	22.29	32.30
	3-9	37.53	26.16	33.99	21.19	41.68
V	22-4	12.52	11.56	12.22	9.45	20.29
VI	23-5	11.30	10.00	10.89	8.37	15.43

Tabulka 15 shrnuje průměrné proteklé množství vody $Q_{SM,prům}$ v m^3 , které bylo za sledované období zaznamenáno Smart vodoměry v časových úsecích zasahujících do hodin MNP. Pro lepší přehlednost bylo použito podbarvení barevnou škálou, kde červená značí nejnižší hodnoty a zelená nejvyšší.

Z tabulky je vidět, že hodnoty $Q_{SM,prům}$ jsou v jednotlivých skupinách markantně odlišné. Na první pohled je to způsobeno příliš velkým časovým rozestupem u jednotlivých měření, kdy se v některých případech může stát, že jeden odečet může obsahovat jak obvyklé hodiny s MNP, tak hodiny očekávaných nejvyšších průtoků v síti. Pro smysluplné rozdělení 6hodinových úseků alespoň na jednotlivé hodiny, byl využit denní průběh nátoků do sítě měřený za vodojemem.

Využití dat z nátoků do sítě

Pro další výpočet byly použity hodnoty spočteného Q_p z kapitoly 5.1.1. Jako první byl spočítán koeficient Q , který značí, jaký podíl průměrného průtoků Q_p v danou hodinu do sítě z vodojemu nateče.

Koeficient Q se spočítá dle vztahu:

$$Q = \frac{Q_i}{Q_p}$$

(Rovnice 13)

kde

Q_i ... vybraný průtok za jednotku času [l/s]

Q_p ... celkový průměrný průtok za měřené období [l/s]

Jednotlivé průtoky ze skupin I – VI tak mohly být procentuálně rozděleny podle hodin na základě nátok do sítě:

		Pásmo 0-6 h					
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Skupina I	Čas						
	Pracovní dny	17%	13%	11%	11%	15%	33%
	Nepracovní dny	25%	17%	14%	13%	14%	17%
	Všechny dny	19%	14%	12%	11%	15%	29%

Obrázek 53: Příklad procentuálního rozdělení (pro skupinu I)

Díky procentuálnímu rozdělení mohly být alespoň přibližně rozděleny 6hodinové údaje o spotřebách v síti pro jednotlivé skupiny a následně mohly být sečteny podle časů s MNP.

Tabulka 16: Výsledný součet odhadnutých spotřeb v síti

		Časy s MNP [h]		
		2-3	3-4	
Celkem	Pracovní dny	8.42	8.23	[m ³]
	Nepracovní dny	8.04	7.40	[m ³]
	Všechny dny	8.31	7.97	[m ³]
	Minima	5.56	4.98	[m ³]

Odhad rozdělení průtoků po jednotlivých hodinách pro všechny skupiny jsou z důvodu rozsáhlosti uloženy v elektronické podobě u zpracovatelky DP.

5.1.3 Materiály a DN

Z tabulky, která byla vygenerována z Brněnských GIS systémů byly získány jednotlivé informace o materiálech a jmenovité světlosti

V následující tabulce jsou rozdělena potrubí podle materiálu a DN, zároveň byly délky potrubí přepočítány na DN 150 dle rovnice v kapitole 2.3.1.

Tabulka 17: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu MO Kamenný vrch

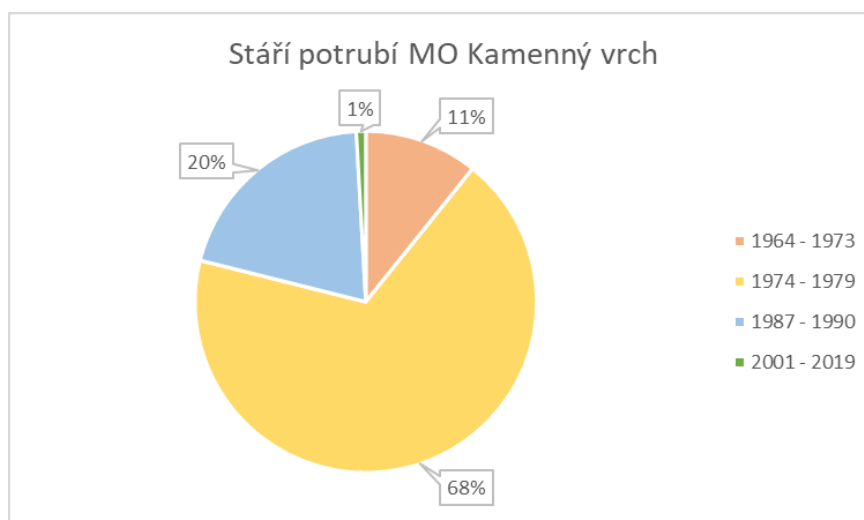
KAMENNÝ VRCH							
Materiál/DN	Tvárná litina	Šedá litina	Ocel	Σ		Přepočet na DN 150	
80	22.26	21.33	0	43.59	[m]	23.1027	[m]
100	2.29	309.67	0	311.96	[m]	209.0132	[m]
150	8.24	4821.49	7.09	4836.82	[m]	4836.82	[m]
200	3.79	247.54	0	251.33	[m]	334.2689	[m]
250	27.06	2432.94	0	2460	[m]	4108.2	[m]
300	0	1571.83	0	1571.83	[m]	3143.66	[m]
350	0	959.22	0	959.22	[m]	2234.983	[m]
400	59.25	461.19	0	520.44	[m]	1389.575	[m]
				Σ		16279.62	[m]

5.1.4 Průměrný tlak v síti

Průměrný tlak v síti byl stanoven dle výsledků měření na požárních hydrantech z prosince roku 2022. V MO Kamenný Vrch probíhalo měření na čtyřech místech. Hodnoty se pohybovaly od 0.50 MPa do 0.72 MPa. Průměrný tlak byl stanoven na 0.59 MPa.

5.1.5 Stáří potrubí

Z evidence společnosti BVK, a.s. bylo možné sestavit koláčový graf stáří potrubí vodovodu v MO Kamenný vrch na základě délky potrubí. Pro zpřehlednění bylo využito rozdělení do skupin podle jednotlivých cca 10letých etap (poslední etapa zahrnuje větší časové období z důvodu nízkého počtu nových km potrubí).



Obrázek 54: Koláčový graf stáří potrubí MO Kamenný vrch

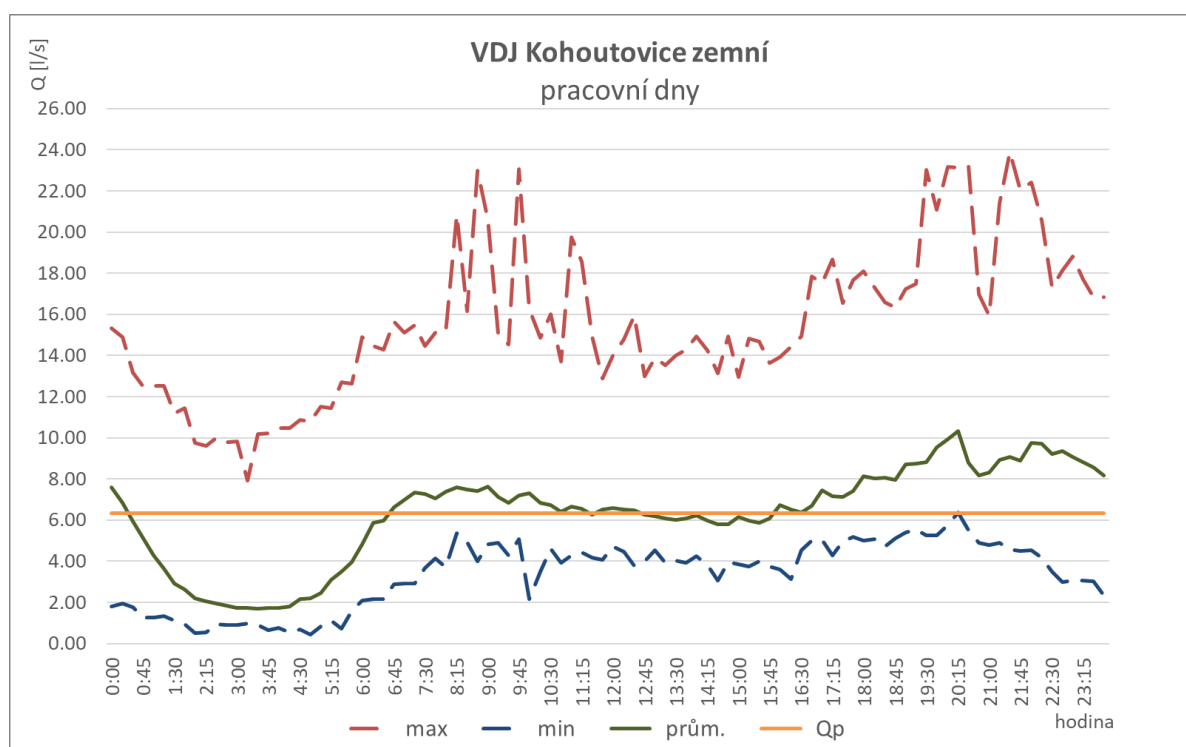
5.2 MO KOHOUTOVICE

5.2.1 Nátok do sítě

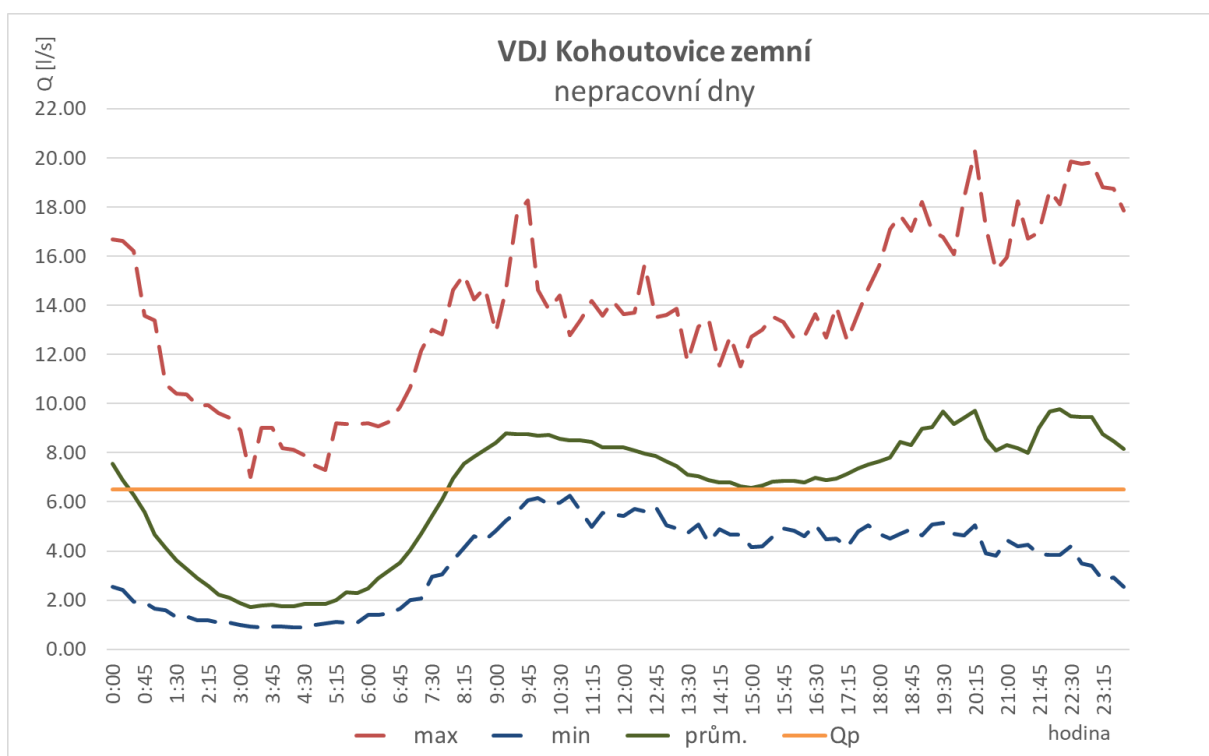
Z měření za zemním vodojemem Kohoutovice byl získán průběh průměrných průtoků po 15 minutách za období 1. 1. 2022 až 28.6. 2023. Po zpracování dat bylo možné určit charakteristické průtoky z VDJ.

Tabulka 18: Charakteristické průtoky z VDJ Kohoutovice zemní

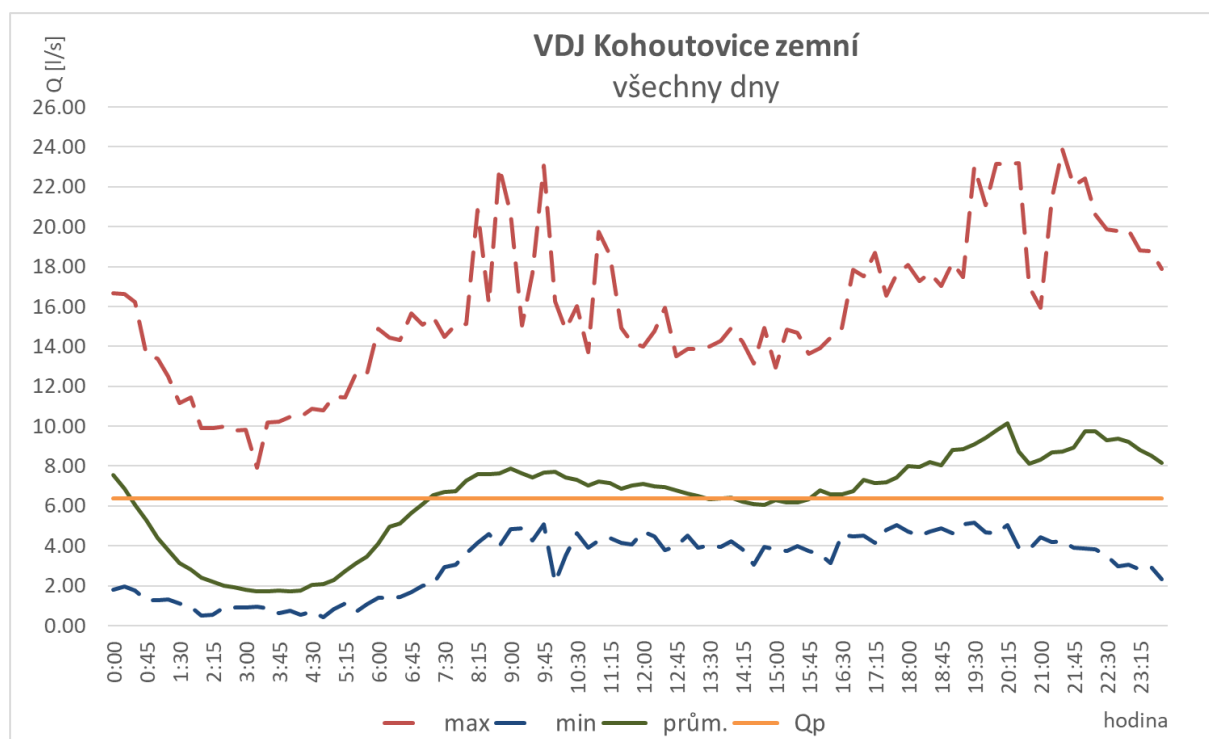
VDJ Kohoutovice zemní		Pracovní dny	Nepracovní dny	Všechny dny
		Q _p	[l/s]	6.34
Q _d	[l/s]	13.85	12.35	13.85
	[m ³ /d]	1196.88	1066.88	1196.88
Q _h	[l/s]	23.878	20.278	23.878
Q _{min}	[l/s]	0.444	0.889	0.444
% Q _p	[%]	0.292	0.568	0.289
k _h	[-]	1.724	1.642	1.724
k _d	[-]	2.184	1.894	2.166



Obrázek 55: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kohoutovice zemní (pracovní dny)



Obrázek 56: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kohoutovice zemní (nepracovní dny)



Obrázek 57: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kohoutovice zemní (všechny dny)

Kompletní vstupní data včetně výpočtů jsou z důvodu velké obsáhlosti uloženy v elektronické podobě u zpracovatelky DP.

5.2.2 Materiály a DN

Z tabulky, která byla vygenerována z Brněnských GIS systémů byly získány jednotlivé informace o materiálech a jmenovité světlosti

V následující tabulce jsou rozdělena potrubí podle materiálu a DN, zároveň byly délky potrubí přepočítány na DN 150 dle rovnice v kapitole 2.3.1.

Tabulka 19: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu MO Kohoutovice zemní

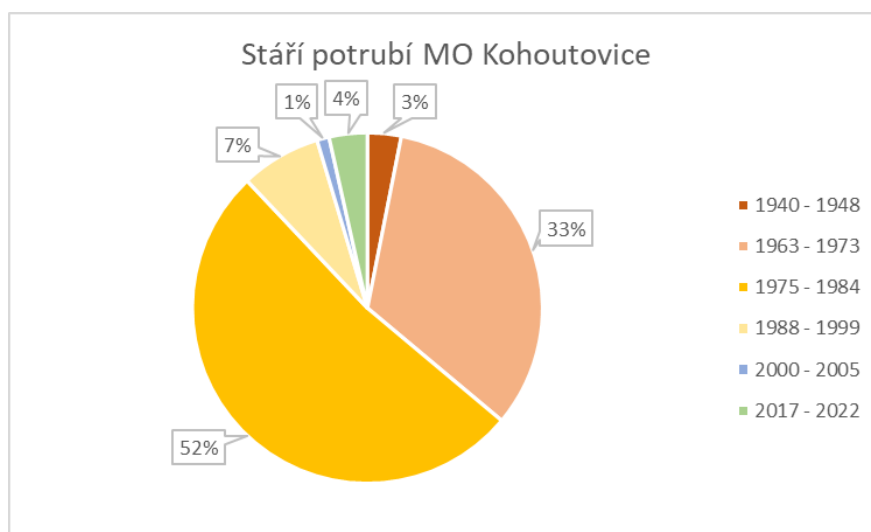
KOHOUTOVICE								
Materiál/DN	Tvárná litina	Šedá litina	Sklolaminát	Ocel	Σ		Přepočet na DN 150	
80	95.72	389.76	0.77	0	486.25	[m]	257.71	[m]
100	302.3	4320.92	1.4	0	4624.62	[m]	3098.50	[m]
150	845.6	2715.23	0.36	0	3561.19	[m]	3561.19	[m]
200	110.55	1478.93	0	0	1589.48	[m]	2114.01	[m]
250	0	297.59	0	0	297.59	[m]	496.98	[m]
300	0	1028.64	0	0	1028.64	[m]	2057.28	[m]
350	0	219.71	0	0	219.71	[m]	511.92	[m]
500	0	0	0	14.77	14.77	[m]	49.18	[m]
						Σ	12146.77	[m]

5.2.1 Průměrný tlak v síti

Průměrný tlak v síti byl stanoven dle výsledků měření na požárních hydrantech z prosince roku 2022. V MO Kohoutovice zemní probíhalo měření na pěti místech. Hodnoty se pohybovaly od 0.55 MPa do 0.71 MPa. Průměrný tlak byl stanoven na 0.63 MPa.

5.2.2 Stáří potrubí

Z evidence společnosti BVK, a.s. bylo možné sestavit koláčový graf stáří potrubí vodovodu v MO Kohoutovice na základě délky potrubí. Pro zpráhlednění bylo využito rozdělení do skupin podle jednotlivých cca 10letých etap.



Obrázek 58: Koláčový graf stáří potrubí

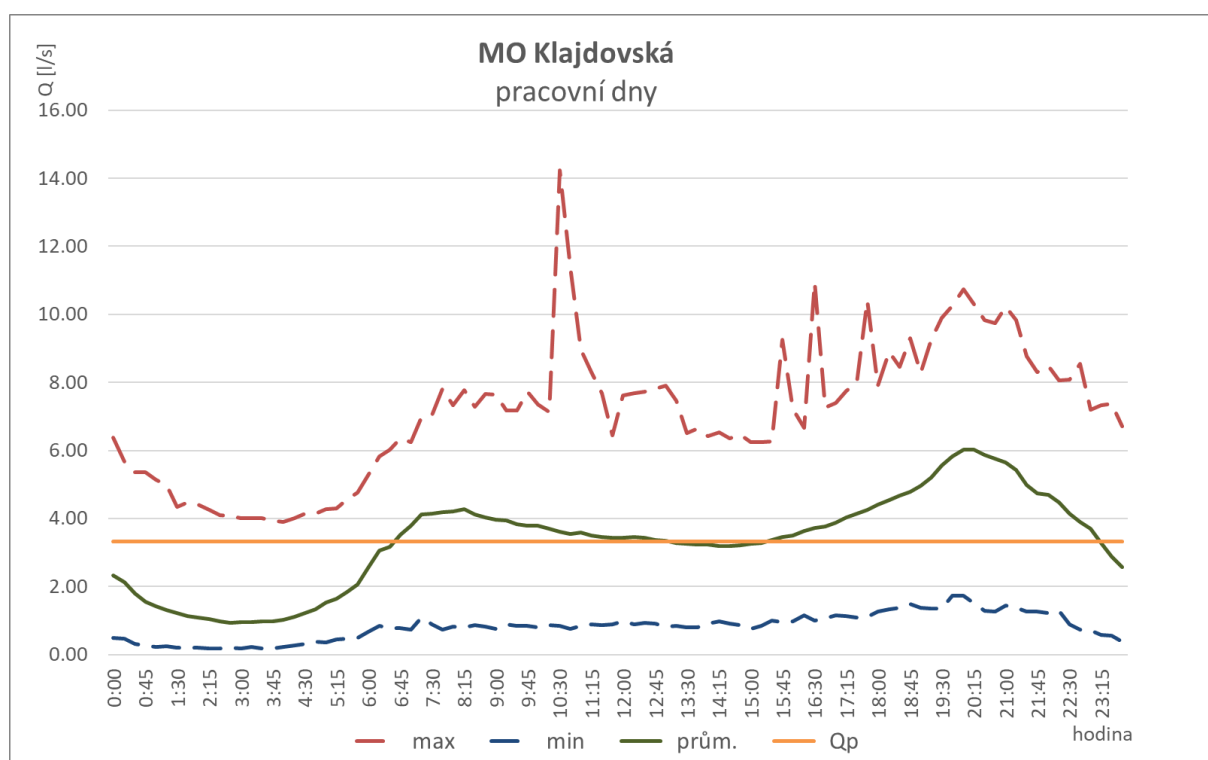
5.3 MO KLAJDOVSKÁ

5.3.1 Nátok do sítě

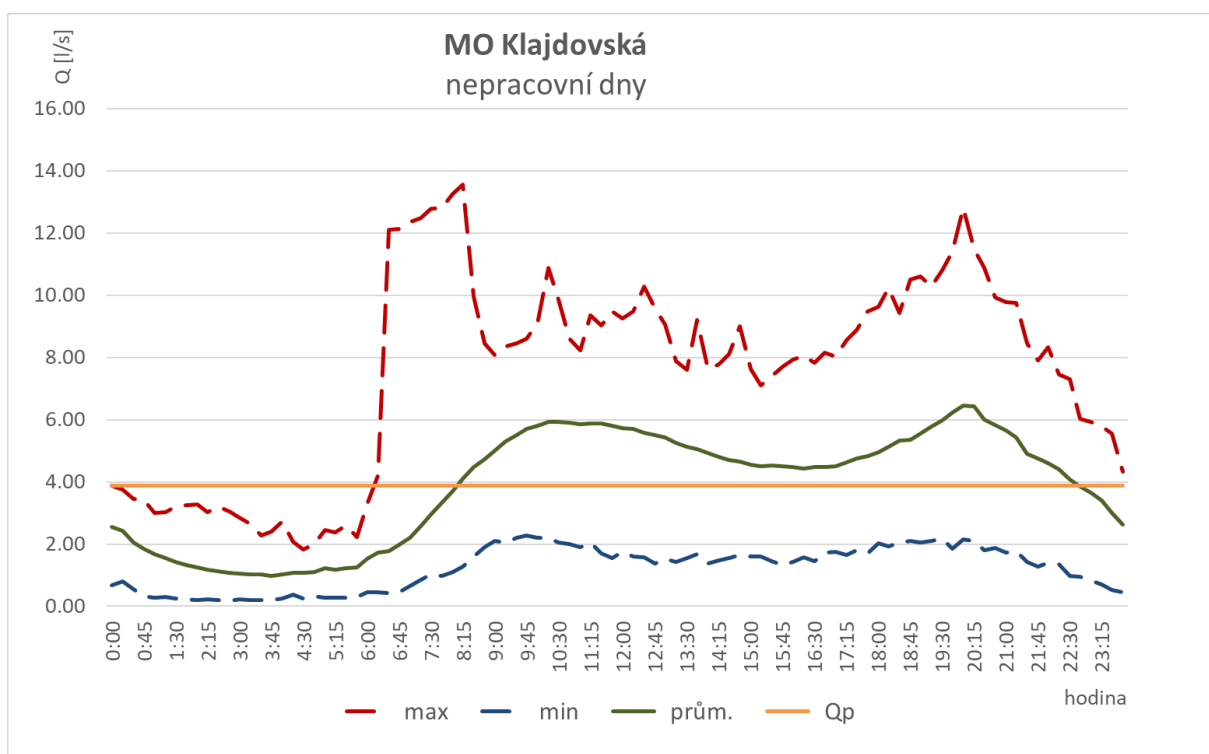
Z měření na předávacím místě na ulici Klajdovská byl získán průběh průměrných průtoků po 15 minutách za období 1. 1. 2022 až 28.6. 2023. Po zpracování dat bylo možné určit charakteristické průtoky na nátoku do MO.

Tabulka 20: Charakteristické průtoky na nátoku do MO Klajdovská

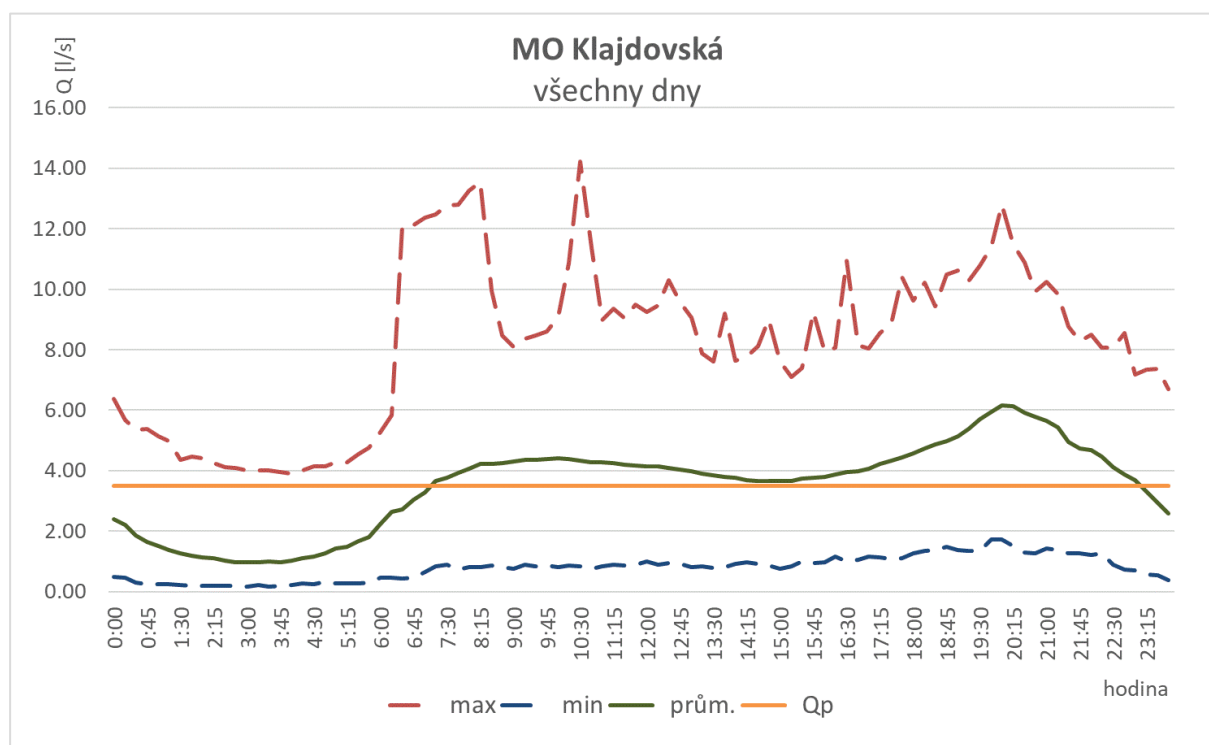
MO Klajdovská		Pracovní dny	Nepracovní dny	Všechny dny
		Q_p	[l/s]	3.33
Q_d	[l/s]	5.57	5.80	5.80
	[m ³ /d]	480.92	501.14	501.14
Q_h	[l/s]	18.721	13.562	14.227
Q_{min}	[l/s]	0.176	0.182	0.176
% Q_p	[%]	0.220	0.196	0.209
k_h	[-]	3.363	2.338	2.453
k_d	[-]	1.671	1.494	1.657



Obrázek 59: Charakteristické průběhy průtoků na nátoku do MO Klajdovská (pracovní dny)



Obrázek 60: Charakteristické průběhy průtoků na nátoku do MO Klajdovská (nepracovní dny)



Obrázek 61: Charakteristické průběhy průtoků na nátoku do MO Klajdovská (všechny dny)

Kompletní vstupní data včetně výpočtů jsou z důvodu velké obsáhlosti uloženy v elektronické podobě u zpracovatelky DP.

5.3.2 Materiály a DN

Z tabulky, která byla vygenerována z Brněnských GIS systémů byly získány jednotlivé informace o materiálech a jmenovité světlosti

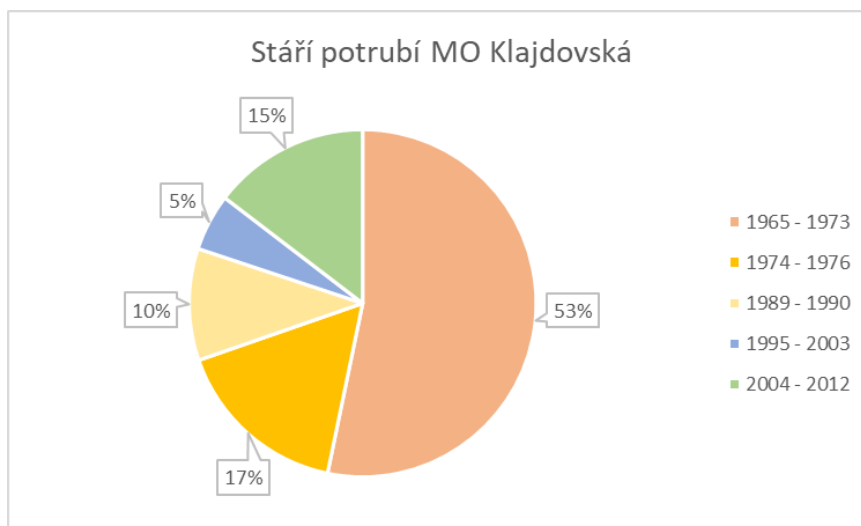
V následující tabulce jsou rozdělena potrubí podle materiálu a DN, zároveň byly délky potrubí přepočítány na DN 150 dle rovnice v kapitole 2.3.1.

Tabulka 21: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu MO Klajdovská

KLAJDOVSKÁ								
Materiál/DN	Tvárná litina	Šedá litina	PVC	Ocel	Σ		Přepočet na DN 150	
50	0	2.61	0	0	2.61	[m]	0.87	[m]
80	426	827.62	0	127.83	1381.45	[m]	736.7733	[m]
90	0	0	6.74	0	6.74	[m]	4.044	[m]
100	2272.07	4925.29	0	0	7197.36	[m]	4798.24	[m]
110	0	0	1382.98	0	1382.98	[m]	1014.185	[m]
150	168.33	1166.33	0	0	1334.66	[m]	1334.66	[m]
200	0	307.95	0	0	307.95	[m]	410.6	[m]
					Σ		8299.373	[m]

5.3.3 Stáří potrubí

Z evidence společnosti BVK, a.s. bylo možné sestavit koláčový graf stáří potrubí vodovodu v MO Klajdovská na základě délky potrubí. Pro zpřehlednění bylo využito rozdělení do skupin podle jednotlivých cca 10letých etap.



Obrázek 62: Koláčový graf stáří potrubí

5.4 SKUPINOVÝ VODOVOD TUČAPY – KOMOŘANY - PODBŘEŽICE

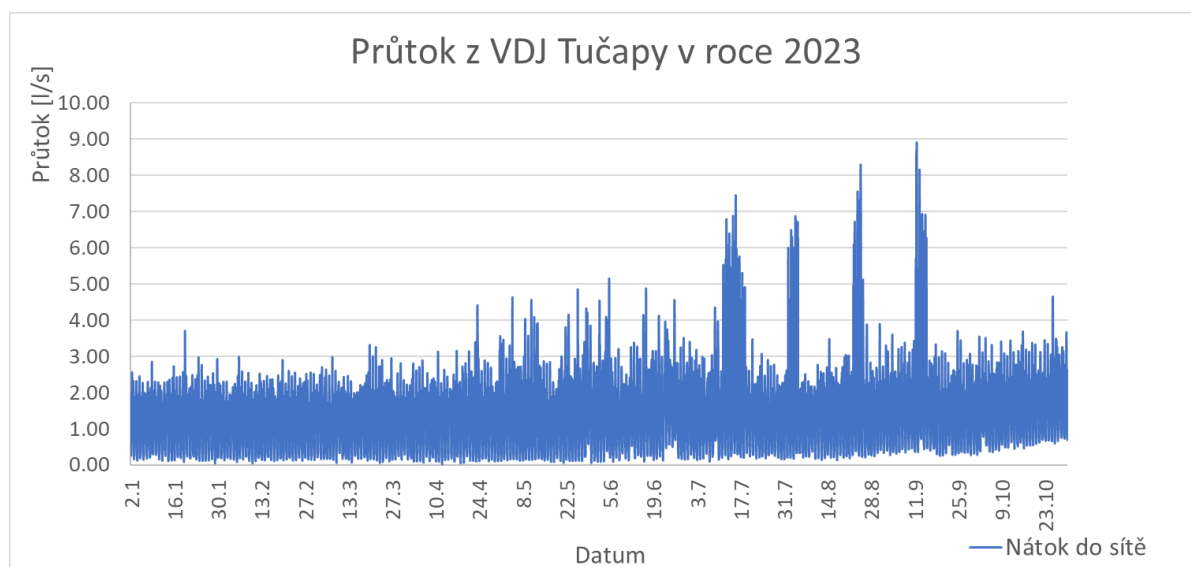
5.4.1 Nátok z vodojemu do sítě

V armaturní komoře vodojemu je na odtoku umístěn vodoměr, na který ale nebylo možné nasadit datalogger. Vodoměr je připojen k vlastnímu systému společnosti Insta CZ, který byl vytvořen společností GDF. Jelikož ale nebyl systém dlouhou řadu let nijak aktualizován, nebylo možné jednoduše dostat z připojeného počítače data o průtocích. Pracovníci společnosti Insta CZ mohli sledovat průtoky v podobě denních grafů prostřednictvím aplikace v mobilním telefonu, nebylo však možné vidět a případně stáhnout souhrnná data za delší období (např. rok).

Společnost GDF ve spolupráci s vedoucím provozu řešeného vodovodu nakonec dokázala zpětně získat data o průtocích za období od 1. 1. 2023 do 22. 11. 2023.

Tabulka 22: Charakteristické průtoky z VDJ Tučapy

VDJ Tučapy		Všechny dny
Q_p	[l/s]	1.57
Q_{min}	[l/s]	0.038
% Q_p	[%]	0.100



Obrázek 63: Ukázka průběhu nátoku do sítě z VDJ během období 01/2023–11/2023

Z grafu výše (Obrázek 63) je možné vidět postupné zvyšování hodnot MNP, ke kterému v síti docházelo už od letních prázdnin.

5.4.2 Zjišťování nátoků do jednotlivých obcí

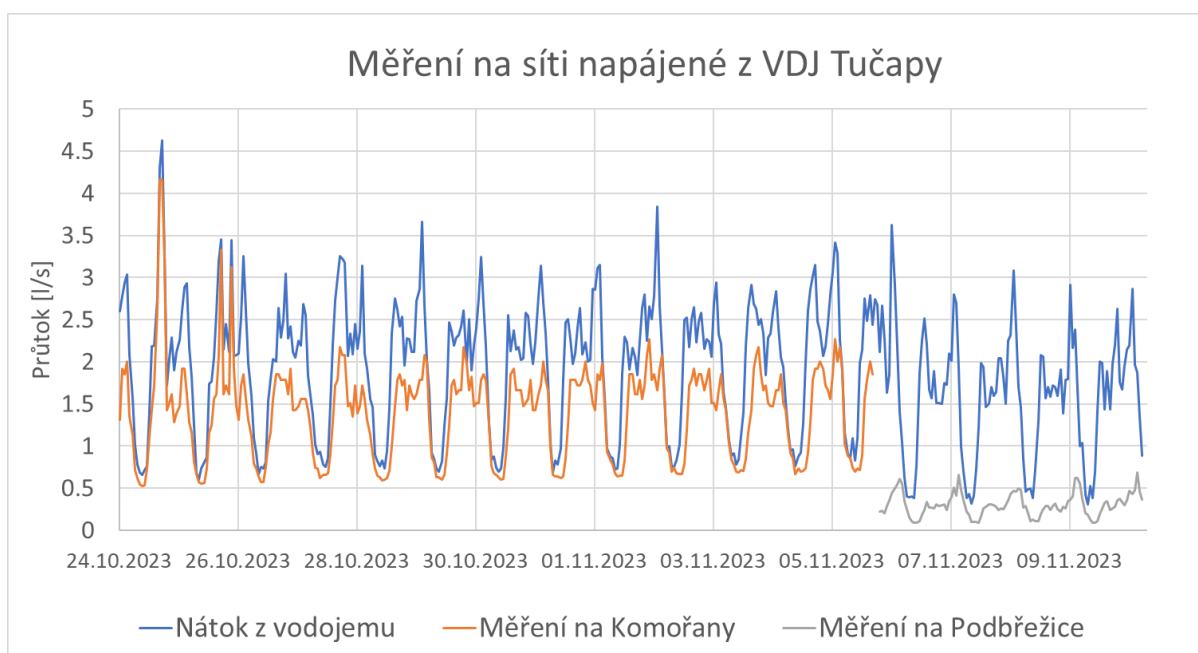
Na síti se nachází tři vodoměry, avšak dva z nich nepřenáší data o průtocích online. Třetí průtokoměr, který je schopen přenášet údaje o průtocích nepřetržitě, se nachází ve vodojemu Tučapy. V případě zaznamenání větších/neobvyklých průtoků je následně místo úniku detekováno operativně pomocí instalace měřidel po síti.

Pro měření byl použit datalogger od společnosti H. Meinecke s nasouvacím opto snímačem. Hodnoty průtoků byly získány díky měření v terénu, které probíhalo od 23. 10. do 6. 11. 2023.

Měření nemohlo z technických důvodů probíhat souběžně, proto probíhalo nejprve měření na nátoku do Komořan v měrné šachtě v obci Tučapy (jedná se o průtoky společné pro obce Komořany a Podbřežice) a následně na nátoku pouze do Podbřežic v měrné šachtě v katastru Komořan (jedná se o průtok pouze pro Podbřežice).



Obrázek 64: Vodoměrná šachta v Tučapech (vlevo) a instalace dataloggeru v šachtě (vpravo)



Obrázek 65: Měření na síti napájené z VDJ Tučapy

Měření probíhalo shodou okolností v době, kdy byla pracovníky společnosti Insta CZ hledána porucha na síti, ve dnech, kdy probíhalo měření na Podbřežice byla již porucha odstraněna, což je možné vidět v grafu (Obrázek 65) zaměříme-li se na noční průtoky na nátoku z vodojemu. Porucha se nacházela na vodovodu v obci Komořany.



Obrázek 66: Zaznamenání zjevného úniku na vodovodu v Komořanech (vlevo) a následný výkop (vpravo)



Obrázek 67: K poruchám zde dochází nejčastěji v místech spojů

5.4.3 Materiály a DN

Z mapy vodovodu Tučapy – Komořany – Podbřežice byly získány jednotlivé informace o materiálech a jmenovité světlosti, jež byla následně přepočítána na DN 150 dle rovnice v kapitole 2.3.1.

Tabulka 23: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Tučapy

TUČAPY		
Materiál/DN	PVC	Přepočet na DN 150
90	2164	1298.4 [m]
110	768	563.2 [m]
225	1300	1950 [m]
	Σ	3811.6 [m]

Tabulka 24: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Komořany

KOMOŘANY			
Materiál/DN	PVC	PE	Přepočet na DN 150
50	0	850.4	283.5 [m]
90	1439.5	0	863.7 [m]
110	2399.8	0	1759.9 [m]
160	1470.9	0	1569.0 [m]
		Σ	4476.0 [m]

Tabulka 25: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Podbřežice

PODBŘEŽICE		
Materiál/DN	PE	Přepočet na DN 150
63	330.8	138.9 [m]
90	1017.4	610.4 [m]
110	2111.4	1548.4 [m]
		Σ 2297.7 [m]

5.4.4 Průměrný tlak v síti

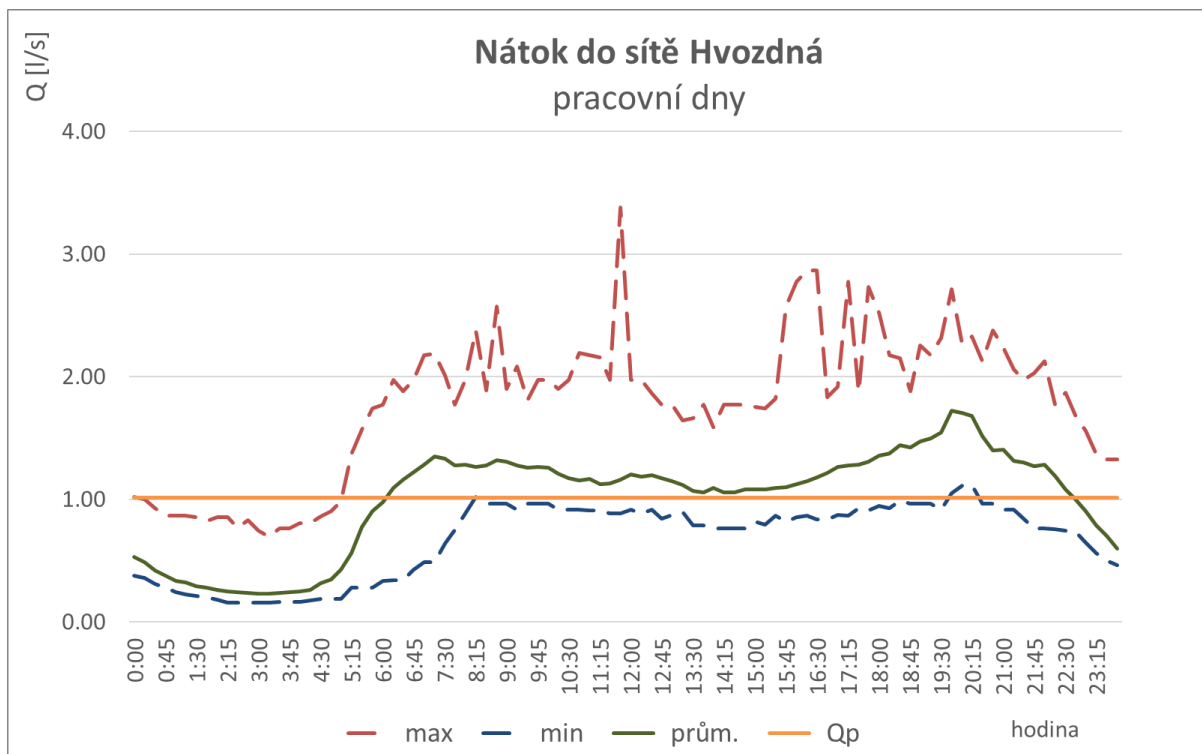
Průměrný tlak v síti byl stanoven na základě Zprávy o kontrole požárního vodovodu dle ČSN 73 07 73 z roku 2023. V Tučapech byla naměřena průměrná hodnota tlaku 0.30 MPa, v Komořanech 0.31 MPa a v Podbřežicích, kde je tlak redukováný, 0.26 MPa. Tlaky v síti příliš nekolísají, na což má vliv i poměrně rovinný terén ve všech třech obcích i charakter spotřebiště.

5.5 VODOVOD HVOZDNÁ

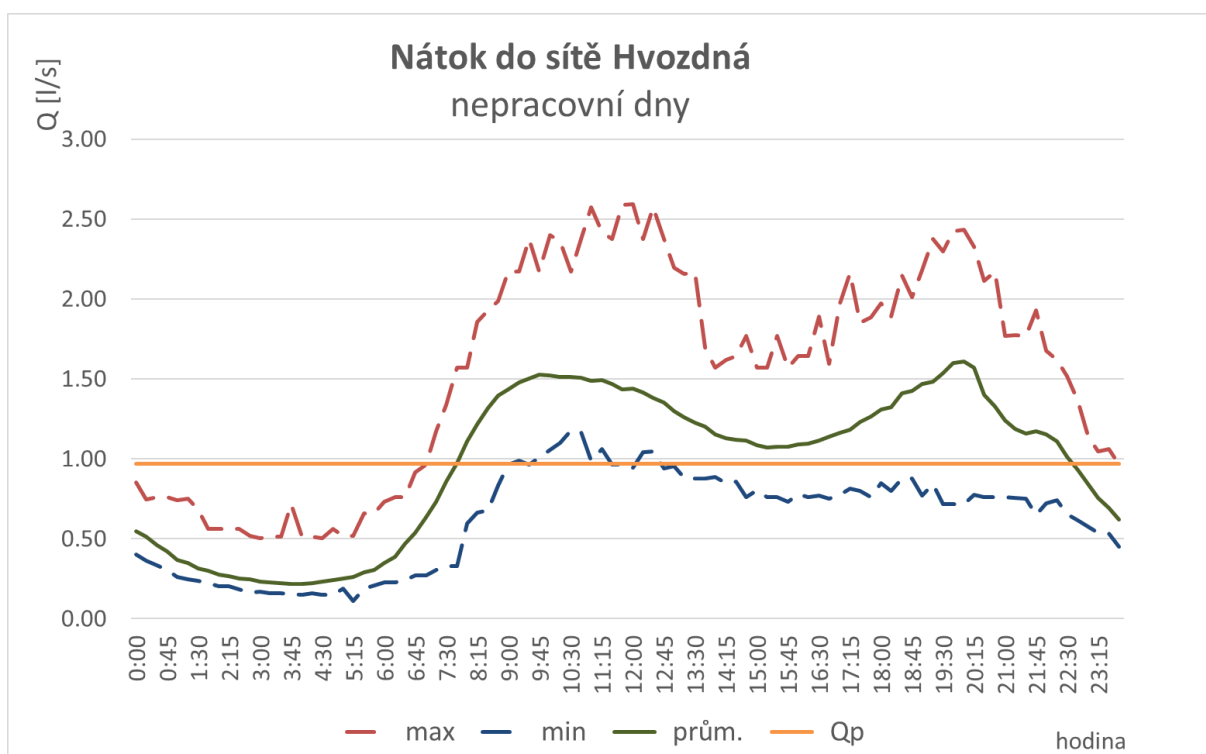
5.5.1 Nátok z vodojemu do sítě

Tabulka 26: Charakteristické průtoky vodovod Hvozdná

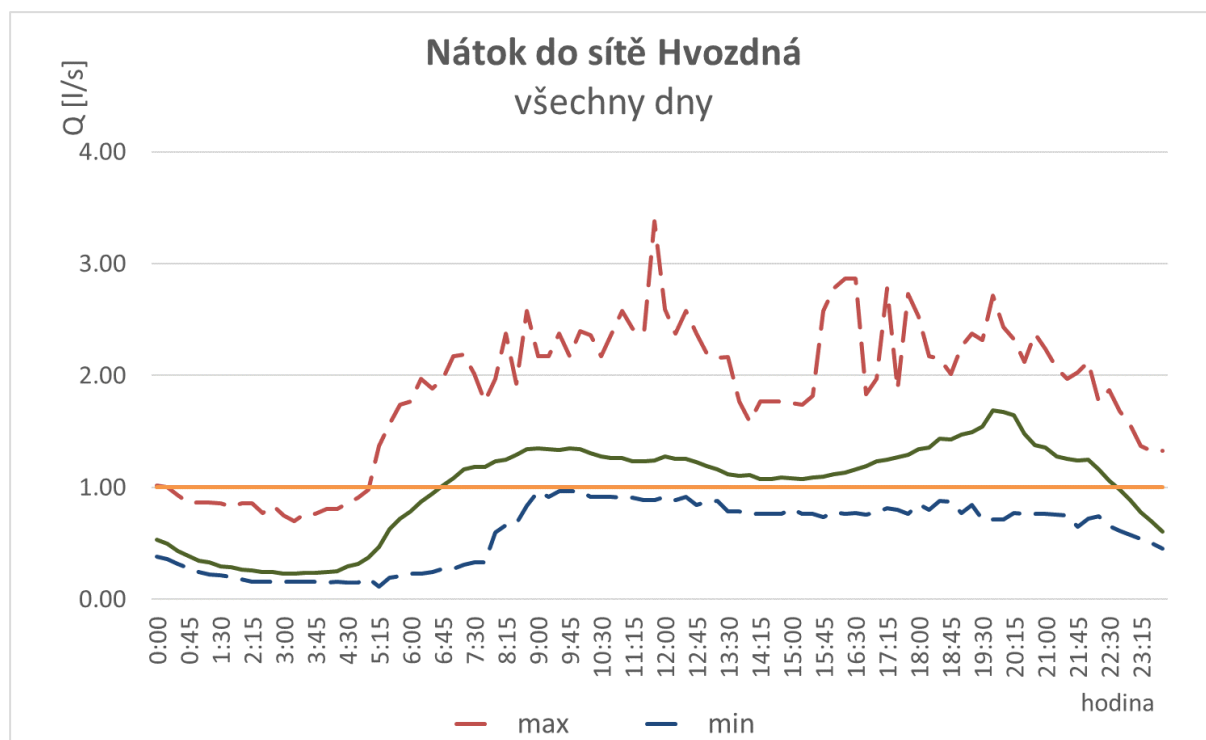
Hvozdná		Pracovní dny	Nepracovní dny	Všechny dny
		Q_p	[l/s]	1.01
Q_d	[l/s]	1.26	1.24	1.26
	[m ³ /d]	109.14	107.03	109.14
Q_h	[l/s]	3.381	2.593	3.381
Q_{min}	[l/s]	0.156	0.111	0.111
% Q_p	[%]	15.394	11.419	11.092
k_h	[-]	2.677	2.093	2.677
k_d	[-]	1.246	1.274	1.262



Obrázek 68: Charakteristické průběhy průtoků vodovod Hvozdná (pracovní dny)



Obrázek 69: Charakteristické průběhy průtoků vodovod Hvozdná (nepracovní dny)



Obrázek 70: Charakteristické průběhy průtoků vodovod Hvozdná (všechny dny)

5.5.2 Materiály a DN

Z GIS mapy vodovodu Hvozdná byly získány jednotlivé informace o materiálech a jmenovité světlosti, jež byla následně přepočítána na DN 150 dle rovnice v kapitole 2.3.1.

Tabulka 27: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Hvozdná

HVOZDNÁ			
Materiál/DN	PE	Přepočet na DN 150	
63	5200.2	2184.1	[m]
90	6826.7	4096.0	[m]
110	1265.6	928.1	[m]
125	355.0	295.8	[m]
Σ		7504.1 [m]	

5.5.3 Průměrný tlak v síti

Hodnota průměrného tlaku byla stanovena na základě měření tlaku na hydrantech v obci Hvozdná v rámci proplachu vodovodu, který v obci probíhal na přelomu měsíců října a listopadu roku 2023. Z celkem 56 vybraných úseků vodovodu byl tlak změřen na 42 z nich. Měření probíhalo po celém vodovodu. Průměrný tlak byl stanoven na 0.45 MPa.

Tabulka 28: Výsledky měření tlaku na hydrantech v obci Hvozdná

Úsek	P [bar]	Úsek	P [bar]	Úsek	P [bar]	Úsek	P [bar]
1	6.7	16	7.0	36	3.7	48	2.6
2	6.8	17	4.7	37	3.2	49	4.0
3	6.8	18	4.6	38	2.3	50	4.2
4	5.5	19	4.4	40	2.5	51	5.6
5	4.7	22	5.7	41	6.2	52	5.2
7	4.7	30	3.7	42	4.7	53	4.2
8	4.7	31	3.7	43	5.2	54	3.6
10	4.8	32	4.6	44	3.3	55	3.6
12	4.0	33	5.3	45	5.0	56	2.7
14	4.4	34	5.5	46	4.6	øP = 4.5 bar	
15	4.0	35	4.3	47	2.7		

6 VYHODNOCENÍ ZTRÁT VODY VE VYBRANÝCH LOKALITÁCH

6.1 MO KAMENNÝ VRCH

Vzhledem k tomu, že MO Kamenný vrch je z velké části osazen Smart vodoměry, bylo možné spočítat ztráty na základě znalosti jak hodnot MNP v podobě $Q_{p,MNP}$, který představuje průměrný průtok z VDJ v době od 2:00 do 4:00, dále celkového průměrného průtoku Q_p a skutečné spotřeby naměřené na Smart vodoměrech Q_{SM} . Způsob, jakým se získaly tyto hodnoty popisuje kapitola 5.1.

Tabulka 29: MO Kamenný vrch – $Q_{p,MNP}$, $Q_{SM,p}$, Q_p

	Čas s MNP	
	2-4	
	[m ³]	[l/s]
Q_{SM}	16.28	2.26
$Q_{p,MNP}$	17.57	2.44
PRŮMĚRNÝ PRŮTOK V SÍTI		
Q_p [l/s]	9.77	

6.1.1 Skutečné ztráty

Skutečné ztráty zjistíme jednoduchým odečtem:

(Rovnice 14)

$$SZ = Q_{p,MNP} - Q_{SM,MNP}$$

kde:

SZ... skutečné ztráty [l/s]

$Q_{p, MNP}$... průměrný nátok do sítě v době MNP

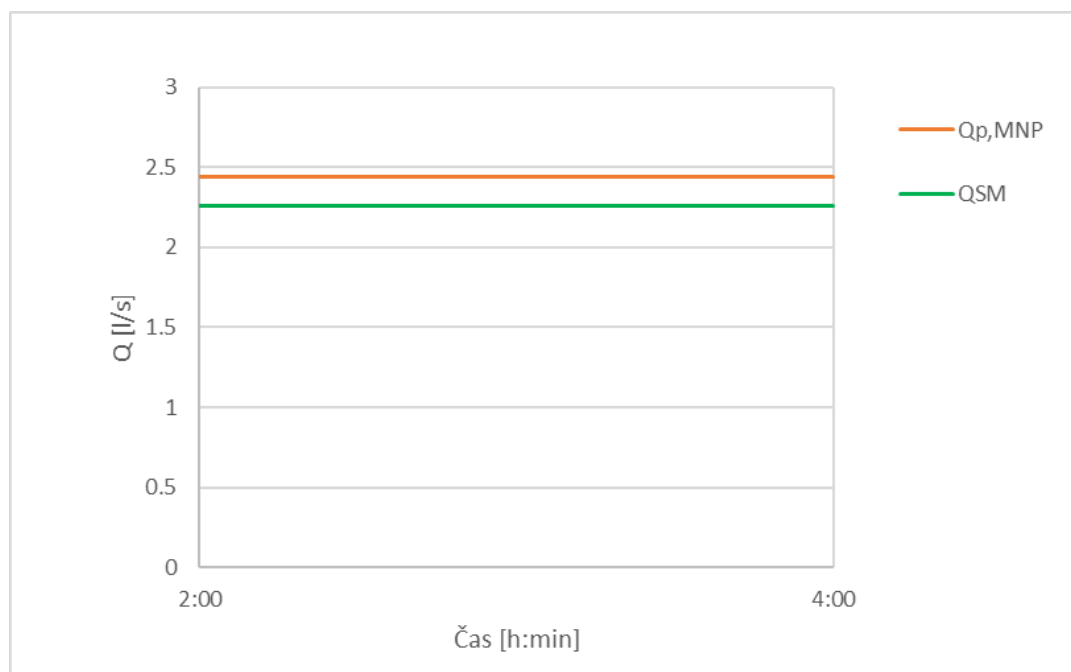
$Q_{SM, MNP}$... průměrná spotřeba v době MNP

Tabulka 30: Výsledné hodnoty SZ pro MO Kamenný vrch

SKUTEČNÉ ZTRÁTY		
SZ	0.18 l/s	
	5632.69 m ³ /rok	
SZ/ Q_p	1.8%	

Tabulka 30 shrnuje výsledné hodnoty SZ a zároveň je zde vyjádřeno procentuální zastoupení skutečných ztrát

6.1.2 Dekompozice MNP



Obrázek 71: Porovnání hodnot nátoku do MO a skutečné spotřeby

Z grafu (Obrázek 71) a také z procentuálního vyjádření v tabulce výše je zřejmé, že mezi nátokem do sítě a skutečnou spotřebou je pouze minimální rozdíl. Tato skutečnost značí minimální podíl skutečných ztrát a v souladu s kapitolou 3 můžeme konstatovat bez dalších výpočtů, že v tomto případě jsou skutečné ztráty SZ rovny teoreticky nevyhnutelným ztrátám TNZ.

6.1.3 Kontrola správnosti výpočtu

Jelikož byly hodnoty spotřeby v době MNP určeny pouze orientačně (kapitola 5.1.2), je vhodné si ověřit hodnotu vypočítaných skutečných ztrát.

Z BVK byly poskytnuty údaje o hodnotách VNF a VVR v průběhu let. SZ jsou v tomto případě v jednotkách l/s. Přepočtem SZ na jednotky m^3/rok je možné porovnat, zda se vypočtené teoretické hodnoty blíží skutečným ročním hodnotám v procentuálním vyjádření z VVR.

Výsledkem kontroly byla velká podobnost hodnot spočtených v rámci DP s ročními výkazy BVK. VNF v MO Kamenný vrch činila v roce 2021 1.7 % VVR a v roce 2022 1.1 %. V DP je vypočítáno 1.8 %. Spočtená hodnota je ale stále ještě orientační, jelikož výpočet se týkal pouze dvou měsíců roku 2023.

6.1.4 Hodnoty ILI

Jelikož existuje více způsobů (kapitola 2.5.1) pro výpočet ILI, bylo zvoleno několik z nich, aby tak bylo možné vidět, zda se hodnoty odlišují:

1) Výpočet podílem SZ a TNZ

V případě, kdy by byly SZ rovny TNZ, jak naznačují výsledky dekompozice MNP (kapitola 6.1.2), byl by po výpočtu (Rovnice 4) ILI roven 1.

2) Výpočet přes empirický vzorec pro TNZ

Výpočet ILI (Rovnice 4) je veden přes TNZ spočtené empirickým vzorcem (Rovnice 5).

Tabulka 31: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ

L_m	10.955	km
P	59	m.v.sl.
N_s	161	ks
L_p	10	m
TNZ	2589.6	m ³ /rok
ILI	2.18	

3) Výpočet pomocí VNFP

Výpočet ILI (Rovnice 6) je založen na hodnotě VNFP (Rovnice 7).

Tabulka 32: Výpočet ILI pomocí VNFP

VNF	3399000	l
PP	161	ks
VNFP	57.84	l
ILI	1.12	

4) Výpočet pomocí JUVNF

Výpočet ILI (Rovnice 8) je pomocí hodnot JUVNF (Rovnice 3), které byly získány přepočtem délky potrubí (Tabulka 17).

Tabulka 33: Výpočet ILI pomocí JUVNF

VNF	5632.69	m ³ /rok
L_{přep}	16.28	km
JUVNF	346.00	m ³ /km/rok
ILI	1.49	

Vyhodnocení

Tabulka 34: Shrnutí hodnot ILI dle různých výpočtů

Způsob výpočtu	ILI
1	1
2	2.18
3	1.12
4	1.49

Vypočítané hodnoty ILI se pohybují v rozmezí 1 – 2.18. Podle kategorizace ILI (kapitola 2.5.1) by hodnota ILI měla být ideálně 1, avšak pokud není hodnota vyšší než 2, je snižování

neekonomické. To znamená, že 3 ze 4 vypočtených hodnot nepřesahují hranici 2 a další snaha o snižování by nebyla ekonomická.

Z výsledků se více vychyluje hodnota ILI 2.18, která byla spočtena pomocí empirického vzorce TNZ. Jelikož se jedná o jedinou hodnotu přesahující hranici 2 a s uvážením způsobu výpočtu není brána tato hodnota ILI jako směrodatná pro další výpočet.

6.2 MO KOHOUTOVICE

Údaje o průtocích ve vodovodu v MO Kohoutovice byly poskytnuty ve formě nátok do sítě z VDJ Kohoutovice zemní. Bylo tedy možné vyhodnotit MNP v podobě Q_{MNP} , který představuje průměrný minimální průtok z VDJ v době od 2:00 do 4:00 a celkový průměrný průtok Q_p .

Jelikož pro účely výpočtu nejsou známa data o spotřebě v MO, postup následuje metodiku z kapitoly Metodika vyhodnocování ILI podle minimálních nočních průtoků.

6.2.1 Dekompozice MNP

Tabulka 35: MO Kohoutovice – Q_p a Q_{MNP}

	Čas s MNP	
	2-4	
	[m ³]	[l/s]
$Q_{p,MNP}$	12.44	1.73
PRŮMĚRNÝ PRŮTOK V SÍTI		
Q_p [l/s]	6.40	
PODÍL Q_p		
Q_{MNP}/Q_p [%]	26.99	

Hodnoty Q_{MNP} by měly orientačně činit 19.2–24.0 %. V MO Kohoutovice se jedná o téměř 27 %, což bylo ale vyhodnoceno jako přijatelné, vezmeme-li v úvahu charakter spotřebiště. Z výše uvedené metodiky by bylo sice možné využít navrženou metodu PERT, jelikož ale není znám počet zásobovaných obyvatel (díky kterému by bylo možné určit podíl spotřeby v Q_p), nebylo metody PERT využito.

Orientační doporučené hodnoty MNP

Protože metodu PERT v tomto případě nelze efektivně použít, hodnoty TNZ, SZ a skutečné spotřeby budou orientačně odhadnuty dle doporučených hodnot (Rovnice 9) a (Rovnice 10).

Skutečné ztráty budou orientačně stanoveny, jako zbytek z vypočítaných 26.99 % Q_p po odečtení orientační hodnoty 19.2–24 % Q_p .

Vzhledem k charakteru spotřebiště (nachází se zde několik velkoodběratelů kteří navyšují denní průtoky) byla zvolena nejnižší hodnota orientačního podílu, to znamená 19.2 % Q_p

Tabulka 36: Orientačně stanovená hodnota SZ (MO Kohoutovice)

Q_p [l/s]	6.40
$Q_{p,MNP}$ [l/s]	1.73
19.2 % Q_p [l/s]	1.23
SZ [l/s]	0.50
SZ [%]	7.79

6.2.2 Hodnoty ILI

1) Výpočet podílem SZ a TNZ

Z výsledků uvedených výše je možné orientačně stanovit hodnotu ILI:

(Rovnice 15)

$$ILI = SZ/x$$

kde

ILI... infrastructure leakage index [-]

SZ... skutečné ztráty vody [%]

x... hodnota v rozptylu 6.4–8 %

Tabulka 37: Určení ILI dle orientačních hodnot

SZ	7.8	%
x	6.4 - 8.0	%
ILI	1.00 - 1.21	

2) Výpočet přes empirický vzorec pro TNZ

Výpočet ILI (Rovnice 4) je veden přes TNZ spočtené empirickým vzorcem (Rovnice 5).

Tabulka 38: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ

L_m	11.82	km
P	63	m.v.sl.
N_s	455	ks
L_p	10	m
TNZ	7402.0	m ³ /rok
ILI	2.12	

Hodnoty ILI stanovené na základě navržené metodiky se pohybují v rozmezí 1 – 1.21. Podle kategorizace ILI (kapitola 2.5.1) by hodnota ILI měla být ideálně 1, avšak pokud není hodnota vyšší než 2, je snižování neekonomické. Hodnoty nepřesahují hranici 2 a další snaha o snižování by nebyla ekonomická.

Výpočtem ILI pomocí empirického vzorce bylo dosaženo hodnoty 2.12, avšak hodnota SZ vstupující do výpočtu byla převzata z dekompozice (kapitola 6.2.1) podle metodiky.

6.3 MO KLAJDOVSKÁ

Údaje o průtocích ve vodovodu v MO Klajdovská byly poskytnuty ve formě nátoku do sítě z měrné šachty. Bylo tedy možné vyhodnotit MNP v podobě Q_{MNP} , který představuje průměrný minimální průtok z VDJ v době od 2:00 do 4:00 a celkový průměrný průtok Q_p .

Jelikož pro účely výpočtu nejsou známa data o spotřebě v MO, postup následuje metodiku z kapitoly Metodika vyhodnocování ILI podle minimálních nočních průtoků, stejně jako v kapitole MO Kohoutovice 6.2.

6.3.1 Dekompozice MNP

Tabulka 39: MO Klajdovská – Q_p a Q_{MNP}

	Čas s MNP	
	2-4	
	[m ³]	[l/s]
$Q_{p,MNP}$	6.98	0.97
PRŮMĚRNÝ PRŮTOK V SÍTI		
Q_p [l/s]	3.50	
PODÍL Q_p		
Q_{MNP}/Q_p [%]	27.66	

Orientační doporučené hodnoty MNP a odvození ILI

Skutečné ztráty budou orientačně stanoveny, jako zbytek z vypočítaných 27.66 % Q_p po odečtení orientační hodnoty 19.2–24 % Q_p .

Vzhledem k charakteru spotřebiště (nachází se zde několik velkoodběratelů kteří navyšují denní průtoky) byla zvolena nejnižší hodnota orientačního podílu, to znamená 19.2 % Q_p

Tabulka 40: Orientačně stanovená hodnota SZ (MO Klajdovská)

Q_p [l/s]	3.50
$Q_{p,MNP}$ [l/s]	0.97
19.2 % Q_p [l/s]	0.67
SZ [l/s]	0.30
SZ [%]	8.46

ILI byl orientačně stanoven na základě rovnice (Rovnice 10).

Tabulka 41: Určení ILI dle orientačních hodnot

SZ	8.5	%
x	6.4 - 8.0	%
ILI	1.06 - 1.33	

Orientačně stanovené hodnoty ILI se pohybují v rozmezí 1.06 – 1.33. Podle kategorizace ILI (kapitola 2.5.1) by hodnota ILI měla být ideálně 1, avšak pokud není hodnota vyšší než 2, je snižování neekonomické. Hodnoty nepřesahují hranici 2 a další snaha o snižování by nebyla ekonomická.

6.4 SKUPINOVÝ VODOVOD TUČAPY – KOMOŘANY – PODBŘEŽICE

Údaje o průtocích ve skupinovém vodovodu byly poskytnuty ve formě nátoky do sítě z VDJ Tučapy. Bylo tedy možné vyhodnotit MNP v podobě Q_{MNP} , který představuje průměrný minimální průtok z VDJ v době od 2:00 do 4:00 a celkový průměrný průtok Q_p .

Jelikož pro účely výpočtu nejsou naměřená data o spotřebě použitelná (mohou sloužit spíše ke srovnání), postup následuje metodiku z kapitoly Metodika vyhodnocování ILI podle minimálních nočních průtoků.

6.4.1 Dekompozice MNP

Jelikož se hodnoty MNP na začátku roku 2023 pohybovaly pod hranicí 8 % z Q_p , bylo bezpředmětné provádět další analýzu. Ke konci roku, konkrétně v měsíci říjnu a listopadu (kdy zároveň probíhalo měření na síti) se hodnoty Q_{MNP} výrazně zvedly z cca 0.10 na 0.28 l/s. Následující data charakterizují období od 1.10. 2023 do 22. 11. 2023.

Tabulka 42: VDJ Tučapy – Q_p a Q_{MNP}

	Čas s MNP	
	2-4	
	[m ³]	[l/s]
$Q_{p,MNP}$	2.02	0.28
PRŮMĚRNÝ PRŮTOK V SÍTI		
Q_p [l/s]	1.55	
PODÍL Q_p		
Q_{MNP}/Q_p [%]	18.06	

Metoda PERT

a) **Optimistický odhad** a charakterizuje nejmenší možné skutečné ztráty, tedy skutečná spotřeba by byla co nejbližší hodnotám Q_{MNP}

$$a = 0.28 \text{ l/s}$$

b) **Modus (nejpravděpodobnější odhad)** m je nejpravděpodobnější hodnota skutečné spotřeby, kterou je nutné zvolit odborným odhadem. Odhad bude založen na aktivitě obyvatel v době MNP (3–10 % aktivních obyvatel). Vzhledem k charakteru spotřebiště (jedná se o tři malé vesnice) je zvolena hodnota 3 % z celkem 1613 zásobovaných obyvatel.

$$m = Q_p \times 3 \% = 0.047 \text{ l/s}$$

c) **Pesimistický odhad** b předpokládá největší ztráty, tedy spotřeba klesá na 0, MNP tvoří pouze skutečné ztráty.

$$b = 0.00 \text{ l/s}$$

Očekávaná hodnota je spočítána podle (Rovnice 11):

$$t_e = \frac{0.28 + 4 \times 0.047 + 0}{6} = 0.078 \text{ l/s}$$

Směrodatnou odchylku výsledných hodnot vypočítáme dle rovnice (Rovnice 12):

$$\sigma_{t_e} = \frac{(0.00-0.28)}{6} = 0.05 \text{ l/s}$$

Určení skutečné spotřeby

Metodou PERT byla skutečná spotřeba v době MNP stanovena na 0.078 l/s, skutečné ztráty by tedy činily 0.20 l/s.

Vypočtené SZ činí asi 13.03 % z Q_p , což převyšuje orientační procentuální vyjádření (Rovnice 9). Následuje stanovení ILI (Rovnice 10):

Tabulka 43: Určení ILI dle vypočtených SZ

SZ	13.0	%
x	6.4 - 8.0	%
ILI	1.63 - 2.04	

Stanovené hodnoty ILI se pohybují v rozmezí 1.63 – 2.04. Podle kategorizace ILI (kapitola 2.5.1) by hodnota ILI měla být ideálně 1, avšak pokud není hodnota vyšší než 2, je snižování neekonomické. Vypočtené hodnoty ILI mírně převyšují hranici 2. Je nutné vzít v potaz i vypočtenou směrodatnou odchylku, která dává prostor možným ještě vyšším hodnotám ILI.

6.4.2 Další vybrané způsoby stanovení ILI

1) Výpočet přes empirický vzorec pro TNZ

Výpočet ILI (Rovnice 4) je veden přes TNZ spočtené empirickým vzorcem (Rovnice 5).

Tabulka 44: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ

L_m	13.85	km
P	30	m.v.sl.
N_s	532	ks
L_p	10	m
TNZ	4198.7	m ³ /rok
SZ	6370.3	m ³ /rok
ILI	1.52	

2) Výpočet pomocí JUVNF

Výpočet ILI (Rovnice 8) je pomocí hodnot JUVNF (Rovnice 3), které byly získány přepočtem délky potrubí (Tabulka 17).

Tabulka 45: Výpočet ILI pomocí JUVNF

VNF	6370.00	m ³ /rok
L _{přep}	10.58	km
JUVNF	602.08	m ³ /km/rok
ILI	1.74	

6.5 VODOVOD HVOZDNÁ

Pro vodovod Hvozdná je možné oddělit hodnoty průtoku pro dvě oblasti: tlakové pásmo T1 a tlakové pásmo G1 a G2. Z důvodu nedostatku informací podílu počtu přípojek nebo obyvatel pro jednotlivé oblasti, s průtoky je pracováno jako s celkovým součtem pro obě oblasti.

6.5.1 Dekompozice MNP

Tabulka 46: Vodovod Hvozdná – Q_p a Q_{MNP}

	Čas s MNP	
	2-4	
	[m ³]	[l/s]
Q _{p,MNP}	1.64	0.23
PRŮMĚRNÝ PRŮTOK V SÍTI		
Q _p [l/s]	1.00	
PODÍL Q _p		
Q _{MNP} /Q _p [%]	22.80	

Metoda PERT

a) **Optimistický odhad** *a* charakterizuje nejmenší možné skutečné ztráty, tedy skutečná spotřeba by byla co nejbližší hodnotám Q_{MNP}

$$a = 0.23 \text{ l/s}$$

b) **Modus (nejpravděpodobnější odhad)** *m* je nejpravděpodobnější hodnota skutečné spotřeby, kterou je nutné zvolit odborným odhadem. Odhad bude založen na aktivitě obyvatel v době MNP (3–10 % aktivních obyvatel). Vzhledem k charakteru spotřebiště (v obci se nachází dvě pohostinství) a také z důvodu odběrů družstva byla zvolena hodnota 10 %.

$$m = Q_p \times 10 \% = 0.1 \text{ l/s}$$

c) **Pesimistický odhad** *b* předpokládá největší ztráty, tedy spotřeba klesá na 0, MNP tvoří pouze skutečné ztráty.

$$b = 0.00 \text{ l/s}$$

Očekávaná hodnota je spočítána podle (Rovnice 11):

$$t_e = \frac{0.23 + 4 \times 0.1 + 0}{6} = 0.105 \text{ l/s}$$

Směrodatnou odchylku výsledných hodnot vypočítáme dle (Rovnice 12):

$$\sigma_{t_e} = \frac{(0.00-0.23)}{6} = 0.04 \text{ l/s}$$

Určení skutečné spotřeby

Metodou PERT byla skutečná spotřeba v době MNP stanovena na 0.105 l/s, skutečné ztráty by tedy činily 0.12 l/s.

Vypočtené SZ činí asi 12.3 % z Q_p , což převyšuje orientační procentuální vyjádření (Rovnice 9). Následuje stanovení ILI (Rovnice 10):

Tabulka 47: Určení ILI dle vypočtených SZ

SZ	12.3	%
x	6.4 - 8.0	%
ILI	1.53 - 1.92	

Stanovené hodnoty ILI se pohybují v rozmezí 1.53 – 1.92. Podle kategorizace ILI (kapitola 2.5.1) by hodnota ILI měla být ideálně 1, avšak pokud není hodnota vyšší než 2, je snižování neekonomické. Vypočtené hodnoty ILI nepřevyšují hranici 2. Je nutné vzít v potaz i vypočtenou směrodatnou odchylku, která dává prostor mírnému pohybu rozmezí vypočtených hodnot ILI.

6.5.2 Další vybrané způsoby stanovení ILI

1) Výpočet přes empirický vzorec pro TNZ

Výpočet ILI (Rovnice 4) je veden přes TNZ spočtené empirickým vzorcem (Rovnice 5).

Tabulka 48: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ

L_m	13.65	km
P	45	m.v.sl.
N_s	371	ks
L_p	10	m
TNZ	4432.8	m ³ /rok
SZ	3883.6	m ³ /rok
ILI	0.88	

2) Výpočet pomocí JUVNF

Výpočet ILI (Rovnice 8) je pomocí hodnot JUVNF (Rovnice 3), které byly získány přepočtem délky potrubí (Tabulka 17).

Tabulka 49: Výpočet ILI pomocí JUVNF

VNF	3883.63	m ³ /rok
L_{přep}	7.50	km
JUVNF	517.54	m ³ /km/rok
ILI	1.66	

Hodnoty ILI stanovené dle dalších vybraných výpočtů jsou rovny 0.88 a 1.66. Hodnota získaná z výpočtu pomocí JUVNF odpovídá zařazení dle metodiky. Hodnota 0.88 vypočítaná dle empirického vzorce poukazuje na problém se stanovením TNZ, které vycházejí vyšší, než SZ.

7 ZÁVĚR

Ztráty vody jsou jedním ze základních ukazatelů efektivity provozovatelů. Na základě Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2020/2184 vznikl návrh nové normy specifikující vykazování ztrát vody (ČSN 75 5020), jež vstoupila v platnost v říjnu roku 2023. Diplomová práce byla zadána v době, kdy byla norma tvořena, proto byl ukazatelem ztrát zvolen právě ILI. Namísto empirického výpočtu byl však výpočet veden přes MNP. Pro všechny vybrané lokality byla spočítána hodnota ILI, při čemž byly zvoleny různé postupy výpočtu pro možné porovnání. V rámci DP byla také navržena Metodika vyhodnocování ILI podle minimálních nočních průtoků, která se opírá o dekompozici MNP a určení skutečných ztrát. Správnost výpočtu ztrát podle metodiky byla ověřována dle skutečných dat od provozovatelů daných vodovodů za jednotlivé roky (objemy VFC, VNF, případně ztrát). Stanovené ztráty dle metodiky ve všech případech odpovídaly průměrným hodnotám ztrát uvedených provozovateli v rámci ročních souhrnů. Z důvodu obsáhlosti DP nejsou tato data její součástí.

Při zpracovávání dat a určování ILI vyplynulo několik skutečností, které by mohly sloužit jako doporučení pro provozovatele vodovodů ve vybraných lokalitách:

Brno – vybrané MO

Společnosti BVK, a. s. se podařilo z velké části osadit síť Smart vodoměry. Účelem tohoto kroku byla především automatizace odečtů z fakturačních vodoměrů u jednotlivých spotřebitelů. Z instalace Smart vodoměrů plynou výhody i pro spotřebitele, kteří si mohou monitorovat vlastní odběr a zjistit možné úniky (např. protékající záchod, prasklé potrubí, ...). Pro možné využití dat ze Smart vodoměrů k lepšímu monitoringu průtoků v síti však plyne hned několik potíží. Jednou z nich je velký časový rozestup (6 hodin) mezi údaji o proteklém množství. Další potíží je různé nastavení dob odečtů, což vede k nutnosti rozdělování dat do jednotlivých skupin (viz kapitola 5.1.2), které je pro praxi příliš zdlouhavé a nese s sebou velkou nejistotu. Řešením by mohlo být buď přenastavení Smart vodoměrů tak, aby byly doby odečtů stejné (např. 0:00 – 6:00 hod), což by ale vyžadovalo mnoho času pro manuální nastavení na místě. Větší efektivitu by mohlo zajistit jiné nastavení četnosti odečtů alespoň během MNP (2:00 – 4:00), kdy by byla data odečítána např. alespoň po hodině a bylo by tak snadnější určit průběhy odběrů a porovnat je s nátokem do sítě. BVK, a. s. plánují v následujících letech zavádět aplikaci Monitor úniků, která by mohla výrazně přispět k rychlejší diagnostice úniků na síti a k částečné automatizaci denní kontroly průtoků ve všech MO. Plánuje se také využití Smart vodoměrů, které by prozatím sloužily k vyhodnocování průtoků v rámci týdnů. Výstupem by byl dlouhodobý přehled rozdílů spotřeby a nátoků. Jedním z možných správců aplikace je společnost DHI, která již působí např. u společnosti SmVaK a. s. Brno má ve většině případů malé podíly ztrát, které nevyžadují vyšší investice do nových technologií. Otázkou je, zda není odhadovaná procentuální hodnota TNZ pro dnešní dobu obecně příliš vysoká a nedává tak prostor možným ztrátám vody vhodným k další redukci.

Skupinový vodovod Tučapy – Komořany – Podbřežice

K výpočtu hodnot ILI pro skupinový vodovod Tučapy – Komořany – Podbřežice byla zvolena data naměřená v měsících říjen a listopad 2023, které obsahovaly týden, ve kterém docházelo k úniku vody z důvodu poruchy na síti. Pracovníci společnosti Insta CZ v průběhu měření poruchu dohledali a odstranili. V důsledku tohoto úniku (cca 0,5 l/s) se zvedla průměrná hodnota MNP a bylo tak možné vypočítat ILI pro dané 2 měsíce a zjistit, jaký vliv měla zmíněná porucha. ILI v tomto případě vyšlo nad hodnotou 2 (tedy mez, po jejímž překročení je ekonomicky výhodné zabývat možnými kroky k redukci ztrát). Vezmeme-li však v potaz

data za celý rok, ILI pro SV Tučapy – Komořany – Podbřežice se blíží k hodnotě 1. V dané síti nejsou časté problémy s poruchami a ztráty taktéž nejsou vysoké. Jediným problémem při získávání dat byl nátok z vodojemu do sítě. Vedoucí provozu vodovodu může sledovat data o nátoku online pomocí aplikace v mobilním telefonu, avšak z této aplikace nelze získat výpis např. alespoň ve formátu .txt za určité časové období. Pro získání dat bylo nutné kontaktovat správce aplikace – společnost GDF s.r.o., jejímž pracovníkům se po časově náročnějším procesu podařilo získat data o nátoku z vodojemu zpětně za poslední rok. V rámci komunikace se společností GDF s.r.o. v rámci DP byla společností na požádání navržena aktualizace systému. Jedním z návrhů je SCADA software Retos.net nebo Schneider GeoSCADA Expert a statistický modul GDF WebStat. Výsledkem aktualizace by mělo být především zlepšení dlouhodobější evidence dat a možnost sledování vývoje MNP v průběhu měsíců a let. Na vodovodu byly viditelné drobné nedostatky (porušený poklop šachty s redukčním ventilem), které měla však povinnost napravit obec jakožto vlastník vodovodu a zároveň původce způsobené škody (mulčování dřevin v okolí poklopu a jeho následné poškození). Vodovod je v relativně dobrém stavu. V porovnání např. s vybranými lokalitami v Brně je poměrně nový, avšak ve výhledu několika let by bylo vhodné více monitorovat průběh vývoje MNP. Dalším doporučením je zvýšení počtu dlouhodobých měření na síti (pro oddělení jednotlivých obcí) alespoň aby se tak rozdělila dvě tlaková pásma.

Vodovod Hvozdná

Pro vodovod Hvozdná se hodnota ILI blížila k 1. Pouze spočtený objem ztrát podle metodiky se mírně lišil od vykázaného objemu za rok 2022. Důvodem mohou být i lehce nadprůměrné noční fakturované odběry, nebo také černé odběry, ke kterým dle provozovatele čas od času dochází. Doporučení pro vodovod Hvozdná se týká lepšího rozdělení tlakových pásem. Jelikož se v rámci vodovodu tlaky poměrně liší, bylo by pro výpočet ILI podle empirického vzorce znát i rozdělení počtu přípojek pro jednotlivá tlaková pásma. Ve srovnání s SV Tučapy – Komořany – Podbřežice je patrný rozdíl mezi modelem samostatného provozování a oddílným modelem. V tomto případě modelu samostatného provozování je vodovod Hvozdná v celkově lepším stavu včetně technologií pro monitoring sítě. V obou případech je zásadní míra investic, která je u oddílného modelu provozování mnohdy ze strany majitele vodovodu omezená.

Shrnutí

Jelikož navržená metodika pracuje s procentuálními odhady aktivních obyvatel v době MNP, může být dekompozice MNP mírně zkreslená v případech, kdy se na vodovodní síti nachází velkoodběratel, který svými denními odběry ovlivňuje výši Q_p , která má sloužit k odhadu skutečně spotřebované vody v době MNP. Pro zpřesnění odhadu by bylo vhodné znát alespoň počet obyvatel v dané lokalitě, nebo v lepším případě disponovat údaji o spotřebě jednotlivých velkoodběratelů během dne např. díky Smart vodoměrům nainstalovaným u každého velkoodběratele. Z údajů MZe je však zřejmé, že právě jedny z nejvyšších podílů ztrát mají menší provozovatelé (často obecních) vodovodů. Teoreticky právě zde by se metodika mohla nejlépe a bez větších problémů využít. Empirický vzorec pro výpočet ILI nebyl pro případy v DP vypovídající, jelikož nelze přesně učit průměrnou hodnotu tlaku, a i další vstupní hodnoty jsou stejně diskutabilní. Hodnoty ILI podle metodiky vycházely velmi důvěryhodně. Jejich výpočet byl poměrně jednoduchý a rychlý. Otázkou by byly výsledky pro vodovody z vyššími ztrátami. Bylo by vhodné znovu provést rozsáhlejší výzkum využití vyhodnocování MNP pro ukazatele ztrát vody, zejména pro ILI a zpracovat pro několik měst i obcí v ČR vyhodnocení ztrát jedním způsobem (např. právě ILI podle uvedené metodiky), aby tak bylo možné potvrdit procentuální rozsahy při dekompozici MNP, či je pozměnit. Zároveň by mohlo být přínosem vidět rozdíl výsledků měst s velkoodběrateli a výsledků menších obcí.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VOJTĚCHOVSKÁ ŠRÁMKOVÁ, PH.D., Mgr. Michaela a ŽÁK, Ing. Vilém. Ztráty vody v České republice. Online. SOVAK ČR. 2021, s. 1. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/ztraty-vody-v-ceske-republice>. [cit. 2023-07-06].
- [2] Online aplikace Monitoring úniků v SmVaK Ostrava: Ztráty pitné vody v síti na historickém minimu a ocenění v soutěži Chytrá města. Online. Komunální ekologie.cz. 2022. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/online-aplikace-monitoring-uniku-v-smvak-ostava-ztraty-pitne-vody-v-siti-na-historickem-minimu-a-oceneni-v-soutezi-chytra-mesta>. [cit. 2023-07-11].
- [3] Výroční zpráva 2013. Online. Brněnské vodárny a kanalizace, akciová společnost. 2013, s. 107. Dostupné z: <https://pravdaovode.cz/wp-content/uploads/vz/brno/brno-vz-13.pdf>. [cit. 2023-08-01].
- [4] Beuken, R. & Lavooij, C. & Bosch, A. & Schaap, P.. (2008). Low Leakage in the Netherlands Confirmed. 1-8. 10.1061/40941(247)174.
- [5] MERKS, C., A. STELLINGWERFF, A. P. FEENSTRA a E. TRIETSCH. *The water loss control program of Vitens in the Netherlands aiming to almost eliminate NRW in 2030 at the latest*. Ramboll Netherlands BV, International Water and Climate Resilience, Delft, Netherlands, 2022. Vitens N.V., Asset Management, Zwolle, Netherlands.
- [6] ALQATARNEH, G., T. AL-ASSA'D, M. MALKAWI a S. MASREKI. *Accuracy Comparison Between Mechanical and Ultrasonic Meters in Hai Al-Nasser in Amman, Jordan*. Tetra Tech International Development, Amman, Jordan, 2022.
- [7] Al-Ansari, Nadhir & Alibrahiem, N. & Alsaman, M. & Knutsson, Sven. (2014). Water Supply Network Losses in Jordan. *Journal of Water Resource and Protection*. 06. 83-96. 10.4236/jwarp.2014.62013.
- [8] HARRIS, Cecilia. Addressing non-revenue water losses. *Current magazine* [online]. 2017, 3 str. [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.awa.asn.au/resources/latest-news/business/assets-and-operations/addressing-non-revenue-water-losses>
- [9] STAPELY, S. *Trialling artificial intelligence to find leaks in Melbourne CBD*. Detection Services, NRW Management, Tullamarine, Australia, 2021.
- [10] VIŠČOR, Pavel, KALIVODA, Jiří. Snižování ztrát vody ve vodovodech provozovaných BVK. *Časopis SOVAK*. roč. 2023, č. 3.
- [11] KOBR, Jan, SÝKORA, Petr. Snižování ztrát vody v Praze. *Časopis SOVAK*. roč. 2023, č. 2.
- [12] SIBRT, Marek. Ztráty ve vodovodní síti SmVaK Ostrava klesly k 10 procentům. *Časopis SOVAK*. roč. 2023, č. 1.
- [13] ČSN 75 5020, Vykazování ztrát pitné vody z vodovodů. 10/23. Český normalizační institut, 2023.
- [14] Webinář Vodárenské čtvrtky: Ztráty vody. Online. 2022. Dostupné z: CzWA - Asociace pro vodu ČR, https://www.youtube.com/watch?v=es95O3lpg78&ab_channel=CzWA-Asociaceprovodu%C4%8CR. [cit. 2023-09-22].
- [15] Vodovody a kanalizace. Online. Ministerstvo zemědělství. 2021. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/voda/vodovody-a-kanalizace>. [cit. 2023-11-03].

- [16] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/2184. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2020.435.01.0001.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2020%3A435%3ATOC. [cit. 2023-09-22]
- [17] 428/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)
- [18] Benchmarking VaK: Zpráva za rok 2021. Online. Ministerstvo zemědělství. 2020. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/benchmarking-vak/zprava-za-rok-2021>. [cit. 2023-11-05].
- [19] Water Stress by Country. Online. WORLD RESOURCES INSTITUTE. 2013. Dostupné z: <https://www.wri.org/data/water-stress-country>. [cit. 2023-10-14].
- [20] CzWA Michaela Vojtěchovská Šrámková (SOVAK)
- [21] Water Loss 2022 v Praze. Online. CzWA. 2022. Dostupné z: <https://www.czwa.cz/water-loss-2022-v-praze-CZ530>. [cit. 2023-06-17].
- [22] IWA. International Water Association. Online. 2023. Dostupné z: <https://iwa-network.org/>. [cit. 2023-07-07].
- [23] RIS. Regionální informační servis. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/uzemi/> [cit. 2023-06-17]
- [24] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Počet obyvatel v obcích - k 1. 1. 2023. Online. 2023. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112023?fbclid=IwAR2HOLUgwB7VQ3u14QGFYLMY4kM7d52i4fAfqGN_PgGo5Vd60VpGbalOgiE. [cit. 2024-01-10].
- [25] Mapy.cz
- [26] BRŮHA, Radek, ŠTĚPÁN, Petr. Ztráty vody v Plzni pomáhá snižovat permanentní sledování sítě. Časopis SOVAK. roč. 2023, č. 9.
- [27] ZONESCAN NB-IOT – CORRELATING IOT LEAK LOGGER. Online. In: GUTERMANN. 2023. Dostupné z: <https://en.gutermann-water.com/product/zonescan-nb-iot-correlating-iot-leak-logger/>. [cit. 2024-01-10].
- [28] ORTOMAT-MTC – Permanent leak monitoring for buried drinking water pipes. Online. In: VonRoll hydro. 2023. Dostupné z: <https://www.vonroll-hydro.world/en/industrial-sensors/product/ortomat-mt.html>. [cit. 2024-01-10].
- [29] Provozní řád vodovodu Tučapy
- [30] , Shirley Ben-Dak, VP Strategy & Innovation (SWAN Forum). Evolving The SWAN 5-Layers To A Circular Framework. Online. WATER ONLINE. Roč. 2021. Dostupné z: <https://www.wateronline.com/doc/evolving-the-swan-layers-to-a-circular-framework-0001>. [cit. 2024-01-10].
- [31] Plán rozvoje obce Tučapy
- [32] Vybrané údaje majetkové a provozní evidence SV Tučapy – Komořany – Podbřežice
- [33] SOVAK ČR v EurEau. Online. 2018. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/sovak-cr-v-eureau>. [cit. 2024-01-10].

- [34] Zpráva z valné hromady a zasedání představenstva EurEau. Časopis SOVAK. roč. 2023, č. 7-8.
- [35] EMINGER, Karel. Systematické snižování ztrát vody v severních Čechách. Časopis SOVAK. roč. 2023, č. 10.
- [36] KOHOUTOVICE Z VÝŠKY. Online. In: Městská část Brno Kohoutovice. 2022. Dostupné z: <https://www.kohoutovice.brno.cz/kohoutovice-z-vysky/g-3238>. [cit. 2024-01-10].
- [37] LIPSKÝ, Zdeněk. Brno – sídliště Kamenný vrch od Moravan. Online. In: . Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/sekce-gr/zaniklekrajiny/atlas/component/phocagallery/197-primestska-krajina-brna-krajiny-raz/detail/3810-primestska-krajiny?tmpl=component>. [cit. 2024-01-10].
- [38] Pasport obce Hvozdná
- [39] HAMILTON, Stuart a MCKENZIE, R. S. *Water management and water loss*. London: IWA Publishing, c2014. ISBN 978-1-78040-635-0.
- [40] SMARTBALL LEAK DETECTION CAPABILITIES. Online. In: TONISCO SERVICE. Dostupné z: https://tonisco.com/wp-content/uploads/2021/09/Leak-detection_v2-2021.pdf. [cit. 2024-01-10].
- [41] BVK, a. s.
- [42] Global ILIs, Regional Summaries of Infrastructure Leakage Index. Online. The LEAKSSuite Library. 2019. Dostupné z: <https://www.leakssuitelibrary.com/global-ilis/>. [cit. 2024-01-10].
- [43] ÚŘAD MĚSTSKÉ ČÁSTI BRNO-KOHOUTOVICE. Městská část BRNO KOHOUTOVICE. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.kohoutovice.brno.cz/>. [cit. 2024-01-10].
- [44] ÚŘAD MĚSTSKÉ ČÁSTI BRNO-LÍŠEŇ. Městská část Brno-Líšeň. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.brno-lisen.cz/>. [cit. 2024-01-10].
- [45] NOVÁK, Josef. Příručka provozovatele vodovodní sítě. Líbeznice u Prahy: Medim, c2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [46] LIEMBERGER, Roland. Back to Basics – Roland Liemberger. Online. 2020. Dostupné z: YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=1PLT93HDUNc&ab_channel=IWAWaterLossSpecialistGroup. [cit. 2024-01-11].

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Způsob monitoringu sítě v Brně – rozdělení [41]	11
Tabulka 2: Vybrané údaje o provozované vodovodní síti (2022) [11]	13
Tabulka 3: Přehled dosažených výsledků satelitní detekce ztrát vody [11].....	14
Tabulka 4: Ztráty vody v trubní síti SmVaK Ostrava v průběhu let [12]	15
Tabulka 5: Přehled preventivně proměřených řadů a vývoj objemu ztrát v aglomeraci Plzeň- město [26].....	17
Tabulka 6: Koefficienty pro přepočítání délky podle DN [45]	23
Tabulka 7: Kategorie sítě dle spotřeby [14]	23
Tabulka 8: Kritéria jednotkového úniku [14].....	24
Tabulka 9: Shrnutí výsledků měření [6].....	31
Tabulka 10: Členění IWA – Water balance [kniha].....	35
Tabulka 11: Kategorizace ILI [14].....	38
Tabulka 12: Charakteristické průtoky z VDJ Kamenný vrch	66
Tabulka 13: Rozdělení chytrých vodoměrů v pásmu na skupiny	69
Tabulka 14: Odečty důležité pro určení MNP	69
Tabulka 15: Průměrný průtok na Smart vodoměrech v časových úsecích zasahujících do hodin MNP	70
Tabulka 16: Výsledný součet odhadnutých spotřeb v síti.....	71
Tabulka 17: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu MO Kamenný vrc	72
Tabulka 18: Charakteristické průtoky z VDJ Kohoutovice zemní	73
Tabulka 19: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu MO Kohoutovice zemní.....	75
Tabulka 20: Charakteristické průtoky na nátoku do MO Klajdovská.....	76
Tabulka 21: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu MO Klajdovská.....	78
Tabulka 22: Charakteristické průtoky z VDJ Tučapy	79
Tabulka 23: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Tučapy.....	82
Tabulka 24: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Komořany	83
Tabulka 25: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Podbřežice.....	83
Tabulka 26: Charakteristické průtoky vodovod Hvozdná.....	84
Tabulka 27: Jmenovitá světlost a materiály potrubí vodovodu Hvozdná	86
Tabulka 28: Výsledky měření tlaku na hydrantech v obci Hvozdná	86
Tabulka 29: MO Kamenný vrch – $Q_{p,MNP}$, $Q_{SM,p}$, Q_p	87
Tabulka 30: Výsledné hodnoty SZ pro MO Kamenný vrch	87
Tabulka 31: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ	89
Tabulka 32: Výpočet ILI pomocí VNFP	89

Tabulka 33: Výpočet ILI pomocí JUVNF.....	89
Tabulka 34: Shrnutí hodnot ILI dle různých výpočtů	89
Tabulka 35: MO Kohoutovice – Qp a QMNP	90
Tabulka 36: Orientačně stanovená hodnota SZ (MO Kohoutovice).....	91
Tabulka 37: Určení ILI dle orientačních hodnot	91
Tabulka 38: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ	91
Tabulka 39: MO Klajdovská – Qp a QMNP	92
Tabulka 40: Orientačně stanovená hodnota SZ (MO Klajdovská)	92
Tabulka 41: Určení ILI dle orientačních hodnot	92
Tabulka 42: VDJ Tučapy – Qp a QMNP	93
Tabulka 43: Určení ILI dle vypočtených SZ.....	94
Tabulka 44: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ	94
Tabulka 45: Výpočet ILI pomocí JUVNF.....	95
Tabulka 46: Vodovod Hvozdná – Qp a QMNP	95
Tabulka 47: Určení ILI dle vypočtených SZ.....	96
Tabulka 48: Výpočet ILI přes empirický vzorec pro TNZ	96
Tabulka 49: Výpočet ILI pomocí JUVNF.....	97

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vývoj ztrát vody v ČR v letech 1994–2019 [1].....	8
Obrázek 2: Porovnání vybraných ukazatelů z benchmarkingu [18]	9
Obrázek 3: Délka vodovodní sítě v Brně podle stáří a poměr využití materiálů [41].....	10
Obrázek 4: Ukázka výstupů ze satelitního snímkování [41].....	12
Obrázek 5: Vývoj ukazatelů hospodaření s vodou Praha 1980–2021 [11]	13
Obrázek 6: Ukázka uživatelského rozhraní aplikace Monitoring úniků ze SmVaK Ostrava [2]	16
Obrázek 7: Přístroje ZONESCAN NB-IoT (vlevo) a ORTOMAT-MTC-04G (vpravo) [27] [28]	18
Obrázek 8: Schéma použití nástroje SmartBall (upraveno) [40]	21
Obrázek 9: Ztráty v síti ($\text{m}^3/\text{km}/\text{rok}$) ve světě.....	25
Obrázek 10: Transformace modelu SWAN na kruhový [30] (upraveno).....	27
Obrázek 11: Mapa počtu inteligentních měřičů instalovaných pro každou domovní přípojku [6]	29
Obrázek 12: Shrnutí prověření podezřelých vodoměrů [6].....	30
Obrázek 13: Rozdíl mezi detekovaným únikem (vlevo) a falešným šumem (vpravo) [9]	32
Obrázek 14: Vývoj softwaru FWAS v čase	33
Obrázek 15: Grafické zobrazení platnosti dat na přístrojovém panelu	34
Obrázek 16: Faktory ovlivňující hodnotu ILI [39].....	36
Obrázek 17: Výsledek výzkumu závislosti ILI na JUVNF [14]	38
Obrázek 18: Výsledky mezinárodního srovnání ILI z 12 evropských zemí [14]	39
Obrázek 19: Členění bilančních údajů [13].....	40
Obrázek 20: Příklad křivky charakterizující nátok do pásma včetně zvýraznění doby MNP..	42
Obrázek 21: Dekompozice MNP	42
Obrázek 22: Minimalizace skutečných ztrát do ideálního stavu, kdy SZ = TNZ	43
Obrázek 23: Optimistický odhad složení MNP (příklad).....	45
Obrázek 24: Nejpravděpodobnější odhad složení MNP (příklad)	45
Obrázek 25: Pesimistický odhad složení MNP (příklad).....	46
Obrázek 26: Ukázka dálkové detekce poruchy na ulici Kubelíkova (Klajdovská) [41].....	49
Obrázek 27: Ukázka dálkové detekce poruchy na okrsku Kohoutovice 415 [41].....	49
Obrázek 28: Centrální vodohospodářský dispečink BVK, a.s.	50
Obrázek 29: Schéma toku dat ze Smart vodoměrů k zákazníkovi (odběrateli) [41].....	51
Obrázek 30: Charakter zástavby spotřebiště Kamenný vrch [37].....	52
Obrázek 31: Mapa vodovodní sítě v měrném okrsku Kamenný vrch 320 (žlutá barva) [41]..	52

Obrázek 32: Charakter zástavby Brno – Kohoutovice [36]	53
Obrázek 33: Zemní vodojem Kohoutovice	54
Obrázek 34: Armaturní komora zemního VDJ Kohoutovice.....	54
Obrázek 35: Mapa vodovodní sítě v měrném okrsku Kohoutovice (modrá barva) [41]	55
Obrázek 36: Obrázek 30: Charakter zástavby Brno – Klajdovská (Líšeň) [36]	55
Obrázek 37: Mapa vodovodní sítě v měrném okrsku Klajdovská (modrá barva) [41].....	56
Obrázek 38: Poloha obcí Tučapy, Komořany a Podbřežice [25].....	57
Obrázek 39: Poloha obce Tučapy vzhledem k zájmovému území [25].....	58
Obrázek 40: Poloha obce Komořany vzhledem k zájmovému území [25].....	58
Obrázek 41: Poloha obce Podbřežice vzhledem k zájmovému území [25]	59
Obrázek 42: Vodojem Tučapy	60
Obrázek 43: Armaturní komora ve vodojemu Tučapy.....	60
Obrázek 44: Charakter zástavby v obci Tučapy.....	61
Obrázek 45: Charakter zástavby v obci Komořany	62
Obrázek 46: Charakter zástavby v obci Podbřežice.....	63
Obrázek 47: Obec Hvozdná	63
Obrázek 48: Vodojem Hvozdná.....	64
Obrázek 49: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kamenný vrch (pracovní dny).....	67
Obrázek 50: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kamenný vrch (nepracovní dny)	67
Obrázek 51: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kamenný vrch (všechny dny).....	68
Obrázek 52: Výstřižek sešitu aplikace Excel se zkompletovaným a sečteným proteklým množstvím ze Smart vodoměrů.....	69
Obrázek 53: Příklad procentuálního rozdělení (pro skupinu I).....	71
Obrázek 54: Koláčový graf stáří potrubí MO Kamenný vrch.....	72
Obrázek 55: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kohoutovice zemní (pracovní dny) ...	73
Obrázek 56: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kohoutovice zemní (nepracovní dny)	74
Obrázek 57: Charakteristické průběhy průtoků z VDJ Kohoutovice zemní (všechny dny) ...	74
Obrázek 58: Koláčový graf stáří potrubí.....	75
Obrázek 59: Charakteristické průběhy průtoků na nátoku do MO Klajdovská (pracovní dny)	76
Obrázek 60: Charakteristické průběhy průtoků na nátoku do MO Klajdovská (nepracovní dny)	77
Obrázek 61: Charakteristické průběhy průtoků na nátoku do MO Klajdovská (všechny dny)	77
Obrázek 62: Koláčový graf stáří potrubí.....	78
Obrázek 63: Ukázka průběhu nátoku do sítě z VDJ během období 01/2023–11/2023	79

Obrázek 64: Vodoměrná šachta v Tučapech (vlevo) a instalace dataloggeru v šachtě (vpravo)	80
Obrázek 65: Měření na síti napájené z VDJ Tučapy.....	81
Obrázek 66: Zaznamenání zjevného úniku na vodovodu v Komořanech (vlevo) a následný výkop (vpravo)	81
Obrázek 67: K poruchám zde dochází nejčastěji v místech spojů	82
Obrázek 68: Charakteristické průběhy průtoků vodovod Hvozdná (pracovní dny)	84
Obrázek 69: Charakteristické průběhy průtoků vodovod Hvozdná (nepracovní dny).....	85
Obrázek 70: Charakteristické průběhy průtoků vodovod Hvozdná (všechny dny)	85
Obrázek 71: Porovnání hodnot nátoků do MO a skutečné spotřeby	88

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Použité zkratky:

ČSÚ	Český statistický úřad
BVK	Brněnské vodovody a kanalizace, a. s.
VNF	Voda nefakturovaná
VFC	Voda fakturovaná celkem
JUVNF	Jednotkový únik vody nefakturované
VVR	Voda vyrobená k realizaci
VS	Voda pro vlastní spotřebu
OVNF	Ostatní voda nefakturovaná
SmVaK Ostrava	Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava, a. s.
CSV	Comma Separated Values (česky: čárkou oddělené údaje)
POI	Místa předpokládaných poruch
GIS	Geografické informační systémy
CARL	Current annual real losses
UARL	Unavoidable annual real losses
ILI	Infrastructure leakage index
IWA	International Water Association, česky mezinárodní asociace pro vodu
CzWA	Asociace pro vodu ČR (Czech Water Association)
VUT	Vysoké učení technické v Brně
PE	Polyetylen
PVC	Polyvinylchlorid

SV	Skupinový vodovod
MNP	Minimální noční průtok
KÚ	Katastrální území
MO	Měrný okrsek
SP	Skutečná spotřeba
SZ	Skutečné ztráty

Použité symboly:

Q_p	průměrný průtok	[l/s]
Q_d	maximální denní průtok	[l/s]
Q_h	maximální hodinový průtok	[l/s]
Q_{min}	minimální průtok	[l/s]
Q_{max}	maximální průtok	[l/s]
k_h	součinitel hodinové nerovnoměrnosti	[l/s]
k_d	součinitel denní nerovnoměrnosti	[l/s]
$\% Q_p$	podíl z průměrného průtoku	[%]
Q_{MNP}	průměrný průtok v době MNP (2:00 – 4:00)	[l/s]
t_e	očekávaná hodnota	[l/s]
a	optimistický odhad	[l/s]
m	modus (nejpravděpodobnější odhad)	[l/s]
b	pesimistický odhad	[l/s]
σ_{t_e}	směrodatná odchylka	[l/s]

$Q_{SM,prům}$	průměrné proteklé množství vody dle Smart vodoměrů	[m ³]
Q	koeficient podílu průměrného průtoku	[-]
$Q_{SM,MNP}$	průtok v době MNP dle Smart vodoměrů	[l/s]
$Q_{p,MNP}$	průměrný minimální noční průtok	[l/s]

SEZNAM PŘÍLOH

1. Mapa vodovodní sítě měrného okrsku Kamenný vrch
2. Mapa vodovodní sítě měrného okrsku Kohoutovice
3. Mapa vodovodní sítě měrného okrsku Klajdovská
4. Mapa vodovodní sítě skupinového vodovodu Tučapy – Komořany – Podbřežice
5. Mapa vodovodní sítě obce Hvozdná

9 POZNÁMKY

Aktuální a podrobnější informace o vývoji a výzkumu ztrát vody je možné čerpat prostřednictvím odborné skupiny IWA – Water Loss Specialist Group, která poskytuje týdenní aktuální zprávy o aktivitě a také organizuje webináře. Webináře jsou dostupné na platformě YouTube. Pro lepší pochopení skladby průtoků ve vodovodní síti může být nápomocné video ze série Back to Basics: What you need to know about NRW assesment [46], jehož autorem je Roland Liemberger – jeden ze zakladatelů skupiny specialistů na ztráty vody Mezinárodní asociace pro vodu (IWA-WLSG).