



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ANALÝZA SPOTŘEBY VODY V MĚSTĚ BRNĚ

ANALYSIS OF WATER CONSUMPTION IN BRNO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaroslav Růžička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV TUHOVČÁK, CSc.

BRNO 2021

Abstrakty a klíčová slova

Abstrakt

Spotřeba vody je množství vody odebrané odběrateli vodovodní sítě. Při dopravě vody ve vodovodní síti dochází ke ztrátám. Kontrola ztrát je jedna z hlavních povinností provozovatelů vodovodní sítě. Velikost těchto ztrát poukazuje o celkovém technickém stavu sítě a je potřebné pro plánování oprav. Ztráty vody se dají prokázat několika způsoby. Hodnoty, ve kterých je únik vyjádřen, se nejčastěji nahrazují procentuálním poměrem celkové vody vyrobené, ku vodě ztracené.

Abstract

Water consumption is the amount of water removed by the consumer of water distribution network. During the transportation inside water distribution network occur losses. Assessing these losses is one of the main responsibilities of the water supplier. We can show the amount of water lossed by using several different methods. Values used to describe the amount of water lossed can be often replaced by percentual ratio of water produced to water lossed.

Klíčová slova

Ztráty vody, spotřeba vody, distribuční síť, posouzení ztrát, voda vyrobená, voda fakturovaná, voda nefakturovaná

Keywords

Water loss, water consumption, distribution networks, assessing losses, water produced, water billed, water balance, non-revenue water.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Jaroslav Růžička *Analýza spotřeby vody v městě Brně*. Brno, 2021. 69 s., 8 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.

Prohlášení:

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

V Brně dne 28.5.2021

.....
podpis autora
Jaroslav Růžička

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Ladislavu Tuhovčákovi CSc. za ochotu, kterou mi věnoval při psaní této bakalářské práce a za všechny cenné rady a připomínky.

Dále děkuji zaměstnancům BVK a.s. a panu Jiřímu Kalivodovi za vyčerpávající odpovědi na moje dotazy a za poskytnutí dat potřebných k výpočtu a analýze ztrát vody ve vybraných tlakových pásmech.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA | 2 |
| BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP | 3 |
| PODĚKOVÁNÍ | 5 |
| 1 ÚVOD..... | 8 |
| 1.1 Předmět bakalářské práce..... | 8 |
| 1.2 HODNOCENÍ ZTRÁTY VODY | 8 |
| 1.2.1 Bilanční metoda objemů | 8 |
| 1.2.2 Používané ukazatele ztrát vody..... | 9 |
| 1.2.3 Hodnotící kritéria doporučená společností IWA..... | 11 |
| 1.2.4 Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2020/2184..... | 13 |
| 1.2.5 Ekonomický přístup ke snižování ztrát vody ELL (Economical Leakage Level)..... | 13 |
| 2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU | 16 |
| 2.1 Legislativa..... | 16 |
| 2.2 Ztráty vody v České Republice | 16 |
| 2.3 ZTRÁTY VODY V ZAHRANIČÍ..... | 22 |
| 2.3.1 Spotřeba vody ve světě | 22 |
| 2.3.2 IWA – International water association..... | 23 |
| 2.3.3 Vykazování ztrát vody doporučené AWWA | 23 |
| 3 ANALÝZA VYBRANÝCH TLAKOVÝCH PÁSEM MĚSTA BRNA..... | 27 |
| 3.1 Popis zásobování města brna | 27 |
| 3.1.1 Březovské přivaděče..... | 27 |
| 3.1.2 Vířský oblastní vodovod (VOV)..... | 29 |
| 3.1.3 Spotřebišť napojená na přivaděč VOV | 30 |
| 3.1.4 Úpravna vody Švařec..... | 30 |
| 3.1.5 Vodovodní síť | 31 |
| 3.1.6 Vodojemy a čerpací stanice | 31 |
| 3.2 Vykazování ztrát vody z bvk..... | 32 |
| 3.3 Analýza ztrát VODY pro vybraná tlaková pásma..... | 34 |
| 3.3.1 Výběr tlakových pásem | 34 |
| 3.3.2 Posouzení na základě minimálních nočních průtoků | 36 |
| 3.3.3 Posouzení pomocí programu FWAS | 36 |
| 3.3.4 Důležité poznámky k výpočtům | 37 |
| 3.3.5 VDJ Kam.vrch 320 MO III - 1.2./1 | 38 |
| 3.3.6 VDJ Líšeň 405 MO II - 3.10..... | 45 |
| 3.3.7 RŠ Kubelíkova MO III-3.10.2 | 54 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | NÁVRHY OPATŘENÍ VYHODNOCENÍ | 62 |
| 5 | ZÁVĚR | 64 |
| 6 | POUŽITÁ LITERATURA..... | 65 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 67 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK..... | 69 |

1 ÚVOD

1.1 PŘEDMĚT BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dle zadání je předmětem bakalářské práce analýza spotřeby vody ve vybraných tlakových pásech města Brna. Ukazatele použité pro analýzu vybraných tlakových pásem jsou uvedeny v kapitole 3.3.1.

1.2 HODNOCENÍ ZTRÁTY VODY

Metody, které používáme pro vyhodnocení potřeby a spotřeby vody, v sobě zahrnují určité množství vody, která není měřena. V dnešní době dochází k nátlaku na ochranu životního prostředí a výkonů s ním spojených. To znamená i zlepšení sledování jak porovnávání ztrát vody, tak i veličin s tímto úkolem spojeným. EU a mezinárodní organizace IWA (International Water Association) mají významný vliv na propracování postupů, sledování a porovnávání ztrát vody, jako výkonnostních ukazatelů. Tato problematika má dlouhou tradici v měření jednotlivých ukazatelů u řady provozovatelů vodárenských zařízení. Proto lze říct, že problematika je dlouhou dobu propracována a lze z dat vyhodnotit řadu ukazatelů. Pozornost by mě hlavně měla být věnována jednotné metodice a shodě v používané terminologii.

[1]

1.2.1 Bilanční metoda objemů

Jednou z hlavních teorií pro řešení ztrát ve vodovodní síti je metoda bilančních objemů. Spolehlivost metody je závislá na tom, jak přesně změřené jsou jednotlivé veličiny bilančních vztahů. Tato metoda je v praxi v ČR běžně používána. Na obr.1 je schéma porovnávající složky vody dodané a ztrát vody v potrubí. Tato metoda se doporučuje provádět jednou za rok.

[1]



Obr. 1 Schéma složek vody dodané [1]

Pojem “ztráty vody” v sobě zahrnuje více složek. Tyto složky jsou ztráty zdánlivé (ZZ) a ztráty skutečné (ZS). Teprve po sečtení ztrát vody (ZZ a ZS) a registrované spotřeby, která nebyla vyfakturována, dostaneme skutečný objem vody, který nebyl zaplacen. [1]

Bilanční vztahy

Voda vyrobená k realizaci je součtem vody fakturované a vody nefakturované

$$VVR = VF + VNF \quad (1.1)$$

Kde VVR ... voda vyrobená k realizaci [m³]

VF ... voda fakturovaná [m³]

VNF ... voda nefakturovaná [m³]

Registrovaná spotřeba vody (uvádím pouze pro zajímavost, byla uvedena ve zdroji, ale v praxi se nevykazuje) je součet registrované spotřeby fakturované a nefakturované

$$RS = RSF + RSNF \quad (1.2)$$

Kde RS ... registrovaná spotřeba [m³]

RSF ... registrovaná spotřeba fakturovaná [m³]

RSNF ... registrovaná spotřeba nefakturovaná [m³]

Ztráty vody je součet ztrát zdánlivých (neměřené odběry a chyby v měření) a ztrát skutečných (ztráty v síti, netěsnosti a přepady vodojemů, ztráty v přípojkách)

$$VNF = ZV + VS \quad (1.3)$$

Kde ZV ... ztráty vody [m³]

ZS ... ztráty skutečné [m³]

VNF ... voda nefakturovaná [m³]

1.2.2 Používané ukazatele ztrát vody

V české republice se aktuálně používají a testují následující ukazatele ztrát vody [1]

Procento vody nefakturované(%VNF)

Objem vody nefakturované je vyjádřen procentuálním poměrem vody k realizaci. Vypočte se podílem objemu vody nefakturované ku celkovému objemu vody vyrobené k realizaci.

$$\%VNF = VNF/VVR * 100 \quad (1.4)$$

Výhody – jednoduché stanovení a dostupnost potřebných údajů pro výpočet

Nevýhody – Nejde použít pro oblasti s různou skladbou odběratelů, pro různé délky vodovodní sítě, pro různou morfologii terénu a pro případ kolísání výroby a fakturace vody.

[1]

V lokalitách s hustou zástavbou se považuje hodnota do 20 % VNF za vyhovující, v oblastech, kde je zástavba řidší se musí dosáhnout menšího VNF abychom mohli prokázat dobrý stav sítě. [1]

Jednotkový únik (JÚ)

Jedná se o objem VNF, který uniká z potrubí na km přepočtené délky sítě za rok. Bývá vyjádřen v $\text{tis} \cdot \text{m}^3$ na km za rok, ale je doporučeno standarty EU, aby se hodnota vyjadřovala v m^3 na km za den.

$$JÚ = VNF/L_{\text{přep}} \quad (1.5)$$

$$L_{\text{přep}} = K_i \cdot L_i \quad (1.6)$$

$$K_i = D_{ni} / DN_{150} \quad (1.7)$$

$$K_{\text{připojky}} = 0,17$$

Kde JÚ ... jednotkový únik vody nefakturované [$\text{m}^3/\text{km}/\text{rok}$]

$L_{\text{přep}}$... přepočtená délka sítě [km]

L_i ... skutečná délka sítě se stejným DN [km]

K_i ... přepočtový koeficient [-]

$K_{\text{připojky}}$... koeficient pro přepočet délky přípojek [-]

Přepočet se provádí na DN150, ale je možný i pro jiná DN. [1]

Z řady měření a průzkumů byla stanovena spodní hranice JÚVNF. Tato složka se skládá z hodnoty $2,6 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, což představuje množství přípustných úniků v městské zástavbě, a z hodnoty $0,6 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, která odpovídá orientační vlastní potřebě provozovatele. Celkem je tedy minimální hranice JÚVNF stanovena na $3,2 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. V lokalitách do 20 000 obyvatel je za nevyhovující brána hodnota nad $4 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, u lokalit nad 20 000 obyvatel je jako nevyhovující uváděna hodnota nad $6 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. [1]

Minimální (noční) průtok Q_{min}

Minimální noční průtok je nejčastěji mezi 2 – 4 hodinou ranní a činí 0,8 – 1,2 % maximální denní spotřeby vody.

$$Q_{\text{min}} = Q / L_{\text{přep}} \quad (1.9)$$

Kde Q_{min} ... minimální noční průtok [l/s]

Q ... průtok [l/s]

Výhody – průběžné sledování, není závislý na fakturaci

Nevýhody – nutná znalost skladby sítě odběratelů a nutnost znalosti velikosti a lokalizace nočních odběrů [1]

Počet havárií na km vodovodní sítě (PP)

K doplňujícím údajům o ztrátách vody mohou ještě ukazovat počet poruch na vodovodní síti.

Jde o počet havárií/oprav na km skutečné délky sítě za zvolenou jednotku času např. za rok.

$$PP = H/L_{\text{skut}} \quad (1.10)$$

Kde H ... počet havárií za rok

L_{skut} ... skutečná délka sítě (km)

Je vhodné rozlišovat havárie na přípojkách a havárie v řadech.

Výhody – je vhodným ukazatelem nutnosti rekonstrukcí

Nevýhody – je nutnost vedení statistiky poruch na vodovodní síti včetně oprav, havárií a skrytých úniků. Musíme znát jak délku sítě, tak délku přípojek

Sledováním poruch získáme informace o specifických úsecích sítě. Spolu s minimálním průtokem nám tento ukazatel určuje pořadí rekonstrukcí celých úseků a systémů. Při sledování poruch a jejich vyhodnocování je vhodné uvádět způsob uložení potrubí, přítomnost spodní vody, druh zeminy, nebo horniny, přítomnost pískových obsypů apod. Za nevyhovující stav je považován výskyt 2 a více poruch na km vodovodní sítě za rok.

[1]

1.2.3 Hodnotící kritéria doporučená společností IWA

IWA (International Water Association) je mezinárodní společnost, která se zasazuje o jednotné vyhodnocení ztrát vody, které bylo možné pro různé provozní společnosti vyhodnocovat a mezi sebou porovnávat. Jedním z ukazatelů, které naše vodárenské společnosti začali používat je infrastrukturní ztrátový index ILI.

[1]

Voda nefakturovaná na přípojku (VNFP)

Používá se v české republice minimálně. Je používán hlavně v anglosaských zemích, kde má každá jednotka svou vlastní přípojku.

Ztráty vody můžeme vypočítat z celkového objemu vody nefakturované a množství vodovodních přípojek

$$VNFP = (VNF * 10^3)/(PP * 365) \quad (1.8)$$

Kde VNFP ... voda nefakturovaná na přípojku [l/přípojku/den]

PP ... počet přípojek

[1]

Index ztrát vody v infrastruktuře ILI (infrastructure leakage index)

Infrastructure leakage index ILI je poměr technických indikátorů skutečných ztrát (SZ) a nevyhnutelných ročních skutečných ztrát (TZN). ILI vyjadřuje technický stav vodovodní sítě z pohledu ztrát vody. Je to tedy provozní ukazatel vodovodního systému. Byl navržen IWA (Lambert, 2002).

[2]

$$ILI = SZ/TNZ \quad (1.11)$$

Kde ILI ... infrastucture leakage index [-]

SZ ... skutečná ztráta vody [l/přípojku/den]

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

Skutečné ztráty a teoreticky nevyhnutelné ztráty se udávají v jednotkách l.přípojku⁻¹.den⁻¹, a jejich velikost závisí na velikosti provozního tlaku a na hustotě přípojek.

Teoreticky nevyhnutelné ztráty byly založeny na základě mezinárodního výzkumu IWA, který byl vytvořen na základě dat z 27 vodárenských systémů a 19 zemí světa.

Tab. 1-1 Teoreticky nevyhnutelné ztráty [l/přípojku/den]

| Počet přípojek na km řadu | Průměrný provozní tlak [kPa] | | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|
| | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 |
| 20 | 34 | 68 | 112 | 146 | 170 |
| 40 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 |
| 60 | 22 | 44 | 66 | 88 | 110 |
| 80 | 21 | 41 | 62 | 82 | 103 |
| 100 | 20 | 39 | 59 | 78 | 98 |

Obr. 2 Teoreticky nevyhnutelné ztráty [l/přípojku/den] [20]

Určení tohoto kritéria je závislé na 4. faktorech

- objem ztrát,
- počet přípojek,
- skutečná délka sítě,
- provozní tlak v síti (průměrná hodnota).

[1]

V následující tabulce je uvedeno možné posouzení stavu vodovodních sítí na základě indexu ILI a kategorii zástavby.

| 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 |

Obr. 3 Možné hodnocení vodovodních sítí na základě indexu ILI a zástavby [1]

1.2.4 Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2020/2184

Evropský parlament a rada Evropské unie schválila směrnici 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské potřebě, která vstoupila do platnosti dne 16. prosince 2020. “Cíli této směrnice je chránit lidské zdraví před nepříznivými účinky jakéhokoli znečištění vody určené k lidské spotřebě zajištěním toho, aby byla zdravotně nezávadná a čistá, a zlepšit přístup k vodě určené k lidské spotřebě. “ V článku 4. Obecné povinnosti je uvedena povinnost pro členské státy vztahující se na omezení úniků vody.

Podle této směrnice se musí úniky vody na území členských států posoudit podle metody založené na indexu ztrát vody v infrastruktuře (ILI) nebo jiné vhodné metody. Takže metoda ILI, kterou původně doporučovala IWA, je od data platnosti této směrnice oficiálně uznávána legislativou Evropské Unie. Členské státy mají dané určité období, do kterého musí tuto metodu implementovat do národní legislativy. A Česká republika pro toto nařízení není výjimkou. Proto je jen otázka času, než se všechny ztráty vody v ČR budou vykazovat pomocí ILI. [12]

1.2.5 Ekonomický přístup ke snižování ztrát vody ELL (Economic Leakage Level)

Firmy neustále hledají efektivní postupy, které vedou v krátkém čase k co největším úsporám. A to samozřejmě platí i pro vodohospodářství a pro oblast snižování ztrát vody. [2]

V minulých letech byla v mnoha vodárenských společnostech věnována pozornost na snižování ztrát ve vodovodních sítích. Ztráty jsou jedním hlavních ukazatelů při vyhodnocování kvality a efektivnosti u vodárenských systémů. Je kladen velký důraz na snížení dlouhodobých pozvolných plošných ztrát vody. Během let byly vypracovány podrobné bilanční postupy, které dokážou kvantifikovat míru dosaženého snížení ztrát vody a tyto ztráty mezi sebou dokážeme vzájemně porovnávat, díky jednotně definovaným ukazatelům. Ekonomické aspekty při snižování ztrát vody však byly v mnoha ohledech přehlíženy. Abychom mohli přistoupit k tomuto problému po ekonomické stránce, je nutné zabývat se i dále popsanými matematickými okruhy. [3]

Ekonomická situace nutí provozovatele vodárenských zařízení ke snižování ztrát způsobem, který je po ekonomické stránce přinese největší zisk. Proto se po této stránce jeví plošné snižování ztrát jako málo ekonomicky efektivní. [3]

Pokud vezmeme v úvahu stále se zvyšující rozdíly mezi odběrem vody surové a vody odebírané z podzemních zdrojů, je na první pohled patrné, že pro provozovatele je ekonomicky výhodnější snižovat ztráty vody na vodovodních sítích, do kterých je dodávána voda z povrchových zdrojů, protože náklady na odběr povrchové vody surové je v některých lokalitách až dvojnásobný oproti poplatku, který by zaplatily za odběr vody podzemní. Další argument, kterým toto tvrzení můžeme podpořit je fakt, že surová povrchová voda je mnohem investičně náročnější z hlediska technologické úpravy na pitnou vodu oproti vodě podzemní. Takže proto je preferováno snižování ztrát nejprve u vody “dražší“, protože tento postup má za následek větší úsporu provozních nákladů. [3]

Snaha o větší efektivitu při snižování ztrát vody, však přinutila provozovatele k vrácení se k již dříve publikovaným poznatkům, které se však v tuzemské praxi rutinně nepoužívali, ale

mohou v nových ekonomických podmínkách přinést nové pokroky v provozní oblasti. Jedním takovýmto předmětem je práce odborné skupiny IWA (Internacional Water Association) v rámci Water Loss Task Force (WLTF). Tato odborná skupina se už delší dobu zabývá vývojem metodiky pro lepší posouzení ztrát vody. Produktem tohoto vývoje bylo stanovení nového ukazatele pro posouzení ztrát vody – tzv. ELL-Economical Leakage Level. Na práci odborné skupiny WLTF navázala i tuzemská FAST VUT Brno, kde na ÚVHO navrhli relativně jednoduchý postup, pomocí kterého můžeme porovnat základní ekonomiku ztrát v posuzovaných systémech. Navrhovaný postup byl publikován. Tento postup je založen na tzv. Ekonomickém indexu ztrát – EIZ, který můžeme stanovit podle vztahu:

$$EIZ = EI * IZ \quad (1.12)$$

Kde EI – ekonomický index: nabývá následujících doporučených hodnot v návaznosti na způsob úpravy a dopravy vody:

EI = 1,5 – voda pro posuzovaný systém je posuzována dvoustupňovou úpravou vody a je čerpána minimálně na výšku přesahující 50 m vodního sloupce.

EI = 1,0 – voda pro posuzovaný systém je posuzována dvoustupňovou úpravou vody, ale do systému je dopravována gravitačně nebo případně voda pro posuzovaný systém vyžaduje pouze dezinfekci, ale musí být do systému čerpána.

EI = 0,5 – voda pro posuzovaný systém vyžaduje pouze dezinfekci, resp. Jednoduchou úpravu a je do systému dopravována gravitačně.

a kde

IZ – index ztrát: stanoví se pro každý posuzovaný vodárenský systém, resp. jeho část, v závislosti na použitém ukazateli ztrát vody:

- Použijeme-li pak ukazatele jednotlivých úniků (JÚ), potom můžeme vyčíslit:

$$IZ = IJ / 4 \quad (1.13)$$

- průměrnou hodnotu 4 můžeme doporučit jako technicky akceptovatelnou hodnotu ukazatele IJI. (Ukazatel IJI vyjadřuje poměr skutečných ztrát k tzv. teoreticky nevyhnutelným ztrátám vody). [3]

Podle výsledné hodnoty EIZ lze pak provést základní ohodnocení ztrát vody v jednotlivých posuzovaných vodovodních systémech na ekonomické úrovni:

3. Třída: $EI \geq 1,3$ – jedná se o vodovodní systém, kde ztráty vody způsobují značné ekonomické provozní ztráty a je žádoucí, aby provozovatel provedl podrobnou analýzu příčin ztrát vody a intenzivně se zaměřil na jejich snižování.

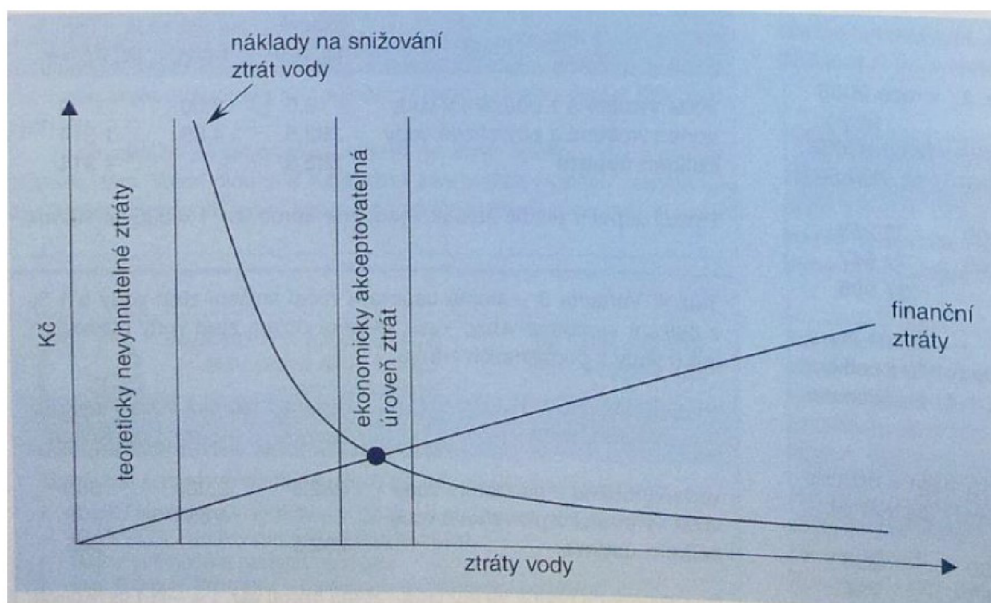
2. Třída: $0,8 \leq EIZ \leq 1,3$ – jedná se o vodovodní systém, kde v důsledku současných ztrát nedochází k významným ekonomickým provozním ztrátám.

1. Třída: $EIZ \leq 0,8$ – jedná se o vodovodní systém, kde ztráty vody jsou jak po technické, tak i po ekonomické stránce vyhovující a realizace dalších opatření zaměřených na snižování ztrát vody by byla ekonomicky neefektivní. [3]

Bilanční ekonomické hledisko – porovnání zisků (výnosů) a ztrát (nákladů)

Jako přijatelná metoda pro většinu provozovatelů vodovodních systémů se s velkou pravděpodobností ještě dlouho bude používat posuzování ztrát vody z ekonomického hlediska. Tato metoda je na první pohled velice jednoduchá a porovnává skutečné náklady vyložené na snížení ztrát vody a finanční přínosy, které po vynaložení finančních prostředků provozovatel získá. Stanovení přesné hranice ekonomicky akceptovatelné úrovně ztrát vody je již dlouho dobu teoreticky známé a velmi detailně propracované. Schéma můžeme vidět na obr. 4

[3]



Obr. 4 Ekonomický pohled na snižování ztrát vody [3]

V praxi je však velice obtížné získat přesný průběh teoretické hyperbolické funkce potřených nákladů, které jsou nutné ke snížení konkrétních objemů ztrát, s ohledem na mnoho faktorů, které do hodnocení procesů vstupují. Graf na Obr. 4 velice názorně poukazuje skutečnost, že snižování ztrát vody je nevýhodné, jakmile ztráty klesnou pod určitou hranici. Tento fakt si mnoho provozovatelů vodovodních sítí uvědomuje a řídí se jím. Proto se při snižování ztrát vody provozovatelé zaměřují převážně na oblasti, kde se vyskytují největší ztráty provozních nákladů. Pro hledání ztrátových území se používají hlavně detekční přístroje, které se osvědčily po dobu několika let, protože nákup nových detekčních přístrojů a moderní techniky tento proces značně prodraží a může dojít, zejména u menších provozovatelů k zmenšení rentability cílového snižování vody.

[3]

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Tato část práce obsahuje rešerši pojednávající o současném stavu řešené problematiky

2.1 LEGISLATIVA

V ČR je vodárenství upravováno celou řadou zákonů, nařízení, vyhlášek a dalších právních předpisů.

V následujících řádcích uvedu legislativy vztahující se ke stanovení ceny vody, zásobování vodou, zdrojům vody, aj.

Zákony (výběr):

- **Zákon Parlamentu ČR č. 274/2001 Sb.**, o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (o vodovodech a kanalizacích), ve znění zákona č. 281/2009 Sb.
- **Zákon Parlamentu ČR č. 76/2002 Sb.**, o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění zákona č. 521/2002 Sb.
- **Zákon Parlamentu ČR č. 254/2001 Sb.**, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- **Zákon Parlamentu ČR č. 258/2000 Sb.**, o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.
- **Zákon Parlamentu ČR č. 275/2013 SB.**, Zákon, kterým se mění zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů [4]

2.2 ZTRÁTY VODY V ČESKÉ REPUBLICE

Statistický úřad ČR (ČSÚ) za rok 2019 prošetřoval v oboru vodovodů a kanalizací celkem 1 560 respondentů (v roce 2018 1 577 respondentů a v roce 2017 1 462 respondentů), z toho bylo v souboru zahrnuto 1 254 obcí, kromě toho bylo obesláno také 306 profesionálních provozovatelů, z nichž 29 provozuje vodovody a kanalizace současně ve více krajích. U obcí i provozovatelů se dosáhlo 100% návratnosti výkazů. Vykazované údaje se dočetly na celou republiku. [5]

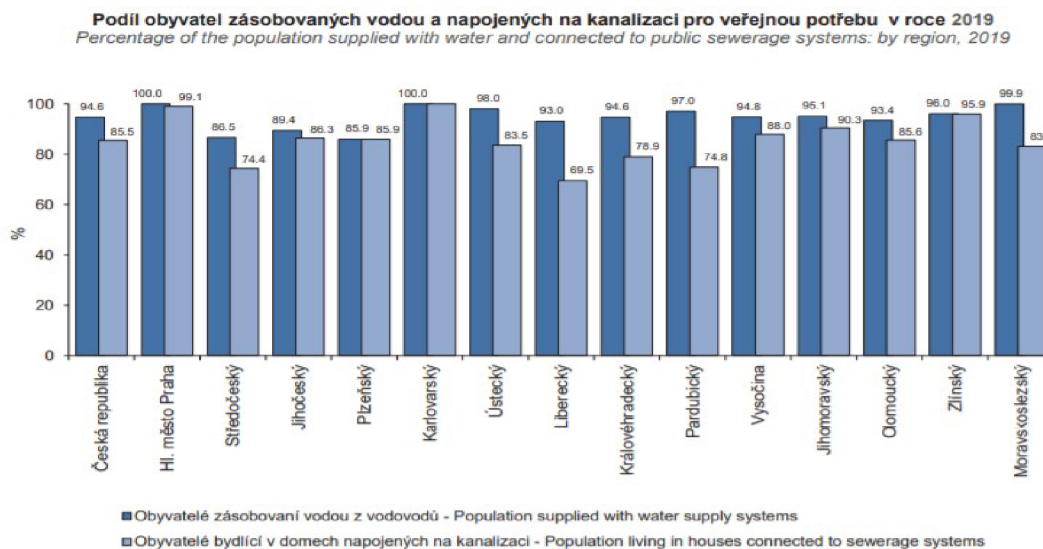
Porovnání výsledků a vývojové trendy

Rok od roku přibývá malý počet lidí zásobovaných pitnou vodou. Celková spotřeba vody meziročně vzrostla o 0,3 l/os/den a spotřeba vody v domácnostech vzrostla o 1,4

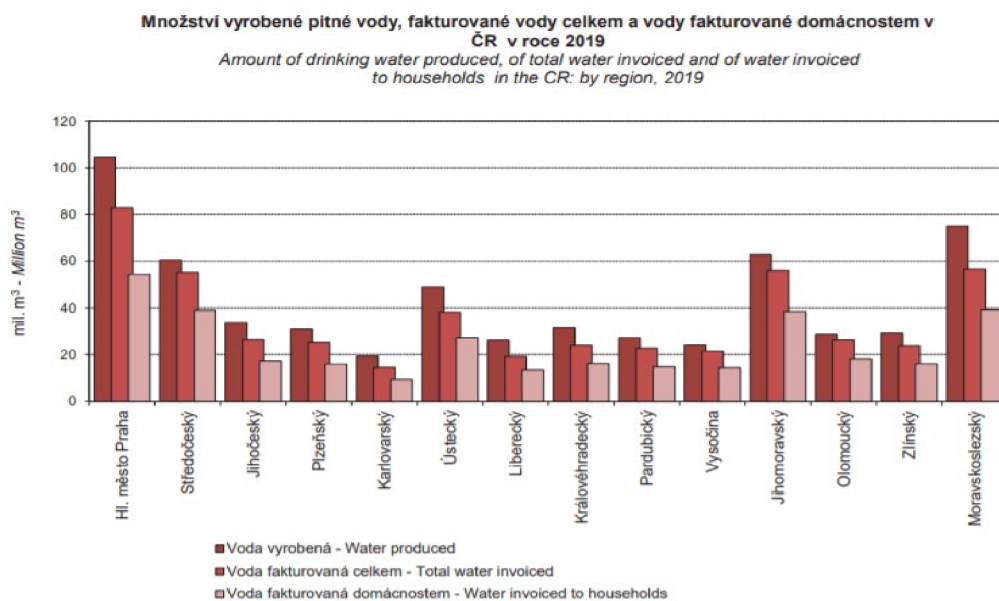
l/os/den (mezi roky 2019–2020). Stejně tak mírně roste počet vodovodních přípojek a vodoměrů. [5]

Zajímavé zvýšení také zaznamenal ukazatel ztrát vody v potrubí. Cena pitné vody bez DPH meziročně vzrostla v průměru o 1,20 Kč/m³ z 38,10 Kč/m³ na 39,30 Kč/m³.

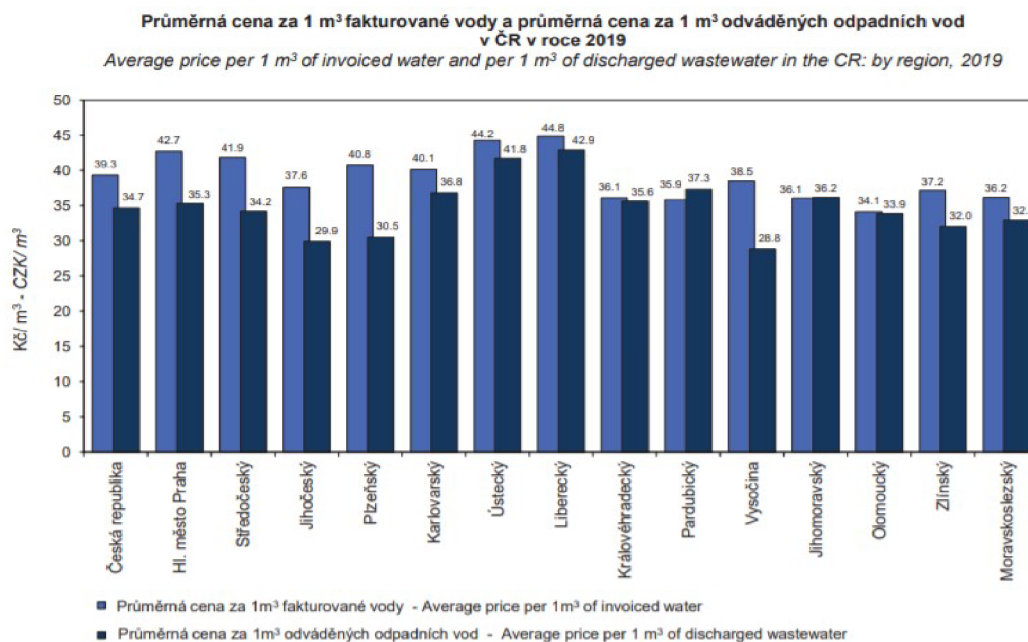
Údaje za rok 2019 jsou zpracovány podle publikace ČSÚ “ Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2019. [5]



Obr. 5 Podíl obyvatel zásobovaných vodou a napojených na kanalizaci pro veřejnou potřebu v roce 2019 [5]

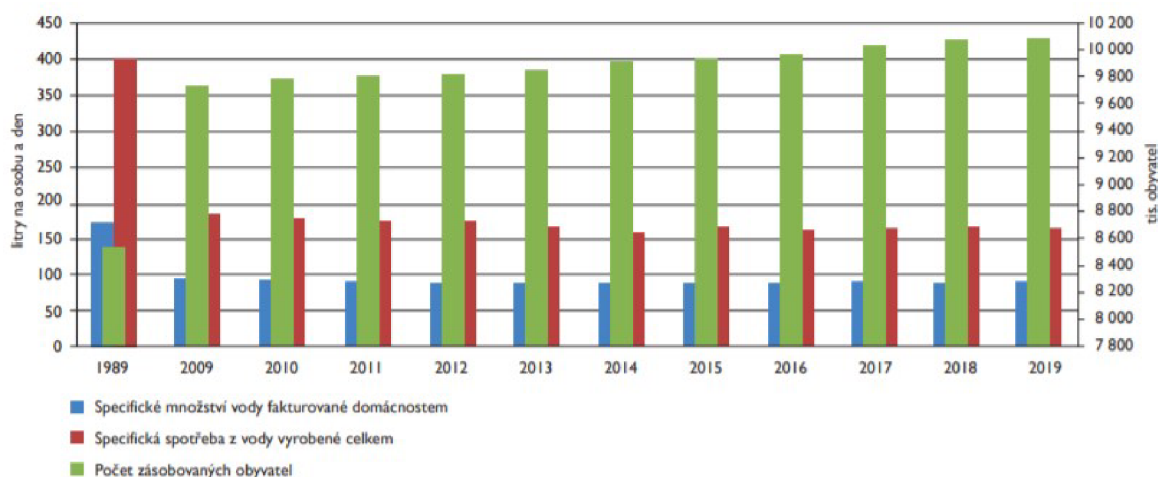


Obr. 6 Množství vyrobené pitné vody, fakturované vody celkem a vody fakturované domácnostem v roce 2019 [5]



Obr. 7 Průměrná cena za 1 m³ fakturované vody a průměrná cena za 1 m³ odváděných odpadních vod [5]

Údaje za rok 2019 vypracované Ministerstvem zemědělství.



Obr. 8 Vývoj počtu zásobovaných obyvatel a specifické spotřeby z vody fakturované v letech 1989 a 2009–2019 [6]

Tabulka 5.1.3 Nefakturovaná voda a ztráty vody v letech 2013–2019

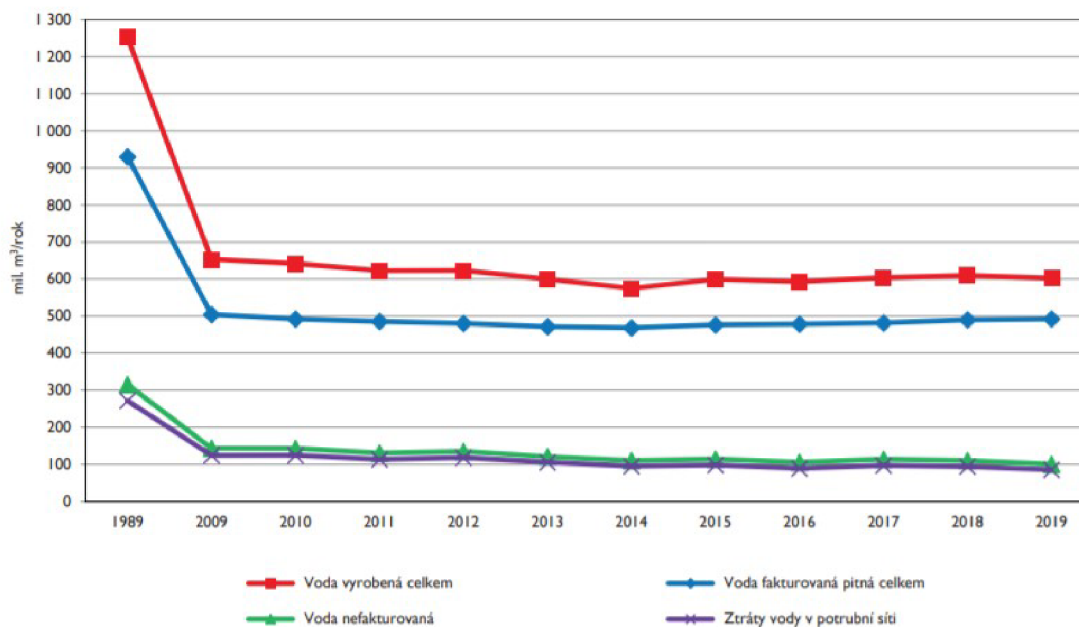
| Ukazatel | Měrná jednotka | Rok | | | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Voda vyrobená určená k realizaci (VVR) | mil. m ³ · rok ⁻¹ | 594 | 580 | 592 | 585 | 597 | 602 | 594 |
| | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Voda nefakturovaná celkem | mil. m ³ · rok ⁻¹ | 122 | 111 | 115 | 107 | 115 | 111 | 101 |
| | % z VVR | 20,5 | 19,1 | 19,4 | 18,2 | 19,2 | 18,4 | 17,0 |
| z toho ztráty v trubní síti | mil. m ³ · rok ⁻¹ | 106 | 96 | 99 | 90 | 98 | 95 | 86 |
| | % z VVR | 17,9 | 16,6 | 16,8 | 15,4 | 16,4 | 15,8 | 14,5 |
| Ztráty na 1 km řadů za den | l · km ⁻¹ · den ⁻¹ | 3 857 | 3 417 | 3 519 | 3 168 | 3 409 | 3 304 | 2 994 |
| Ztráty na 1 zásobovaného obyvatele za den | l · os ⁻¹ · den ⁻¹ | 30 | 27 | 27 | 25 | 27 | 26 | 23 |

Pramen: ČSÚ

Obr. 9 Nefakturovaná voda a ztráty vody v letech 2013–2019 [6]

V roce 2019 došlo ke snížení ztrát vody v trubní síti (podíl ztrát vody v trubní síti k vodě vyrobené, určené k realizaci poklesl o 1,3 % na 14,5 %). Ve střednědobém horizontu je možné sledovat zásadní trend snižování ztrát pitné vody v trubní síti. Je velice důležité, aby se vlastníci vodovodů v příštích letech důsledně zaměřili na obnovu těch částí vodovodní sítě, které jsou zjevně nejproblematičtější a na kterých jsou evidovány nejvyšší podíly ztrát. Obnova těchto úseků bude z hlediska snižování ztrát a dlouhodobě udržitelného hospodaření s vodou i z hlediska ekonomického velmi efektivní. [6]

Graf 5.1.2 Vývoj hodnot objemu vody vyrobené celkem a fakturované vody celkem v letech 1989 a 2009–2019



Obr. 10 Vývoj hodnot objemu vody vyrobené celkem a fakturované vody celkem v letech 1989 a 2009–2019 [6]

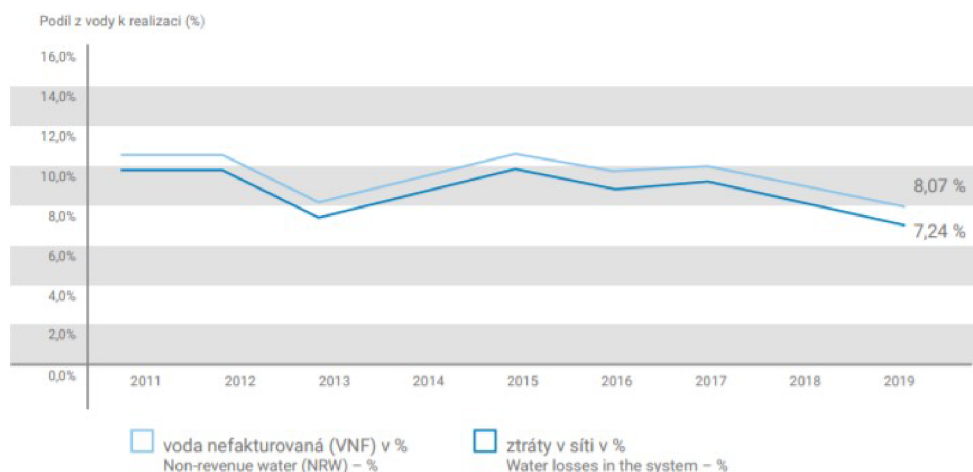
Souhrnné údaje o vodovodech v letech 1989 a 2013–2019

| Ukazatel | Měrná jednotka | Rok | | | | | | | |
|--|--|----------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| | | 1989 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Obyvatelé (střední stav) | tis. obyv. | 10 364 | 10 511 | 10 525 | 10 543 | 10 565 | 10 584 | 10 626 | 10 669 |
| Obyv. skutečně zásobování vodou z vodovodů | tis. obyv. | 8 537 | 9 854,4 | 9 917,2 | 9 929,7 | 9 972,5 | 10 027,4 | 10 064,1 | 10 090,2 |
| | % | 82,4 | 93,8 | 94,2 | 94,2 | 94,4 | 94,7 | 94,7 | 94,6 |
| Voda vyrobená celkem | mil. m ³ · rok ⁻¹ | 1 251 | 600,2 | 575,4 | 599,6 | 593,3 | 603,8 | 609,7 | 602,4 |
| | % k 1989 | 100 | 48,0 | 46,0 | 47,9 | 47,4 | 48,3 | 48,7 | 48,2 |
| Voda fakturovaná pitná celkem | mil. m ³ · rok ⁻¹ | 929,4 | 471,8 | 468,7 | 476,8 | 478,9 | 482,0 | 490,4 | 492,6 |
| | % k 1989 | 100 | 50,8 | 50,4 | 51,3 | 51,5 | 51,9 | 52,8 | 53,0 |
| Specifická spotřeba z vody vyrobené | l · os ⁻¹ · den ⁻¹ | 401 | 166,8 | 158,9 | 165,4 | 162,5 | 164,9 | 165,9 | 163,5 |
| | % k 1989 | 100 | 41,6 | 39,6 | 41,2 | 40,5 | 41,1 | 41,4 | 40,8 |
| Specifické množství vody fakturované celkem | l · os ⁻¹ · den ⁻¹ | 298 | 131,1 | 129,5 | 131,5 | 131,2 | 131,7 | 133,5 | 133,8 |
| | % k 1989 | 100 | 44,0 | 43,4 | 44,1 | 44,0 | 44,2 | 44,7 | 44,9 |
| Specifické množství vody fakturované domácnostem | l · os ⁻¹ · den ⁻¹ | 171 | 87,2 | 87,3 | 87,9 | 88,3 | 88,7 | 89,2 | 90,6 |
| | % k 1989 | 100 | 51,0 | 51,1 | 51,4 | 51,6 | 51,9 | 52,2 | 53,0 |
| Ztráty vody na 1 km řadů | l · km ⁻¹ · den ⁻¹ | 16 842 ¹⁾ | 3 856,9 | 3 417,2 | 3 519,3 | 3 167,9 | 3 409,4 | 3 303,5 | 2 993,5 |
| Ztráty vody na 1 zás. obyv. | l · os ⁻¹ · den ⁻¹ | 90 ¹⁾ | 29,5 | 26,5 | 27,3 | 24,7 | 26,7 | 25,8 | 23,4 |

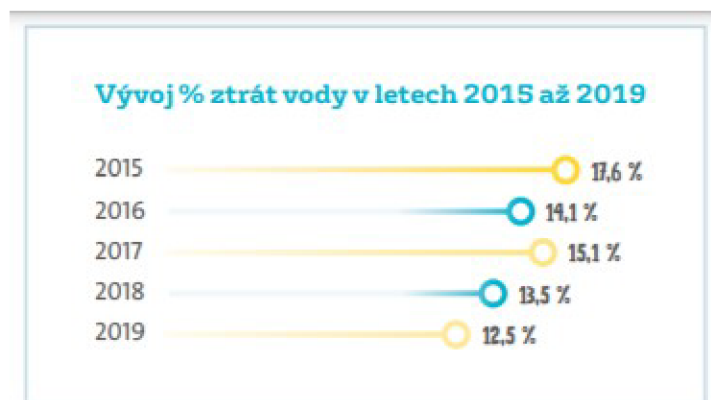
Obr. 11 Zásobování vodou z vodovodů v letech 1989 a 2013–2019 [6]

Ztráty vody každoročně klesají, a to v celé republice. Následně jsou uvedeny ztráty vody v různých vodárenských společnostech.

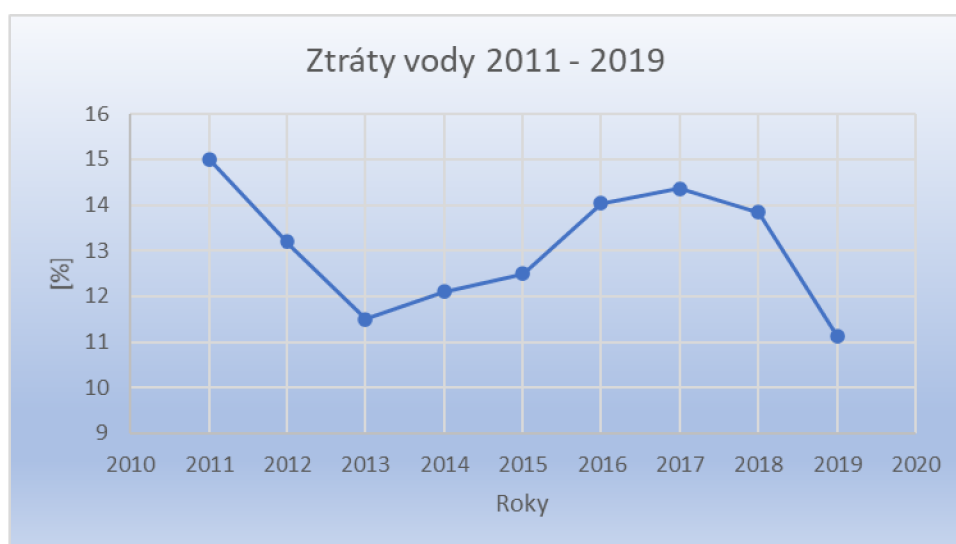
Voda nefakturovaná a ztráty vody 2011–2019



Obr. 12 Ztráty vody z Brněnských vodáren a kanalizací [18]



Obr. 13 Ztráty vody od firmy Pražské vodovody a kanalizace [17]

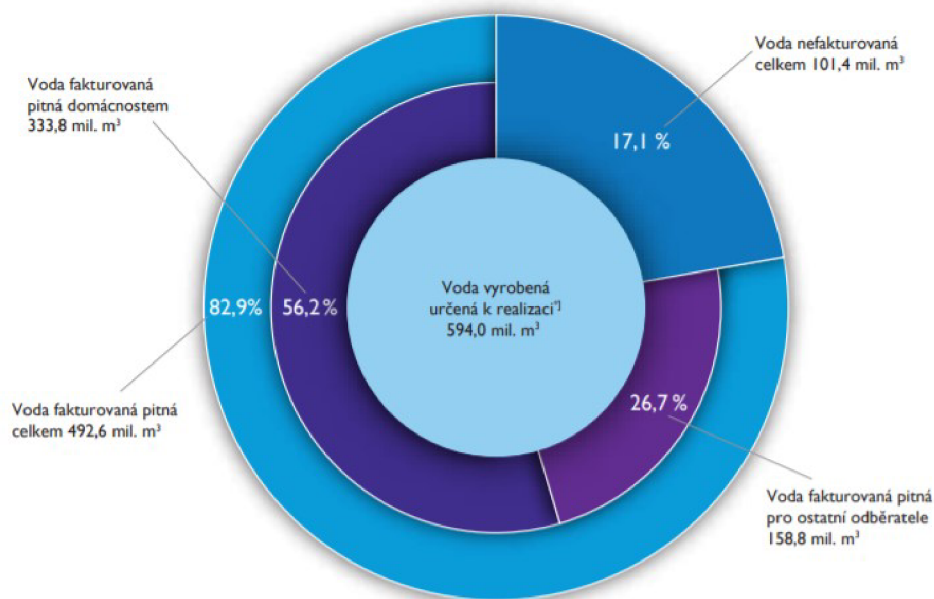


Obr. 14 Obr. 12 Ztráty vody od firmy Vodovody a Kanalizace Pardubice a.s. [19]

Ke snižování ztrát vody přispívá stálý monitoring vodovodní sítě včetně průběžného vyhodnocování ztrát vody v zásobních pásmech a pravidelná diagnostika vodovodní sítě. Každoročně se technologie monitoringu vodovodní sítě zlepšují, což má za následek rychlejší identifikování úniků na vodovodní síti a pak následně rychlejší opravu poruch na vodovodní síti. Vodárenské společnosti jsou po finanční stránce pobízeny ke zmenšování ztrát vody. Proto se nevyhýbají i používáním novějších technologií jako je např. systém Enigma 3m.

[17]

Obrázek 5.1.1 Schéma využití vody vyrobené určené k realizaci v roce 2019

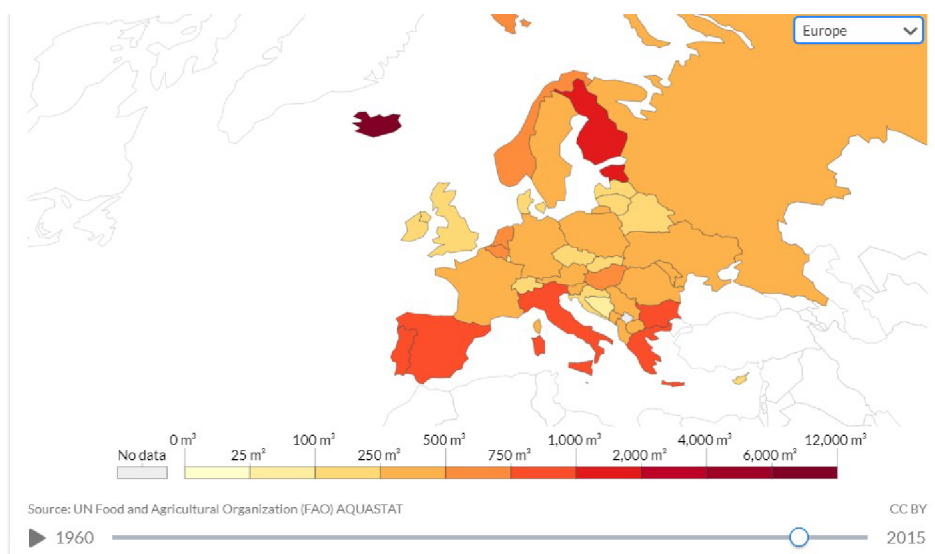


Obr. 15 Schéma využití vody vyrobené určené k realizaci v roce 2019 [6]

2.3 ZTRÁTY VODY V ZAHRANIČÍ

2.3.1 Spotřeba vody ve světě

V následující části uvádím pro představu hodnoty průměrné domácí spotřeby vody v Evropě. Hodnoty jsou uvedeny v m³/osobu/rok



Obr. 16 Spotřeba vody na osobu v Evropě [11]

2.3.2 IWA – International water association

IWA je organizace která sdružuje členy ve 140 zemích na světě. Je to největší mezinárodní síť profesionálů pracujících na veškerých problémech týkajících se vody. Zabývá se proto samozřejmě i ztrátami vody. Tato globální síť odborníků má za cíl spojit lidi z různých odvětví pro vytváření inovačních řešení v oblasti vodního hospodářství. [7]

IWA loss specialist group je skupina která je silně zaměřená na ztráty vody, které se převážně vyskytují v podzemních vodovodech a rozvaděčích. Skupina vytvořila metodu pro započítání všechny vody vstupující do systému a tento proces byl přijat celosvětově provozovateli vodovodních sítí. Cílem této skupiny je urychlit vývoj a výzkum technologií zabráňujícím ztrátám vody. Water loss specialist group se vyvinula ze skupiny water loss task force (WLTF). [8]

Jeden nejvýznamnějších odborníků podílející se na výzkumu ztrát vody z IWA je Allan Lambert, který ve spolupráci se svými kolegy vyvinul několik jak osvědčených, tak praktických konceptů pro účinné řízení vodovodních sítí. Allan Lambert byl předsedou WLTF, kde zveřejnil ukazatel výkonosti vodovodních sítí ILI – Infrastructure Leakage Index. [9]

Další světový odborník, který patří do IWA WLSG, je Marco Fantozzi. Fantozzi publikoval mnoho odborných článků na téma ztrát vod a jejich snižování. Podílel se také na několika mezinárodních projektech jako je např. IceWater, Waterpipe, Aquaknight. Je vlastníkem studia, které je distributorem většiny evropských softwarů (LeaksSuite (<http://www.leakssuite.com/>) pro úniky vody a tlakové řízení ve vodovodních systémech, vyvinutých Allanem Lambertem a jeho ILMSS Ltd. (Internacional Leakage Managment Support Services Ltd). [10]

2.3.3 Vykazování ztrát vody doporučené AWWA

AWWA (American Water Works Association) vytvořila pro vykazování ztrát vody software nazvaný American Water Works Free Water Audit Software (FWAS). Tento software se používá po celé Americe, ale začíná se používat i jiných zemích jako je například Nizozemsko. K datu vypracování této práce je dostupná verze 6.0, která byla vydána v prosinci roku 2020 ke světovému dni ztráty vod 4.prosince. I přestože je to americký software, tak má schopnost převádět na metrické jednotky, a proto je vhodný i pro praktiky mimo USA. [14]

První verze softwaru byla vytvořena v roce 2006. Verze 6.0 je suma více než 10 let zkušeností s provozováním tohoto softwaru. Od vydání verze 6.0 do 10.3.2021 měl tento software přes 1000 stáhnutí. Z těchto čísel můžeme usoudit, že se tento software stává mainstreamový jak v USA, tak i v ostatních zemích světa. Proto můžeme očekávat jen stoupající popularitu tohoto softwaru. [15]

Práce s Water Audit Softwarem

V následující části bych si dovolil stručně popsat, jak se pracuje s výše uvedeným softwarem.

1. Startovací stránka (Start Page)

Na této stránce se vyplní základní údaje o projektu. Je tu také uvedený popis jednotlivých stránek a popis zkratk, které se používají v tomto softwaru.

2. Pracovní list (Work sheet)

Zde se vyplní data potřebná k výpočtu výsledných ztrát v systému, které byly uvedeny v kapitole 1.2. jako např. voda dodaná atd. [14]

AWWA Free Water Audit Software v6.0 FWAS v6.0
 American Water Works Association Copyright © 2020, All Rights Reserved.

This spreadsheet-based water audit tool is designed to help quantify and track water losses associated with water distribution systems and identify areas for improved efficiency and cost recovery. It provides a "top-down" summary water audit format and is not meant to take the place of a full-scale, comprehensive water audit format. Auditors are strongly encouraged to refer to the most current edition of AWWA M38 Manual for Water Audits for detailed guidance on the water auditing process and targeting loss reduction levels. This tool contains several separate worksheets. Sheets can be accessed using the tabs at the bottom of the screen, or by clicking the TOC links below.

Table of Contents (TOC)

- Start Page**: The current sheet. Enter contact information and basic audit details.
- Worksheet**: Enter the required data on this worksheet to calculate the water balance and data grading.
- Interactive Data Grading**: Answer questions about operational practices for each audit input, and the data validity grades will automatically populate.
- Dashboard**: Review NRW components, performance indicators and graphical outputs to evaluate the results of the audit.
- Notes**: Enter notes to explain how values were calculated, document data sources, and related information about data management practices.
- Blank Sheet**: By popular demand! A blank sheet. The world is your canvas.
- Water Balance**: The values entered in the Worksheet automatically populate the Water Balance.
- Loss Control Planning**: Use this sheet to interpret the results of the audit validity score and performance indicators.
- Definitions**: Use this sheet to understand the terms used in the audit process.
- Service Connection Diagram**: Diagrams depicting possible customer service connection line configurations.
- Acknowledgements**: Acknowledgements for development of the AWWA Free Water Audit Software v6.0.

AWWA Web Resources for Water Loss Control
<https://www.awwa.org/Resources-Tools/Resource-Tools/Water-Loss-Control>
 Items referenced in the Free Water Audit Software v6.0 on the web:
 Data Grading Matrix v6.0
 Example Water Audit v6.0
 Water Audit Compiler v6.0
 AWWA Reports on Performance Indicators
 M38 Manual

Enter Basic Information

Name of Utility: _____
 Name of Contact Person: _____
 Email: _____
 Telephone | Ext.: _____
 City/Town/Municipality: _____
 State / Province: _____
 Country: _____
 Audit Preparation Date: _____
 Audit Year: _____
 Audit Year Label: _____ (Fiscal, Calendar, etc)
 Audit Period Start Date: _____
 Audit Period End Date: _____
 Volume Reporting Units: _____
 Water System Structure: _____
 Water Type: _____
 System ID Number: _____
 Validator Name/ID: _____
 Validator Email: _____
 Estimated Total Population Served by Water Utility: _____

Key of Input Acronyms *In order of appearance in the Worksheet*

- VOS Volume from Own Sources
- VOSEA VOS Error Adjustment
- WI Water Imported
- WIEA WI Error Adjustment
- WE Water Expored
- WEEA WE Error Adjustment
- BMAC Billed Metered Authorized Consumption
- BUAC Billed Unmetered Authorized Consumption
- UMAC Unbilled Metered Authorized Consumption
- UUAC Unbilled Unmetered Authorized Consumption
- SDHE Systematic Data Handling Errors
- CMI Customer Metering Inaccuracies
- UC Unauthorized Consumption
- Lm Length of mains
- No Number of service connections
- Lp Average length of (private) customer service line
- AOP Average Operating Pressure
- CRUC Customer Retail Unit Charge
- VPC Variable Production Cost

Color Key User input Calculated Optional default

Guidance for the Worksheet

Choosing to enter unit of percent or volume (applies to VOSEA, WIEA, WEEA, CMI)
 choose entry option:
 1.00% percent or
 volume 25,000

Choosing to enter default or custom input (applies to UUAC, SDHE, UC)
 choose entry option:
 0.25% default or
 custom 75,000

Guidance for the Interactive Data Grading

Use acronym buttons in IDG header to navigate among inputs. Acronym Key above.

After clicking an acronym button, answer all visible questions in the order they're presented, choosing best-fit answer

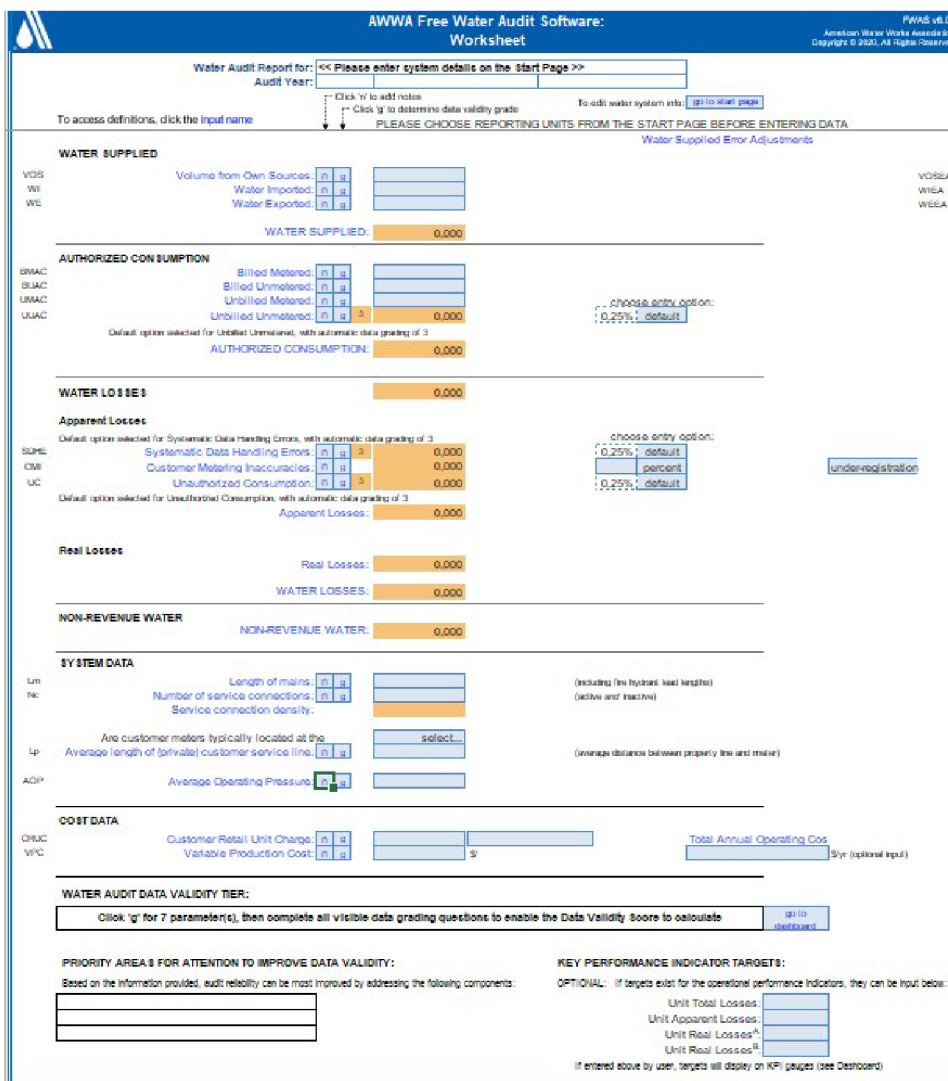
Grade will populate when all visible questions are complete for an input **7**

The limiting criteria will be labeled along the right. If only 1 limiting criterion is shown, improving on that criterion will achieve a higher data grade. If multiple limiting criteria are shown, improving on each limiting criterion is necessary to achieve a higher data grade. A complete inventory of data grading criteria is available in the Data Grading Matrix v6.0 (see web resources)

Limiting

For have questions or comments regarding this software please contact us at: wlo@awwa.org

Obr. 17 Water Audit software, 2. pracovní list [14]



Obr. 18 Water audit software, 1. startovací strana [14]

3. Interaktivní přiřazovač dat (Interactive data grading)

Tato stránka obsahuje řadu rozevíracích nabídek, seřazených do skupin. V těchto nabídkách vybereme odpověď, která nejlépe odpovídá našemu systému. Ve vrchní části listu jsou tlačítka popsané zkratkami jednotlivých skupin. Jakmile jsou všechny tlačítka vybarvené oranžovou barvou, pak jsou všechny nabídky vyplněny a můžeme pokračovat na další list (Pokud jsou průhledné, znamená to, že pro náš případ nejsou tyto data použitelná). Algoritmus také označí, které podmínky jsou limitní. Což může být velmi nápomocné pro budoucí vylepšení datových imputů.

4. Prázdný list (Blank Sheet)

Prázdný list pro osobní výpočty. Data z něj se dají připojit do pracovního listu.

5. Přístrojová deska (Dashboard)

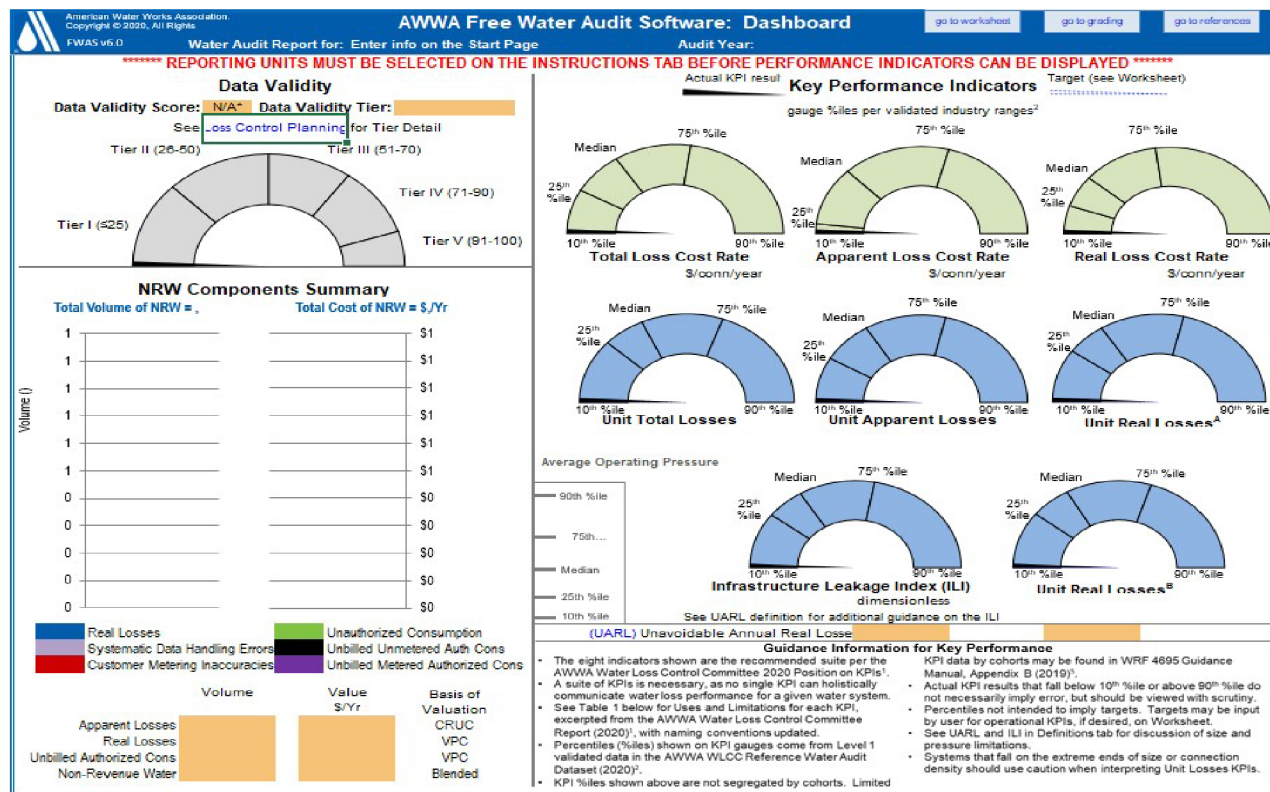
Obsahuje množství ukazatelů, které jsou vyjádřeny jak číselně, tak i v grafické formě. Nejdůležitější z těchto ukazatelů je věrohodnost (validity). Je to číslo mezi 0–100 a podle toho v jaké hranici se naše data pohybují se pomocí tabulky uvedené u výpočtu dozvíme, jak

moc můžeme těmto datům věřit. Může se stát, že máme příliš málo dat, na to abychom mohli s přesností říct jaký má být další postup. Další data jsou index infrastrukturní ztrátovosti, výpisy ztrát v systému a cena těchto ztrát. [14]

Zkušenosti s Water Audit Softwarem v Nizozemsku

V Nizozemsku je nedostatek nových zemních zdrojů vody, což vede investory k investování do vylepšení stávajících vodovodních sítí a zmenšení ztrát v těchto sítích. K docílení těchto záměrů, se řídicí konzultant Cor Merks rozhodl použít v Nizozemsku Water Audit Software. V době vypracování této práce ještě nejsou zpracována všechna data, to může trvat ještě několik let. Ale co se týče s dosavadních zkušeností s tímto softwarem Merks říká: “WE” are very happy with the AWWA Free Water Audit Software v6.0” (Jsme velice spokojeni s Free Water Audit Softwarem verze 6.0). [14]

Z těchto poznatků můžeme konstatovat, že je jen otázka času, než se tento software bude požívat celosvětově.



Obr. 19 Water Audit Software, Přístrojová deska [14]

3 ANALÝZA VYBRANÝCH TLAKOVÝCH PÁSEM MĚSTA BRNA

Následující kapitoly 3.1.1. – 3.1.6. jsou převzaty ze stránek BVK. Jde o rešerši popisu infrastruktury zásobování města Brna pitnou vodou.

3.1 POPIS ZÁSOBOVÁNÍ MĚSTA BRNA

„Město Brno má k dispozici dostatek zdrojů kvalitní pitné vody s kapacitními rezervami, které umožňují z pohledu zásobování vodou rozvoj města i celé brněnské aglomerace s mnohaletým výhledem do budoucna. Základními zdroji vody jsou prameniště podzemní vody v Březové nad Svitavou a úpravna povrchové vody ve Švařci. Z Březové nad Svitavou je voda do Brna přiváděna přivaděčem I. březovského vodovodu a přivaděčem II. březovského vodovodu. Z úpravny vody Švařec se voda do Brna přivádí přivaděčem Vířského oblastního vodovodu (VOV). Provoz úpravny vody v Brně-Pisárkách byl v květnu 2013 ukončen. Od roku 2001 plnila úpravna Pisárky již jen funkci zdroje rezervního s využitím při případných havarijních stavech a při mimořádných provozních situacích a od roku 2008 vodu do vodovodní sítě již nedodávala.“ [16]

3.1.1 Březovské přivaděče

Prameniště podzemní vody Březová nad Svitavou, I. a II. březovský přivaděč

„Prameniště využívá velkých zásob puklinových podzemních vod v komplexu křídových vrstev v okolí Březové nad Svitavou, doplňovaných především infiltrací atmosférických srážek do horninového prostředí.

Vodoprávně povolený odběr z jímacího zařízení I. březovského vodovodu je 300 l/s, z jímacího zařízení II. březovského vodovodu je vodoprávně doporučený průměrný odběr 780 l/s. Skutečný odběr je řízen podle aktuální hydrologické situace dle stavu hladin podzemní vody i potřeby vody pro zásobování daného spotřebiště

Voda z jímacích celků obou březovských vodovodů je svedena do společného vodojemu v Březové nad Svitavou o objemu 5 000 m³. Tento vodojem slouží jak k fixaci hydraulických poměrů v násoskách, tak i jako provozně nezbytná akumulace pro ovládání odběru vody z prameniště I. a II. březovským přivaděčem, které oba odvádějí vodu z tohoto vodojemu. Uvedený způsob provozování trvá od roku 1975, kdy byl v rámci výstavby II. březovského vodovodu vodojem v Březové dostavěn a uveden do provozu.“ [16]

I. březovský přivaděč

„Přivaděč je z litinových hrdlových trub DN 600 a 650, je téměř po celé své délce uložen v sevřeném údolí řeky Svitavy v souběhu s komunikacemi a železnicí, kterou sedmkrát kříží. Ve velmi členěném terénu mezi Blanskem a Bílovicemi nad Svitavou byly pro položení potrubí proraženy 3 masivní štoly, z nichž nejdelší má délku 614 metrů. Výškový rozdíl mezi hladinou podzemní vody v prameništi a hladinou ve vodojemu Holé Hory, kde přivaděč

končí, je 89 metrů a zajišťuje trvalý průtok cca 264 l/s. Přivaděč je pro potřeby manipulací opatřen 17 sekčními šoupaty umístěnými ve štolách nebo samostatných domcích a k omezení negativního dopadu manipulací šesti odlehčovacími troubami.“ [16]



Obr. 20 Štola násosky I. březovského vodovodu v prameništi Březová nad Svitavou [16]

II. březovský přivaděč

Vlastní přivaděč délky 55 357 metrů je proveden z ocelových trub DN 1000-1200. Uveden do zkušebního provozu byl v roce 1975. Přivaděč je veden od zmíněného vodojemu z Březové nad Svitavou a končí ve vodojemu 2 x 17 500 m³ na Palackého vrchu v Brně. Výškový rozdíl hladin vodojemů na obou koncích přivaděče je 66,50 metrů a zajišťuje maximální průtok 1 140 l/s. V oblasti přechodu rozvodnice řek Svitavy a Svatky je potrubí uloženo v průchozí štolě délky 2 795 metrů. Veškeré potrubí je ocelové, podélně, případně i spirálově svařované s tloušťkami stěn 10–14 milimetrů.

V roce 1997 bylo v souvislosti s budováním Vírského oblastního vodovodu provedeno propojení II. březovského přivaděče a přivaděče Vírského oblastního vodovodu v uzlu Čebín, což umožňuje míchání vod z obou rozdílných vodních zdrojů ve vodojemu Čebín, vybudovaného v rámci výstavby Vírského oblastního vodovodu a tím možnost kvalitativní homogenizace tvrdší vody březovské a měkké vody vírské. Na potrubí II. březovského přivaděče byla před vodojem Čebín předřazena posilovací čerpací stanice, která při aktuálně vysoké vydatnosti prameniště v Březové n./Svit. umožňuje zvýšené průtoky vody v přivaděči oproti gravitačnímu průtoku při provozu přes vodojem Čebín.

II. březovský přivaděč byl do stavby VOV samostatným funkčním celkem a ve svém posledním úseku mezi vodojemem Čebín-vodojemem Palackého vrch zůstává v současné době hlavním dálkovým přivaděčem pro centrální spotřebiště Brno. Je schopen plynulé regulace a dodávky plné vydatnosti prameniště Březová s následujícími technickými limity:

- maximální gravitační přítok do vodojemu Čebín 870 l/s,
- maximální přítok do vodojemu Palackého vrch mimo vodojem Čebín 1 140 l/s,

- maximální propustnost úseku vodojem Čebín - vodojem Palackého vrch 1 140 l/s. [16]

3.1.2 Vířský oblastní vodovod (VOV)

„Úpravna vody Švařec (ÚV Švařec) je po prameništi v Březové nad Svitavou druhým nejvýznamnějším zdrojem vody Brněnské vodárenské soustavy, kterou provozují Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. ÚV Švařec je součástí tzv. Vířského oblastního vodovodu (VOV), který slouží k zásobování vodou nejen Brna, ale i mnoha dalších měst a obcí severně a jižně od Brna. Všechny objekty VOV, tj. především úpravnu vody ve Švařci, příslušné přiváděcí řady, vodojemy a čerpací stanice, vlastní zájmové sdružení právnických osob s názvem Vířský oblastní vodovod - sdružení měst, obcí a svazků obcí (zkráceně VOV s.m.o.), které bylo založeno v roce 1993. Hlavní činností tohoto sdružení je správa majetku VOV a rozvoj a strategie VOV. Členy sdružení jsou Statutární město Brno, města Modřice, Rajhrad, svazek obcí pro vodovody a kanalizace Šlapanicko, svazek vodovodů a kanalizací Ivančice, svazek vodovodů a kanalizací Tišnovsko a další obce a svazky. Jde o subjekty, které mají zájem o využívání zdroje vody a infrastruktury VOV.

V důsledku rozvoje města a nízké dotované ceny narůstala do roku 1989 v Brně spotřeba vody až na 65 mil. m³ za rok ze 43 mil.m³ v roce 1968. V té době bylo Brno zásobováno podzemní vodou z Březové nad Svitavou přiváděči I. a II. březovského vodovodu a upravovanou vodou z řeky Svatky z úpravny vody Brno-Pisárky. Kapacita zdrojů vody již nepostačovala pro pokrytí špičkových spotřeb, docházelo k výpadkům v dodávce vody a bylo nutné zavést regulační opatření omezující odběr vody. Zdroje vody byly přetěžovány, zejména úpravna Brno-Pisárky, což se negativně projevovalo na kvalitě upravené pitné vody, která byla předmětem oprávněných stížností odběratelů. Zhoršovala se i kvalita surové vody v řece Svatce pro úpravnu vody a přetrvávalo vysoké riziko její zranitelnosti kontaminací ropnými i jinými látkami z dopravně exponovaných okolních komunikací apod.

Nedostatek vody nejen v Brně měl vyřešit nový oblastní vodovod. Příprava VOV byla zahájena již v sedmdesátých letech minulého století, stavět se začalo v roce 1988. Tehdy ještě pod názvem Brněnský oblastní vodovod. I. etapa VOV, která umožnila přivedení vody ze Švařce do Brna, byla dokončena v roce 2000, do trvalého provozu byla uvedena v roce 2002. Součástí I. etapy byla úpravna vody Švařec, přiváděč Švařec-Čebín průměru 1400 mm včetně dvou železobetonových tlakových štol průměru 2100 mm (štoly délky 16 km), vodojem Čebín, přiváděč Čebín-Bosonohy průměru 1400 a 1100 mm a vodojem Bosonohy. Úsek Švařec-Bosonohy má délku 47 km. Trubní úseky byly vybudovány z trub sklolaminátových. V roce 2001 byla uvedena do provozu i tzv. jižní větev VOV Moravany-Rajhrad-Těšany včetně vodojemů Rajhrad I, Rajhrad II a vodojemu Těšany. Jedná se o vodovodní řady z tvárné litiny vnitřního průměru nejdříve 400 mm, v koncovém úseku průměru 150 mm, o celkové délce asi 31 km. Tato stavba umožnila přivedení vody, dočasně z vodovodní sítě města Brna, do Rajhradu a do dalších obcí ležících jižně od Brna. O stavbách VOV po vodojemy Rajhrad I a II se hovoří jako o I. etapě VOV, zbytek jižní větve VOV byl označen jako II. etapa. Úsek přiváděče VOV Bosonohy-Nebovidy-Moravany a vodojem Nebovidy se nepodařilo postavit v rámci I. ani II. etapy. Voda tak byla až do roku 2010 dopravována přes

brněnské 1. tlakové pásmo do vodojemu Moravany, odkud byla následně čerpána do vodojemu Rajhrad I a dále využívána v jižní větvi VOV.

V roce 2010 byly dokončením tzv. 3. etapy VOV (přivaděč VOV v trase Bosonohy-Nebovidy-Moravany a vodojem Nebovidy) propojeny již dříve vybudované části VOV – severní část končící v Bosonohách a jižní část začínající v Moravanech. To umožnilo přivedení vody z vodojemu Čebín přivaděčem VOV nejen do jižní větve VOV, ale i do jižních částí města Brna zásobovaných především z vodojemu Moravany, namísto provizorního vedení vody přes brněnské 1. tlakové pásmo, které je nyní méně zatíženo. Nezanedbatelným přínosem bylo odstranění čerpání veškerého množství vody potřebného pro jižní větve VOV. Tato jižní část VOV je nyní zásobena pouze gravitačně z nového vodojemu Nebovidy. V rámci 3. etapy byl vybudován z Bosonoh do Nebovid asi 4,4 km dlouhý vodovodní řad z tvárné litiny profilu 600 mm a z vodojemu Nebovidy k rozdělovací šachtě jižní větve VOV v Moravanech stejný řad délky asi 2 km. Od roku 2013 po dokončení 4. etapy VOV je pitná voda dodávána gravitačně přivaděčem DN 400 z tvárné litiny směrem od vodojemu Rajhrad I do skupinového vodovodu Židlochovice a po trase přivaděče i do dalších obcí.“ [16]

3.1.3 Spotřebiště napojená na přivaděč VOV

„Voda z úpravny Švařec je po trase přivaděče VOV Švařec-Čebín dodávána do obcí Koroužné (do obecních částí Koroužné a Švařec), Štěpánov nad Svratkou, Skorotice (do obecní části Chlébské), Černvír, do městyse Doubravník, do obcí Štěpánovice, Dolní Loučky, Újezd u Tišnova a Kaly. V omezené míře je voda přiváděna i do vodojemu Květnice pro Tišnov a do Malhostovic.

Voda přitékající od Švařce k Brnu přivaděčem VOV je míchána ve vodojemu Čebín s větším dílem vody podzemní přiváděné II. březovským vodovodem. Upravovaná voda ze Švařce tvoří ročně 8-13 % objemu pitné vody dodávané přes vodojem Čebín, zbytek množství 87-92 % připadá na podzemní vodu z II. březovského vodovodu. Takto smíchaná voda je pak dodávána pokračujícím II. březovským vodovodem a přivaděčem VOV do hlavní části Brněnské vodárenské soustavy, tj. především do Brna, Kuřimi, Modřic, ale i do dalších měst a obcí napojených na jižní větve VOV v trasách Moravany-Rajhrad-Těšany a Rajhrad-Židlochovice. Množství vody smíchané ve vodojemu Čebín představuje dnes asi 72 % celkového množství vody potřebného pro tuto část soustavy. Další množství vody (asi 28 %) přitéká odděleně I. březovským vodovodem do vodojemu Holé hory II v Brně na Lesné. Z úseku přivaděče VOV Čebín-Bosonohy je voda též dodávána do Rozdrojovic. Seznam lokalit napojených na přivaděč VOV se postupně rozrůstá. Zdroj, přivaděče a vodojemy VOV jsou nedílnou součástí dobře fungující Brněnské vodárenské soustavy. Pro vyšší využití potenciálu VOV zbývá ještě vybudovat některé vodovodní řady a upravit čerpací stanice.“ [16]

3.1.4 Úpravna vody Švařec

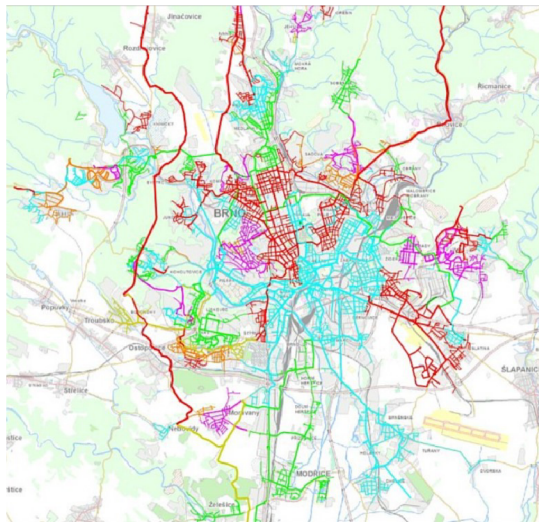
„Umístění úpravny vody Švařec bylo navrženo v údolí řeky Svratky asi 5 km vzdušnou čarou od hráze nádrže Vír, odkud se voda do úpravny přivádí. Úpravna byla projektována na maximální výkon 2300 l/s. V průběhu výstavby byl plánovaný výkon dočasně redukován

sníženou kapacitou filtrace na 1150 l/s z důvodu klesající tendence spotřeb vody. Z 20 pískových filtrů úpravy byla vystrojena jen polovina. Šest filtrů ze zbývající poloviny filtrů bylo dodatečně využito pro doplnění technologie úpravy vody vybudováním druhého stupně filtrace, kde je vyrobená pitná voda sekundárně filtrována přes filtry s granulovaným aktivním uhlím. Zdrojem povrchové vody je údolní přehradní nádrž Vír I. Přehradní nádrž má vyhlášena pásma hygienické ochrany, je zde zakázáno koupání a rybolov. Na rozdíl od úpravy Brno-Pisárky, jejíž provoz tato nová úprava nahradila, je zde výrazně sníženo riziko kontaminace surové vody ropnými látkami a jinými průmyslovými haváriemi. Úprava vody Švařec dokáže vyrábět kvalitní pitnou vodu plně odpovídající všem kritériím stanoveným pro pitnou vodu.“ [16]

3.1.5 Vodovodní síť

„Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. provozují vodovodní síť, jejíž celková délka je 1 421 km, včetně 159 km přivaděčů. Nejvíce zastoupeným materiálem potrubí je šedá litina (50 %), tvárná litina (28 %), ocel (9 %), zbytek tvoří potrubí z PE, PVC, sklolaminátu, železobetonu a azbestocementu. Nejvíce vodovodních řadů má profil DN 100, DN 150, DN 80 a DN 200. Vodovodní řady jsou uloženy především v zemi - v komunikacích a volných plochách, v centru města Brna jsou některé řady uloženy též v primárních (hlubinných) kolektorech a v sekundárních (podpovrchových) kolektorech. Na vodovodní řady je napojeno 50 tisíc vodovodních přípojek.

Vodovodní síť je rozdělena na jednotlivá tlaková pásma, v nichž je požadovaný přetlak vody zajišťován příslušným vodojemem, redukčním ventilem, případně automatickou tlakovou stanicí. V současné době společnost provozuje 93 tlakových pásem, která jsou součástí Brněnské vodárenské soustavy, a dalších 5 v samostatných vodovodech.“ [16]



Obr. 21 Centrální část vodovodní sítě, barevně dle tlakových pásem, mapový podklad [16]

3.1.6 Vodojemy a čerpací stanice

Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. v současné době provozují na distribuční vodovodní síti 71 vodojemů a akumulčních nádrží o celkové využitelné kapacitě 250 tis. m³. Vodojemy

slouží pro zajištění dostatečného přetlaku vody ve vodovodní síti a k vyrovnávání rozdílů mezi přítokem a odběrem vody. Zajišťují také poruchovou zásobu vody a vodu pro požární zabezpečení spotřebiště.

Čerpací stanice dopravují vodu do výše položených vodojemů, kam ji není možné dopravit gravitačním způsobem. V některých menších lokalitách jsou použity pro posílení přetlaku vody ve vodovodní síti bez využití vodojemů speciální čerpací stanice, tzv. automatické tlakové stanice (ATS). Naše společnost provozuje na distribuční vodovodní síti 40 čerpacích stanic o celkové kapacitě 81 tis. m³/den. [16]

3.2 VYKAZOVÁNÍ ZTRÁT VODY Z BVK

BVK vykazuje ztráty vody ve své výroční zprávě. [18] Výroční zpráva obsahuje data o podnikatelské činnosti BVK.

Ztráty vody jsou vyjádřeny dvěma způsoby. První je tis.m³. Druhý je procentuální poměr vody vyrobené a vody fakturované. Mezi těmito daty je i popsána vyvíjející se spotřeba vody.

Pro představu následuje výčet vody vyrobené a ztrát vody z BVK mezi roky 2013-2019. [18]

| | | 2013 |
|-----------------|--------------------|--------|
| voda vyrobená | tis.m ³ | 28 285 |
| - voda podzemní | tis.m ³ | 27 185 |
| - voda upravená | tis.m ³ | 1 100 |
| voda předaná | tis.m ³ | 1 892 |
| ztráty v síti | tis.m ³ | 2 197 |
| ztráty v síti | % | 8,32 |

Obr. 22 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2013 [18]

| | | 2014 |
|-----------------|---------------------|--------|
| voda vyrobená | tis. m ³ | 28 670 |
| - voda podzemní | tis. m ³ | 26 952 |
| - voda upravená | tis. m ³ | 1 718 |
| voda předaná | tis. m ³ | 2 011 |
| ztráty v síti | tis. m ³ | 2 561 |
| ztráty v síti | % | 9,61 |

Obr. 23 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2014 [18]

| | | 2015 |
|-----------------|---------------------|--------|
| voda vyrobená | tis. m ³ | 29 352 |
| - voda podzemní | tis. m ³ | 27 722 |
| - voda upravená | tis. m ³ | 1 630 |
| voda předaná | tis. m ³ | 2 167 |
| ztráty v síti | tis. m ³ | 2 876 |
| ztráty v síti | % | 10,58 |

Obr. 24 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2015 [18]

| | | 2016 |
|-----------------|---------------------|--------|
| voda vyrobená | tis. m ³ | 29 496 |
| – voda podzemní | tis. m ³ | 27 627 |
| – voda upravená | tis. m ³ | 1 869 |
| voda předaná | tis. m ³ | 2 175 |
| ztráty v síti | tis. m ³ | 2 687 |
| ztráty v síti | % | 9,83 |

Obr. 25 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2016 [18]

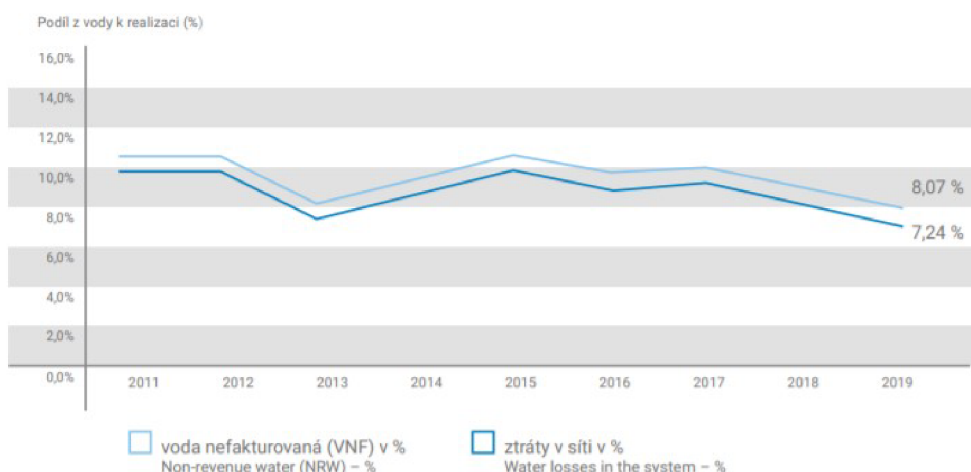
| | | 2017 |
|-----------------|---|--------|
| voda vyrobená | tis. m ³ / thous. m ³ | 29 868 |
| – voda podzemní | tis. m ³ / thous. m ³ | 27 048 |
| – voda upravená | tis. m ³ / thous. m ³ | 2 820 |
| voda předaná | tis. m ³ / thous. m ³ | 2 282 |
| ztráty v síti | tis. m ³ / thous. m ³ | 2 763 |
| ztráty v síti | % | 10,01 |

Obr. 26 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2017 [18]

| | | 2017 | 2018 |
|-----------------|---|--------|--------|
| voda vyrobená | tis. m ³ / thous. m ³ | 29 868 | 30 108 |
| – voda podzemní | tis. m ³ / thous. m ³ | 27 048 | 26 286 |
| – voda upravená | tis. m ³ / thous. m ³ | 2 820 | 3 821 |
| voda předaná | tis. m ³ / thous. m ³ | 2 282 | 2 471 |
| ztráty v síti | tis. m ³ / thous. m ³ | 2 763 | 2 271 |
| ztráty v síti | % | 10,01 | 9,18 |

Obr. 27 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2018-2019 [18]

Voda nefakturovaná a ztráty vody 2011–2019



Obr. 28 Graf ukazující vývoj vody nefakturované a ztrát v síti z BVK 2011-2019 [18]

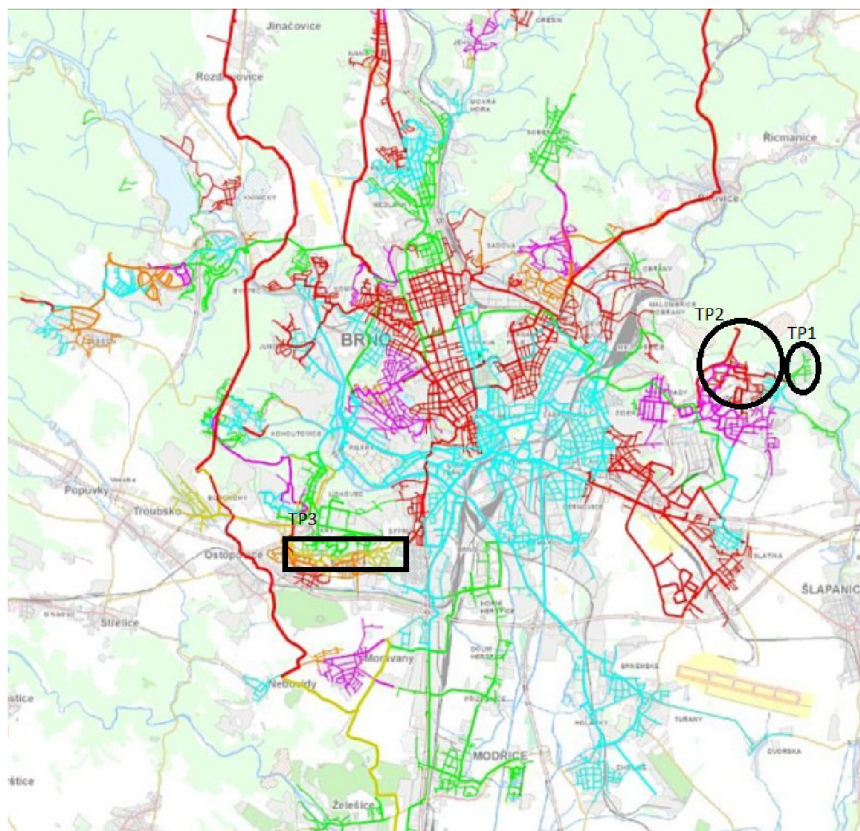
3.3 ANALÝZA ZTRÁT VODY PRO VYBRANÁ TLAKOVÁ PÁSMÁ

3.3.1 Výběr tlakových pásem

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce a panem Jiřím Kalivodou, vedoucím úseku diagnostiky vodovodní sítě z BVK, a.s., jsme vybrali 3 tlaková pásma k vyhodnocení ztrát vody.

Vybraná tlaková pásma:

- A. TP1: RŠ Kubelíkova MO III-3.10.2.
- B. TP2: VDJ Líšeň 405 MO II - 3.10.
- C. TP3: VDJ Kam.vrch 320 MO III - 1.2./1



Obr. 29 Vybraná tlaková pásma [16]

K vybraným tlakovým pásmům jsem dostal data o odběrech vody. Data byly pro rok 2019 a obsahovaly odečet z vodoměrů u vybraných tlakových pásem. Byly seřazené po časových úsecích. Každých 5 minut se odečetl průtok na vodoměru. Tyto odečty byly provedeny během celého roku.

Dále jsem dostal informace o délce vodovodní sítě skutečné bez přípojek a délce vodovodní sítě bez přípojek přepočtené na DN 150. Data ovšem byly kompletní pouze pro

takové pásmo Kubelíkova. Pro zbylé dvě tlaková pásma kompletní data nebyly. Průměrně asi jednou za 10 dní chybělo během den jedno měření. Vzhledem k četnosti této chyby si myslím, že je vhodné konstatovat že se jedná o systematickou chybu.

Dále pak během některých dní chybělo větší část měření. Vzhledem k absenci přesného času, kdy byla data odebrána, jsem musel odborným odhadem rozřadit průtoky do příslušných hodin. Pro ilustraci přidávám výstřížek dat pro tlaková pásma Kubelíkova a Líšeň.

| Datum Čas | Kanál 1(ba | Kanál 2(l/s | Celkov |
|-----------------|------------|-------------|--------|
| 01.01.2019 0:02 | 0.000 | 0.783 | 6613.3 |
| 01.01.2019 0:07 | 0.000 | 0.597 | 6613.5 |
| 01.01.2019 0:12 | 0.000 | 0.483 | 6613.7 |
| 01.01.2019 0:17 | 0.000 | 0.457 | 6613.8 |
| 01.01.2019 0:22 | 0.000 | 0.400 | 6613.9 |
| 01.01.2019 0:27 | 0.000 | 0.493 | 6614.1 |
| 01.01.2019 0:32 | 0.000 | 0.453 | 6614.2 |
| 01.01.2019 0:37 | 0.000 | 0.540 | 6614.4 |
| 01.01.2019 0:42 | 0.000 | 0.617 | 6614.5 |
| 01.01.2019 0:47 | 0.000 | 0.617 | 6614.7 |
| 01.01.2019 0:52 | 0.000 | 0.590 | 6614.9 |
| 01.01.2019 0:57 | 0.000 | 0.703 | 6615.1 |
| 01.01.2019 1:02 | 0.000 | 0.967 | 6615.4 |
| 01.01.2019 1:07 | 0.000 | 0.843 | 6615.7 |
| 01.01.2019 1:12 | 0.000 | 0.887 | 6615.9 |
| 01.01.2019 1:17 | 0.000 | 0.673 | 6616.1 |
| 01.01.2019 1:22 | 0.000 | 0.747 | 6616.4 |

Obr. 30 Data poskytnutá BVK. Kubelíkova [20]

| DATUMCAS | HODNOTA I/ |
|------------|------------|
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |
| 01.01.2019 | |

Obr. 31 Data poskytnutá BVK Líšeň [20]

Tyto chyby můžou mít vliv na výsledný výsledek analýzy a budou zohledněny při posuzování výsledků.

Pro výpočet by bylo ideální mít počet připojených obyvatel. Tyto data však nejsou vedena. Pro tento výpočet mi byly poskytnuta data o počtu přípojek. Proto se bude muset výpočet přizpůsobit těmto datům.

Vybraná tlaková pásma budou posouzena podle těchto ukazatelů:

- %VNF - Procento vody nefakturované
- ILI - Infrastructure Leakage Index
- ELL - Economical Leakage Level
- Minimální (noční) průtok Q_{\min}
- Součinitel hodinové nerovnoměrnosti K_h

Zpracování dat probíhalo následovně:

Nejprve se zprůměrovaly průtoky pětiminutové na průtoky hodinové. Pak roztřídily průtoky po hodinových úsecích pro jednotlivé měsíce a také pro pracovní dny a pro dny pracovního volna. Z těchto tabulek se již dal určit průměrný průtok, maximální průtok a minimální průtok.

Z takto seřazených a profiltrovaných dat již můžeme provádět výpočty pro posouzení tlakových pásem.

3.3.2 Posouzení na základě minimálních nočních průtoků.

Princip posouzení minimálních nočních průtoků je založen na následující teorii:

Nejmenší průtoky na vodovodní síti se nacházejí mezi třetí a čtvrtou hodinu ranní. Během této doby je skutečný odběr vody na vodovodní síti tak malý, že ho v dlouhodobém průměru můžeme považovat za nulový. Po přijetí tohoto předpokladu pak můžeme konstatovat, že v těchto hodinách všechen průtok na vodovodní síti je ztrátový průtok.

Na vodovodní síti jsou však ztráty, které nazýváme nezbytně nutné ztráty. Tyto ztráty nelze ze sítě odstranit žádnými rozumnými a ekonomickými postupy. Pro metodu minimálních nočních průtoků určujeme nezbytně nutné ztráty jako 0,8-1,2 % průměrného denního objemu odebrané vody Q_p .

Proto pokud se náš minimální noční průtok bude rovnat hodnotě 0,8-1,2 % Q_p , pak můžeme prohlásit, že na námi posuzovaném úseku vodovodní sítě nevznikají žádné výrazné ztráty vody. [20]

3.3.3 Posouzení pomocí programu FWAS

Nakonec pak bude proveden výpočet tlakových pásem v programu FWAS. Pro výpočet v programu FWAS je však potřeba řada dat, které jsem neměl k dispozici. Pro kvantifikování těchto dat, jsem musel použít odborný odhad. Proto jsou výsledky z tohoto programu pouze orientační a jedná se pouze o demonstraci programu. Závěr této práce není vyvozen z těchto dat.

Aby BVK a.s. nebo jakýkoli další provozovatel vodárenských sítí mohli začít v praxi tento software používat, musí začít shromažďovat následující data, pokud je již neshromažďují:

- Délka přípojek privátně vlastněná zákazníky
- Průměrný tlak v potrubí
- Dále pak jde o data nacházející se v záložce Interactive Data Grading. Jde o data, která určují kvalitu dat používaných k výpočtu ztrát vody v systému, např. jak často a jak důkladně probíhají kontroly sítě a jakým způsobem provozovatel systému zachází s chybnými daty

3.3.4 Důležité poznámky k výpočtům

Při zpracovávání dat jsem přišel na velkou nesrovnalost v tlakovém pásmu Kubelíkova. Po odečtení vody fakturované a vody nefakturované vyšlo záporné číslo. Samozřejmě není možné spotřebovat víc vody, než kolik je dodáno. Pro kontrolu jsem si spočítal z průměrných průtoků velikost vody nefakturované. Ale ta se lišila jen velice mírně od čísla, které bylo uvedeno jako celkový průtok, a odchylka se dala velice jednoduše vysvětlit chybou v zaokrouhlování.

To znamená, že chyba se bude nejspíš vyskytovat ve vodě fakturované. Toto zjištění má za následek i to, že se nedá věřit datům a výsledkům i z ostatních tlakových pásem. Pokud jsem dostal špatná data k jednomu tlakovému pásmu je možné, že i ostatní data mohou být zaměněná. Pokud by se ukázalo, že data zaměněná nejsou, musí se věnovat pozornost vodoměrům na síti. Je totiž velice pravděpodobné, že zaznamenávají chybná data. Nebo je pak důležité zaměřit se na způsob získávání dat o vodě fakturované.

Další možnost je taková, že tlaková pásma nejsou konečná a proudí přes ně voda do dalších tlakových pásem. Toto je pravda u tlakového pásma Líšeň. Voda fakturovaná je pak jen pro jedno pásmo, zatímco voda nefakturovaná je pro více pásem, jelikož protéká přes vodoměr, z kterého jsem čerpal svoje data, ale pokračuje dál do dalších tlakových pásem.

Proto jsem se rozhodl provést pro výslednou analýzu výpočty dva.

- První bude na základě vody nefakturované, které jsem dostal.
- Druhý bude na základě odhadnuté vody nefakturované. Pro tento výpočet zavedu předpoklad, že během minimálních nočních průtoků, během třetí a čtvrté hodiny ránní, by měli být průtoky v potrubí téměř nulové. Proto jako vodu nefakturovanou vezmu minimální noční průtok převedený na jednotku m^3/rok . Poté objem vody, který je menší než 0,6 % Q_p , bude kvalifikován jako ztráty nevyhnutelné a objem vody větší než 0,6 % Q_p , bude kvalifikován jako ztráty skutečné

Tato metoda není ideální pro analýzu vodovodní sítě. Umožní mi však zjistit, která data v sobě měla hrubou chybu. V případě tlakového pásma Kubelíkova, mi umožní udělat orientační analýzu tlakového pásma.

3.3.5 VDJ Kam.vrch 320 MO III - 1.2./1

Tlakové pásmo 1.2.1 napájecí uzly: PK Kamenný vrch I - 300 m³ - 275.00/271.00 rozsah zástavby: 234.00/228.00 Uvedené tlakové pásmo je nejnižším tlakovým pásmem systému Nový Lískovec - Bohunice - Starý Plán rozvoje vodovodů a kanalizací JMK, aktualizace k r. 2019 AQUATIS a.s. A.2 Popisy nadobecních systémů vodovodů a kanalizací A2_02_UC_Brno-mesto.docx strana 19 Lískovec. Přerušovací vodojem, umístěný při ul. Jihlavská je plněn přes plovákový uzávěr z odbočky zásobovacího řadu DN 400 z vodojemu Kamenný vrch 319,61. Z přerušovacího vodojemu Kamenný vrch 275,00 m n. m. je zásobovacím řadem DN 250 od ul. Kroupovy a Osové zásobuje oblast části sídliště i staré zástavby v prostoru ul. El. Přemyslovny a Hraničky. [22]

$$Q_{\min} = 2,29 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = 18,77 \text{ l/s}$$

Průměrné průtoky tlakovým pásmem:

| | 0-1 [l/s] | 1-2 [l/s] | 2-3 [l/s] | 3-4 [l/s] | 4-5 [l/s] | 5-6 [l/s] | 6-7 [l/s] | 7-8 [l/s] | 8-9 [l/s] | 9-10 [l/s] | 10-11 [l/s] | 11-12 [l/s] |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| Leden | 4,97 | 3,32 | 2,63 | 2,37 | 2,66 | 5,03 | 8,03 | 10,75 | 13,47 | 14,95 | 14,78 | 14,55 |
| Únor | 4,80 | 3,27 | 2,64 | 2,40 | 2,82 | 5,12 | 8,27 | 12,10 | 14,44 | 15,42 | 15,02 | 14,39 |
| Březen | 4,67 | 3,20 | 2,70 | 2,48 | 3,08 | 5,87 | 10,72 | 13,93 | 15,39 | 15,60 | 14,98 | 14,33 |
| Duben | 4,78 | 3,16 | 2,69 | 2,56 | 3,05 | 5,58 | 9,99 | 13,18 | 15,10 | 15,19 | 14,46 | 13,88 |
| Květen | 4,87 | 3,10 | 2,58 | 2,44 | 3,03 | 5,82 | 9,92 | 12,95 | 14,62 | 14,75 | 14,11 | 13,71 |
| Červen | 4,93 | 3,21 | 2,65 | 2,52 | 3,03 | 5,87 | 10,26 | 12,98 | 14,12 | 14,16 | 13,47 | 12,92 |
| Červenec | 4,67 | 3,08 | 2,47 | 2,39 | 2,72 | 5,02 | 8,37 | 11,25 | 12,98 | 13,61 | 13,02 | 12,42 |
| Srpen | 4,44 | 3,17 | 2,55 | 2,45 | 2,80 | 4,64 | 8,19 | 11,27 | 13,22 | 13,68 | 13,05 | 12,36 |
| Září | 4,49 | 3,15 | 2,60 | 2,55 | 2,89 | 5,67 | 9,60 | 12,36 | 14,17 | 14,66 | 14,07 | 13,94 |
| Říjen | 5,09 | 3,60 | 3,08 | 2,94 | 3,43 | 6,17 | 9,65 | 12,86 | 14,76 | 15,66 | 14,84 | 14,24 |
| Listopad | 5,18 | 3,59 | 2,96 | 2,71 | 3,19 | 5,78 | 9,19 | 12,68 | 14,41 | 15,41 | 15,00 | 14,47 |
| Prosinec | 6,42 | 4,64 | 4,02 | 3,79 | 4,20 | 6,22 | 9,34 | 12,37 | 16,05 | 17,31 | 16,52 | 15,84 |

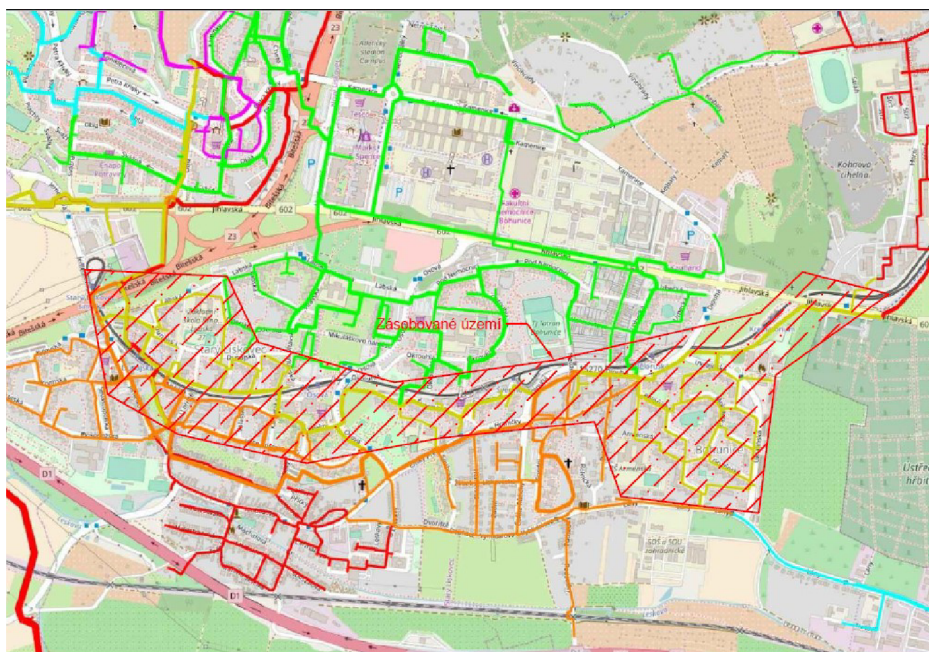
Obr. 32 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kamenný vrch 1/2

| 12-13 [l/s] | 13-14 [l/s] | 14-15 [l/s] | 15-16 [l/s] | 16-17 [l/s] | 17-18 [l/s] | 18-19 [l/s] | 19-20 [l/s] | 20-21 [l/s] | 21-22 [l/s] | 22-23 [l/s] | 23-24 [l/s] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 14,17 | 12,61 | 11,89 | 11,74 | 13,20 | 14,35 | 15,98 | 17,72 | 16,29 | 13,08 | 11,46 | 7,70 |
| 13,96 | 12,31 | 11,42 | 11,31 | 12,61 | 14,15 | 15,62 | 17,60 | 15,90 | 12,80 | 11,36 | 7,38 |
| 14,20 | 12,30 | 11,54 | 11,60 | 12,73 | 14,27 | 16,65 | 18,42 | 16,55 | 13,45 | 11,35 | 7,36 |
| 13,63 | 12,19 | 11,51 | 11,14 | 11,94 | 13,08 | 14,69 | 17,63 | 17,22 | 14,17 | 12,05 | 7,74 |
| 13,54 | 11,97 | 11,00 | 10,98 | 12,05 | 13,15 | 14,84 | 17,29 | 16,47 | 13,89 | 11,45 | 7,91 |
| 12,99 | 11,54 | 11,03 | 10,99 | 11,92 | 12,87 | 14,01 | 16,42 | 16,08 | 14,07 | 11,97 | 7,53 |
| 11,97 | 10,81 | 10,21 | 9,90 | 10,93 | 11,78 | 12,88 | 14,48 | 14,37 | 12,79 | 11,05 | 7,17 |
| 11,93 | 10,73 | 10,13 | 10,19 | 10,86 | 11,64 | 12,62 | 14,46 | 14,48 | 12,25 | 10,29 | 6,75 |
| 13,63 | 12,38 | 11,49 | 11,26 | 12,02 | 13,14 | 14,90 | 18,09 | 16,33 | 13,25 | 10,92 | 6,93 |
| 13,93 | 12,73 | 12,06 | 11,85 | 12,61 | 14,18 | 16,41 | 18,18 | 16,34 | 13,38 | 11,57 | 7,77 |
| 14,46 | 13,34 | 12,39 | 12,27 | 13,33 | 14,35 | 15,70 | 17,49 | 15,70 | 13,13 | 11,36 | 8,14 |
| 15,50 | 14,17 | 13,52 | 13,50 | 14,33 | 15,01 | 15,81 | 17,55 | 16,32 | 13,94 | 12,97 | 9,49 |

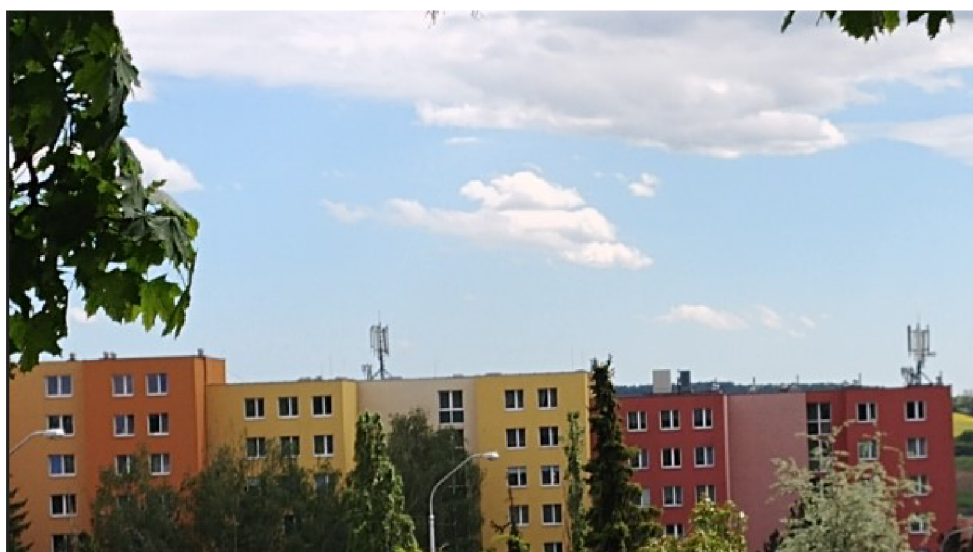
Obr. 33 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kamenný vrch 2/2

Mapa území

Popisované území je vyšrafováno červeně. Přerušovací vodojem, umístěný při ul. Jihlavská je plněn přes plovákový uzávěr z odbočky zásobovacího řadu DN 400 z vodojemu Kamenný vrch 319,61. Z přerušovacího vodojemu Kamenný vrch 275,00 m n. m. je zásobovacím řadem DN 250 od ul. Kroupovy a Osové zásobuje oblast části sídliště i staré zástavby v prostoru ul. El. Přemyslovny a Hraničky. Popisované území má městskou zástavbu složenou převážně z panelových domů.



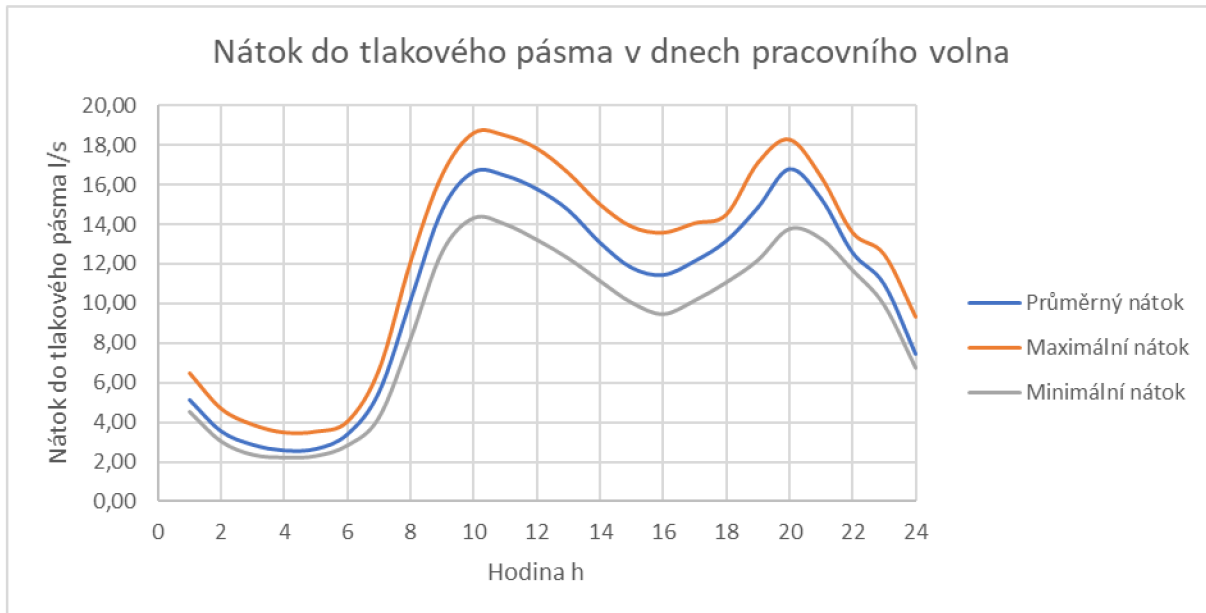
Obr. 34 Mapa z generelu BVK Kamenný Vrch [20]



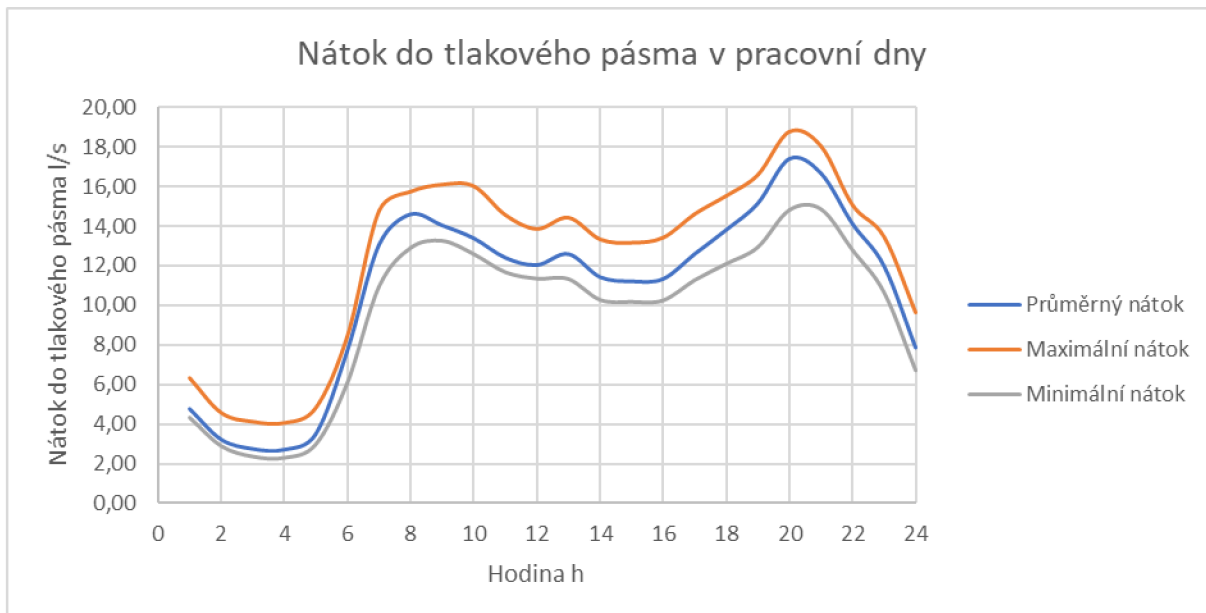
Obr. 35 TP Kamenný vrch, ukázka zástavby

Odběry z TP v roce 2019

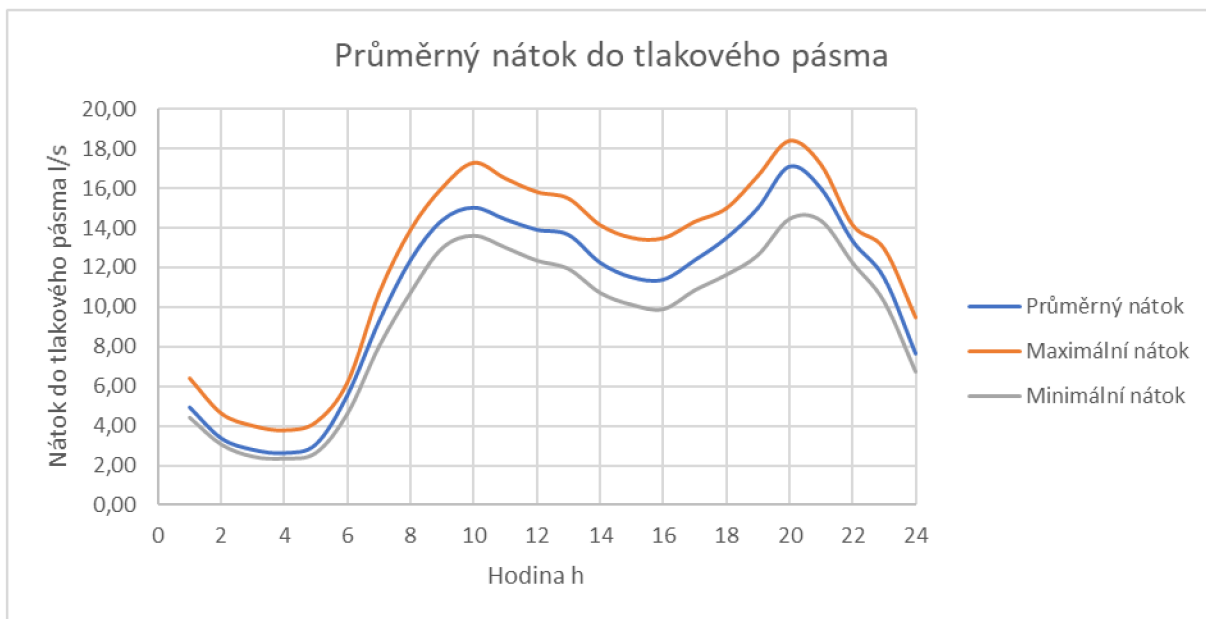
V následujících grafech je vidět nátok vody do tlakového pásma v průběhu dne.



Obr. 36 Průběh nátoků do TP Kamenný Vrch během dní pracovního volna



Obr. 37 Průběh nátoků do tlakového pásma Kamenný Vrch během pracovních dní



Obr. 38 Průběh nátoků do tlakového pásma Kamenný Vrch

| | | | |
|---|--------------------|-------|-----|
| Maximální hodinová spotřeba tlakového pásma | Q _h = | 18,68 | l/s |
| Průměrná denní spotřeba tlakového pásma | Q _p = | 10,72 | l/s |
| Součinitel hodinové nerovnoměrnosti | K _h = | 1,74 | - |
| Minimální spotřeba tlakového pásma | Q _{min} = | 2,27 | l/s |

| | | | |
|---|----------------------|---------|--------------------------|
| Počet přípojek | PP= | 160 | - |
| Délka vod. sítě skutečná bez přípojek [km] | L _{SKUT} = | 10,90 | km |
| Délka vod. sítě bez přípojek přep. na DN 150 [km] | L _{DN150} = | 16,20 | km |
| Počet přípojek na km řadu | PP _{km} = | 14,68 | -/km |
| Voda Vyrobená k realizaci | VVR= | 334 622 | m ³ |
| Voda fakturovaná | VF= | 322 261 | m ³ |
| Voda nefakturovaná | VNF= | 12 361 | m ³ |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za rok | SZ1PŘÍP= | 77 | m ³ /příp/rok |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za den | SZ1PŘÍP= | 212 | l/příp/den |
| Teoreticky nevyhnutelné ztráty | TNZ= | 34 | l/příp/den |
| Ekonomický index | EI= | 1,50 | - |

Výpočet ztrát

| | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----------|------------------------|---|
| 1) % Vody nefakturované | %VNF=VNF/VVR= | 3,69 | % | |
| 2) Jednotkový únik | JÚNVF=VNF/LPŘEP= | 763 | m ³ /km/rok | |
| 3) Infrastructure leakage index | ILI=SZ/TNZ= | 6,23 | - | |
| 4) Ekonomický index ztrát | EIZ=EI*IZ= | 2,33 | - | |
| | Index ztrát | IZ= ILI/4 | 1,56 | - |

| | | | |
|--|--------------------------|------|---|
| Nezbytně nutné ztráty = (1,2-0,8)*Q _p | Q _(0,8-1,2) = | 0,88 | % |
|--|--------------------------|------|---|

Zhodnocení stavu tlakového pásma

- 1) %VNF vychází 3,69 %, což je dobrý výsledek pro městskou zástavbu.
- 2) JÚNVF je 0,763 tis*m³/km/rok, dle hodnocení popisovaném v kap. 1.2.2 se jedná o dobrý výsledek, protože maximální přípustná hodnota ztrát pro tento druh zástavby je 3,2 tis/km/rok.
- 3) ILI vychází 6,23 a podle tabulky na obrázku 3 se dá určit, že stav sítě spadá do kategorie městská a proto je stav sítě v kategorii dobrá.
- 4) Podle EIZ se dá tlakové pásmo zařadit do 3. třídy $EI \geq 1,3$ – jedná se o vodovodní systém, kde ztráty vody způsobují značné ekonomické provozní ztráty a je žádoucí, aby provozovatel provedl podrobnou analýzu příčin ztrát vody a intenzivně se zaměřil na jejich snižování.
- 5) Podle posouzení podle minimálního nočního průtoku se toto tlakové pásmo nachází v rozmezí 0,8-1,2 % doporučeného průtoku.

Tlakové pásmo mělo velice dobrý výsledek v %VNF, ILI a JÚNVF, ale velice špatný výsledek, co se týče a EIZ. To je pravděpodobně způsobeno typem zástavby. Zástavba je téměř kompletně tvořena panelákovými domy. Každý dům má jen jednu přípojku. To znamená, že na každou přípojku je přidělen velký odběr vody. Pokud by každý odběratel měl svou vlastní přípojku číslo EIZ by šlo drasticky dolů.

Vzhledem k těmto okolnostem bych toto pásmo vyhodnotil jako středně dobré. Bylo by dobré se na pásmo zaměřit a zjistit, zda vysoké číslo EIZ skutečně odpovídá velkým ztrátám vody i přesto, že je JÚNVF velice malý. Ale není nouzově nutné se na tlakového pásmo zaměřit v nejbližší době, zvláště protože snaha o redukci ztrát v tomto tlakovém pásmu může být neekonomická.

Vyhodnocení ztrát v softwaru FWAS

AWWA Free Water Audit Software: Worksheet

FWAS v6.0
American Water Works Association
Copyright © 2020. All Rights Reserved.

Water Audit Report for: **Kamenný Vrch**
 Audit Year: **2019** | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | **2021**

To access definitions, click the **input name** | Click 'n' to add notes | Click 'g' to determine data validity grade | To edit water system info: [go to start page](#)

All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR

WATER SUPPLIED

Volume from Own Sources: 334,622 ML/Yr | | volume | ML/Yr

Water Imported: n/a 0,000 ML/Yr

Water Exported: n/a 0,000 ML/Yr

WATER SUPPLIED: 334,622 ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION

Billed Metered: 322,261 ML/Yr

Billed Unmetered: n/a 0,000 ML/Yr

Unbilled Metered: n/a ML/Yr

Unbilled Unmetered: 0,806 ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION: 323,067 ML/Yr

Default option selected for Unbilled Unmetered, with automatic data grading of 3 | choose entry option: 0,25% default

WATER LOSSES

Apparent Losses

Default option selected for Systematic Data Handling Errors, with automatic data grading of 3 | choose entry option: 0,25% default

Systematic Data Handling Errors: 0,806 ML/Yr

Customer Metering Inaccuracies: n/a 0,000 ML/Yr

Unauthorized Consumption: 0,806 ML/Yr

Apparent Losses: 1,611 ML/Yr

under-registration

Obr. 39 FWAS pro Kamenný vrch Pracovní list 1/2

AWWA Free Water Audit Software: Worksheet

FWAS v6.0
American Water Works Association
Copyright © 2020. All Rights Reserved.

Water Audit Report for: **Kamenný Vrch**
 Audit Year: **2019** | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | **2021**

To access definitions, click the **input name** | Click 'n' to add notes | Click 'g' to determine data validity grade | To edit water system info: [go to start page](#)

All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR

Real Losses

Real Losses: 9,944 ML/Yr

WATER LOSSES: 11,555 ML/Yr

NON-REVENUE WATER

NON-REVENUE WATER: 12,361 ML/Yr

SYSTEM DATA

Length of mains: 10,9 kilometers (including fire hydrant lead lengths)

Number of service connections: 160 (active and inactive)

Service connection density: 15 conn./km main

Are customer meters typically located at the curbstop/property: No

Average length of (private) customer service line: 55,0 metres (average distance between property line and meter)

Average Operating Pressure: 8,0 metres (head)

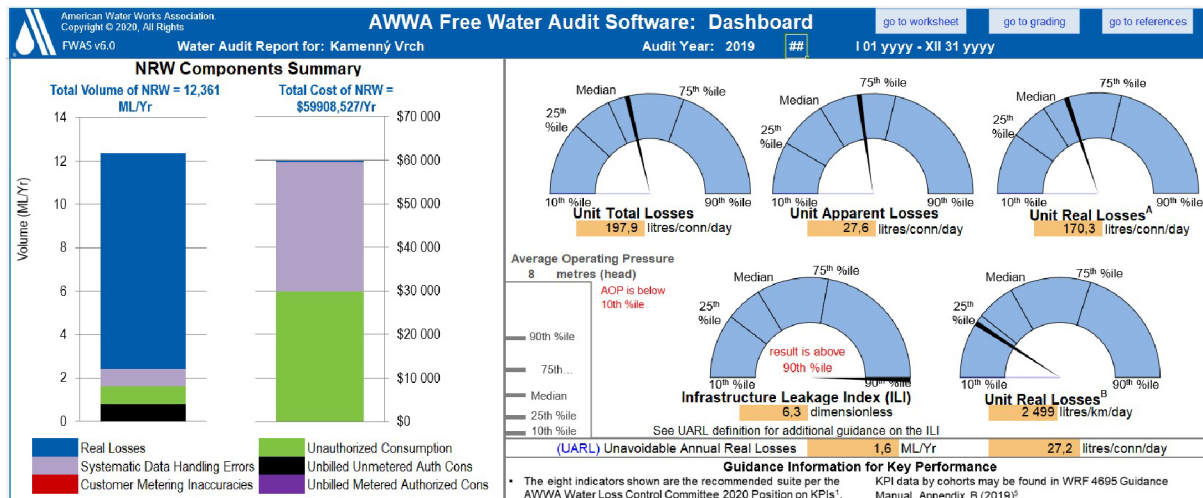
COST DATA

Customer Retail Unit Charge: \$37,00 /\$1000 litres

Variable Production Cost: \$27,00 /\$Megalitre

Total Annual Operating Cost \$/yr (optional input)

Obr. 40 FWAS pro Kamenný vrch Pracovní list 2/2



Obr. 41 FWAS pro Kamenný vrch Přístrojová deska

| AWWA Free Water Audit Software | | Water Audit Report for: Kamenný Vrch | | FWAS v6.0 | | |
|---|---------------------|---|------------------------|--|--|--------------------------|
| Water Balance | | Audit Year: 2019 | | American Water Works Association, Copyright © 2020, All Rights Reserved. | | |
| | | Data Validity Tier: Tier II (26-50) | | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | | |
| Volume from Own Sources (VOS) (corrected for known errors) | System Input Volume | Water Exported (WE) (corrected for known errors) | Billed Water Exported | | | Revenue Water (Exported) |
| | | 0,000 | Authorized Consumption | Billed Authorized Consumption | Billed Metered Consumption (BMAC) (water exported is removed) | Revenue Water |
| 334,622 | 334,622 | Water Supplied | 323,067 | 322,261 | 322,261 | 322,261 |
| | | | 334,622 | Unbilled Authorized Consumption | Unbilled Metered Consumption (UMAC) | Non Revenue Water (NRW) |
| | | 0,806 | | 0,000 | 0,000 | |
| Water Imported (WI) (corrected for known errors) | | Water Losses | Apparent Losses | Systematic Data Handling Errors (SDHE) | 12,361 | |
| | | | 11,555 | 1,611 | | 0,806 |
| 0,000 | | Real Losses | 9,944 | Customer Metering Inaccuracies (CMI) | | |
| | | | | 9,944 | 0,000 | |
| | | | | Unauthorized Consumption (UC) | | |
| | | | | 0,806 | | |
| | | | | Leakage on Transmission and/or Distribution Mains | | |
| | | | | Not broken down | | |
| | | | | Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks | | |
| | | | | Not broken down | | |
| | | | | Leakage on Service Connections | | |
| | | | | Not broken down | | |

Obr. 42 FWAS pro Kamenný vrch Bilanční list

3.3.6 VDJ Líšeň 405 MO II - 3.10.

Tlakové pásmo 3.10 napájecí uzly: VDJ Líšeň II - 5000 m³ - 405.00/400.00 rozsah zástavby: 352.00/306.00 Tlakové pásmo 3.10. zásobuje vodou severní a východní výše položené části sídliště Líšeň. Prostřednictvím tlakových redukcí je z něj dodávána voda do oblasti staré zástavby Brna - Líšně. Vodojem pro vyšší tlakové pásmo sídliště Líšeň je situovaný v prostoru severně od Líšně po levé straně silnice na Jedovnice. Do vodojemu je voda čerpána čerpací stanicí Líšeň z akumulární nádrže (obdobně jako do vodojemů pásma 3.9.) Výtlačný řad DN 400 je veden souběžně s výtlačným řadem DN 500 pásma 3.9. až ke křižovatce ul. Novolíšeňská x Jedovnická a odtud pokračuje podél ul. Jedovnické až do vodojemu. Souběžně je z vodojemu veden samostatný zásobovací řad rovněž DN 400 až ke křižovatce Jedovnická x Novolíšeňská, kde navazuje na rozvodnou síť sídliště Líšeň. [22]

$$Q_{\min} = 3,31 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = 31,37 \text{ l/s}$$

| | 0-1 [l/s] | 1-2 [l/s] | 2-3 [l/s] | 3-4 [l/s] | 4-5 [l/s] | 5-6 [l/s] | 6-7 [l/s] | 7-8 [l/s] | 8-9 [l/s] | 9-10 [l/s] | 10-11 [l/s] | 11-12 [l/s] |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| Leden | 8,26 | 5,89 | 4,82 | 4,51 | 5,27 | 8,50 | 13,39 | 17,83 | 21,89 | 24,14 | 23,58 | 23,06 |
| Únor | 7,70 | 5,09 | 4,23 | 4,09 | 5,34 | 8,34 | 13,80 | 19,46 | 23,09 | 24,89 | 23,66 | 22,72 |
| Březen | 7,27 | 5,00 | 4,19 | 4,11 | 5,39 | 9,60 | 17,34 | 21,89 | 24,25 | 24,49 | 23,18 | 21,94 |
| Duben | 7,35 | 4,93 | 4,39 | 4,56 | 5,30 | 9,56 | 16,65 | 21,43 | 24,27 | 24,35 | 23,17 | 22,15 |
| Květen | 8,22 | 5,48 | 4,45 | 4,31 | 5,56 | 10,07 | 16,47 | 20,87 | 23,55 | 24,13 | 22,79 | 21,87 |
| Červen | 8,62 | 5,91 | 5,09 | 4,87 | 5,97 | 11,84 | 17,75 | 21,40 | 22,85 | 23,09 | 22,69 | 21,97 |
| Červenec | 7,73 | 4,53 | 3,96 | 3,97 | 5,38 | 10,16 | 13,72 | 18,29 | 21,75 | 22,64 | 21,30 | 20,37 |
| Srpen | 7,23 | 3,94 | 3,33 | 3,43 | 4,84 | 8,64 | 12,49 | 17,59 | 21,46 | 21,84 | 20,92 | 19,86 |
| Září | 6,59 | 4,08 | 3,32 | 3,47 | 4,39 | 8,74 | 14,41 | 19,37 | 21,93 | 23,10 | 21,95 | 21,25 |
| Říjen | 6,70 | 4,40 | 3,51 | 3,36 | 4,33 | 8,22 | 14,18 | 19,66 | 22,72 | 23,29 | 21,97 | 20,49 |
| Listopad | 7,12 | 4,72 | 3,68 | 3,39 | 4,38 | 8,19 | 13,67 | 19,71 | 22,64 | 23,72 | 22,86 | 21,87 |
| Prosinec | 8,44 | 5,52 | 4,13 | 3,68 | 4,49 | 7,50 | 12,26 | 17,72 | 23,02 | 25,18 | 24,35 | 22,98 |

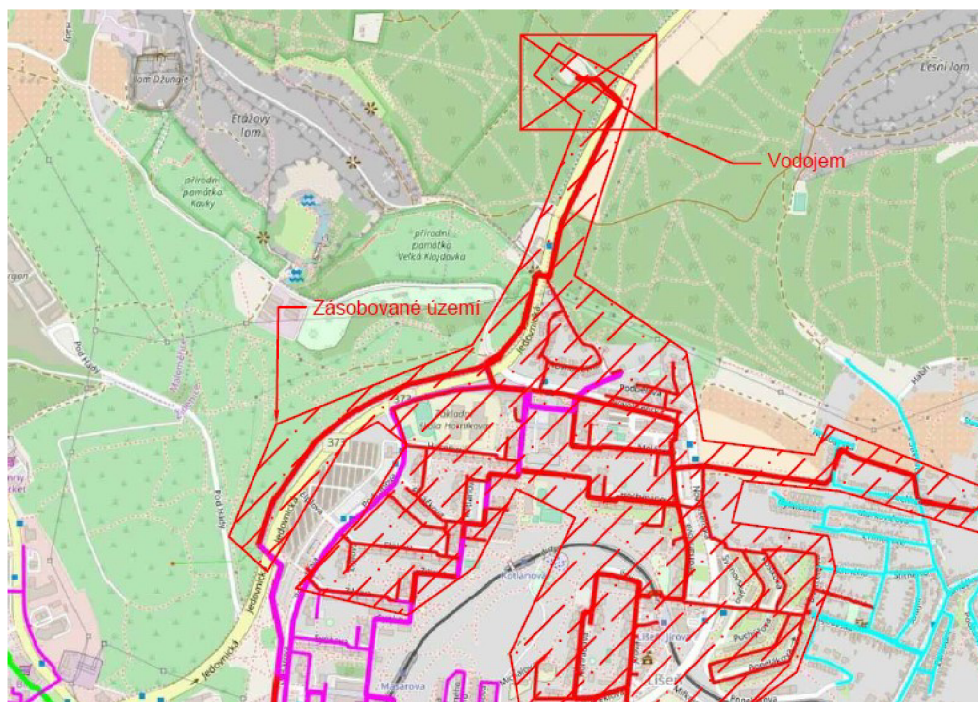
Obr. 43 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Líšeň 1/2

| 12-13 [l/s] | 13-14 [l/s] | 14-15 [l/s] | 15-16 [l/s] | 16-17 [l/s] | 17-18 [l/s] | 18-19 [l/s] | 19-20 [l/s] | 20-21 [l/s] | 21-22 [l/s] | 22-23 [l/s] | 23-24 [l/s] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 22,27 | 20,40 | 19,38 | 19,41 | 21,21 | 23,53 | 26,04 | 29,59 | 26,66 | 21,58 | 18,35 | 12,07 |
| 21,65 | 19,56 | 18,59 | 18,73 | 20,14 | 22,57 | 25,83 | 29,33 | 25,83 | 20,80 | 17,33 | 11,51 |
| 21,64 | 19,57 | 18,62 | 18,39 | 19,82 | 22,23 | 26,36 | 30,36 | 27,49 | 21,65 | 17,84 | 11,12 |
| 21,52 | 19,38 | 18,58 | 18,63 | 20,02 | 22,08 | 24,94 | 30,42 | 29,24 | 23,49 | 19,07 | 11,99 |
| 21,68 | 19,64 | 18,63 | 18,58 | 19,46 | 20,62 | 24,71 | 29,68 | 28,46 | 23,34 | 18,81 | 12,89 |
| 21,92 | 20,18 | 19,33 | 20,41 | 21,89 | 23,37 | 26,07 | 30,74 | 31,00 | 27,50 | 21,79 | 14,26 |
| 19,57 | 17,23 | 16,72 | 17,02 | 17,86 | 19,83 | 22,34 | 25,65 | 26,16 | 22,99 | 19,15 | 12,74 |
| 19,00 | 17,07 | 16,29 | 16,72 | 17,22 | 18,82 | 21,08 | 24,33 | 25,21 | 21,07 | 16,72 | 11,39 |
| 20,23 | 17,96 | 17,07 | 17,38 | 18,32 | 20,45 | 24,01 | 30,25 | 27,76 | 21,25 | 17,16 | 10,68 |
| 19,96 | 18,08 | 17,15 | 17,44 | 18,78 | 21,12 | 24,84 | 28,94 | 26,05 | 20,30 | 17,41 | 11,19 |
| 21,46 | 19,17 | 18,08 | 18,49 | 19,95 | 22,25 | 24,68 | 28,60 | 25,62 | 20,36 | 17,47 | 11,52 |
| 22,34 | 20,49 | 19,47 | 18,98 | 20,58 | 21,55 | 22,98 | 26,93 | 25,16 | 20,30 | 18,48 | 12,72 |

Obr. 44 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Líšeň 2/2

Mapa území

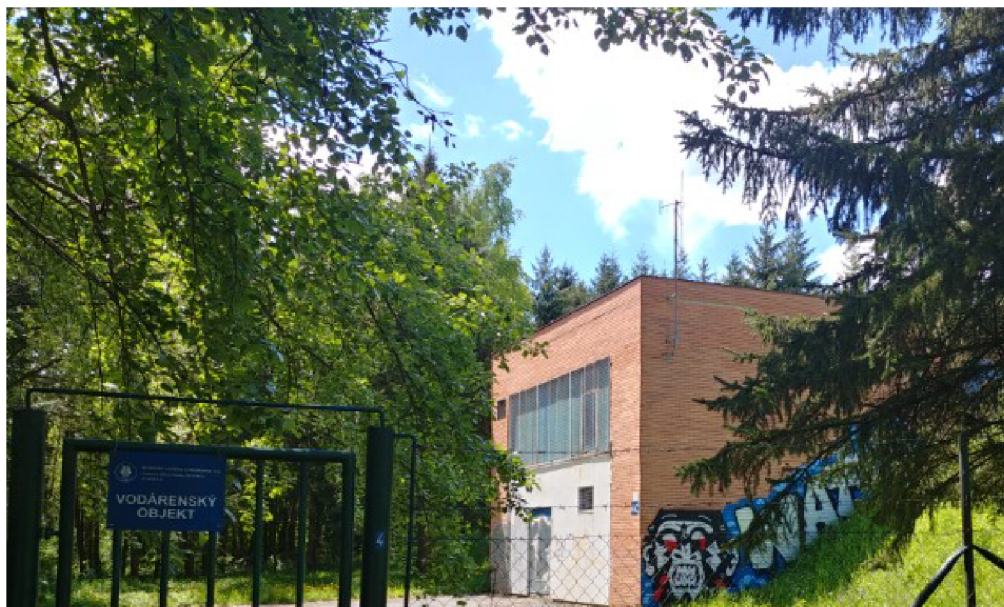
Popisované území je vyšrafováno červeně. Na mapce je také vidět vodojem, který zásobuje tlakové pásmo. Ve východní části je vidět přechod do tlakového pásma Kubelíkova, které je zásobováno vodou z tohoto tlakového pásma přes tlakový ventil. Zástavba v tlakovém pásmu se skládá z městské zástavby složené z panelových domů a občasně zástavby rodinných domů.



Obr. 45 Mapa z generelu BVK Lišeň [20]



Obr. 46 TP Lišeň, ukázka zástavby



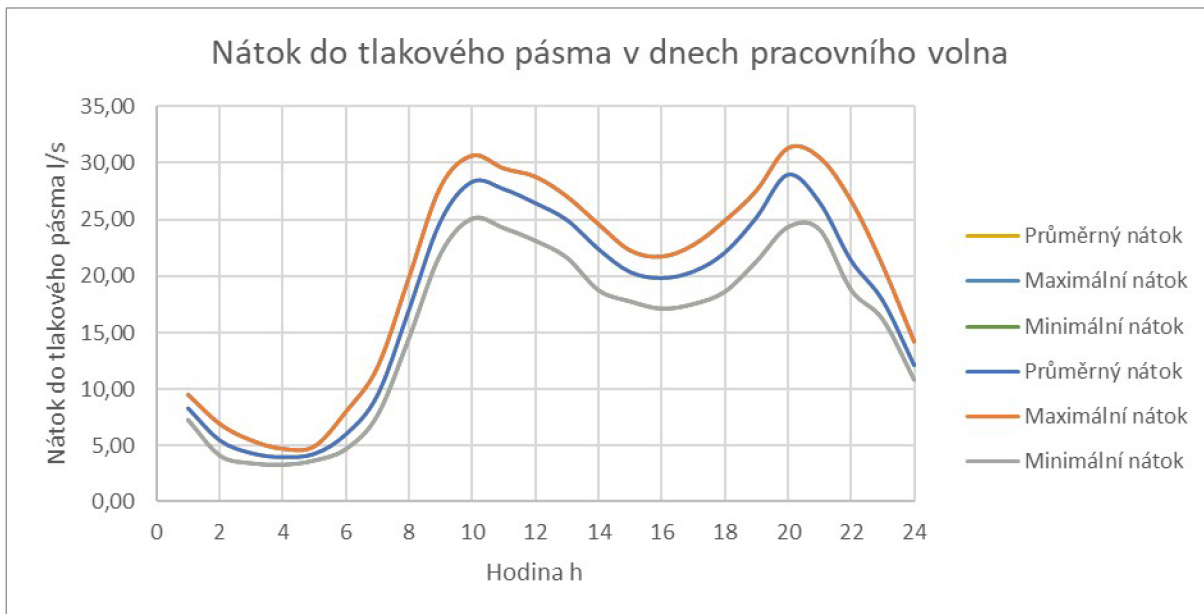
Obr. 47 TP Líšeň Vodojem 1/2



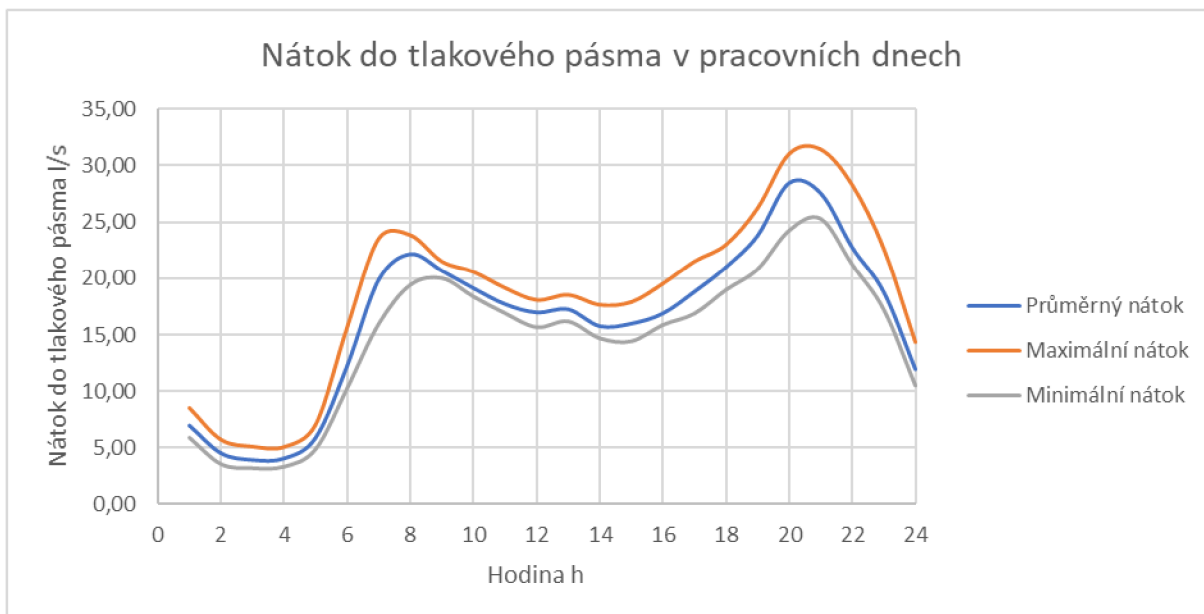
Obr. 48 TP Líšeň Vodojem 2/2

Odběry z TP v roce 2019

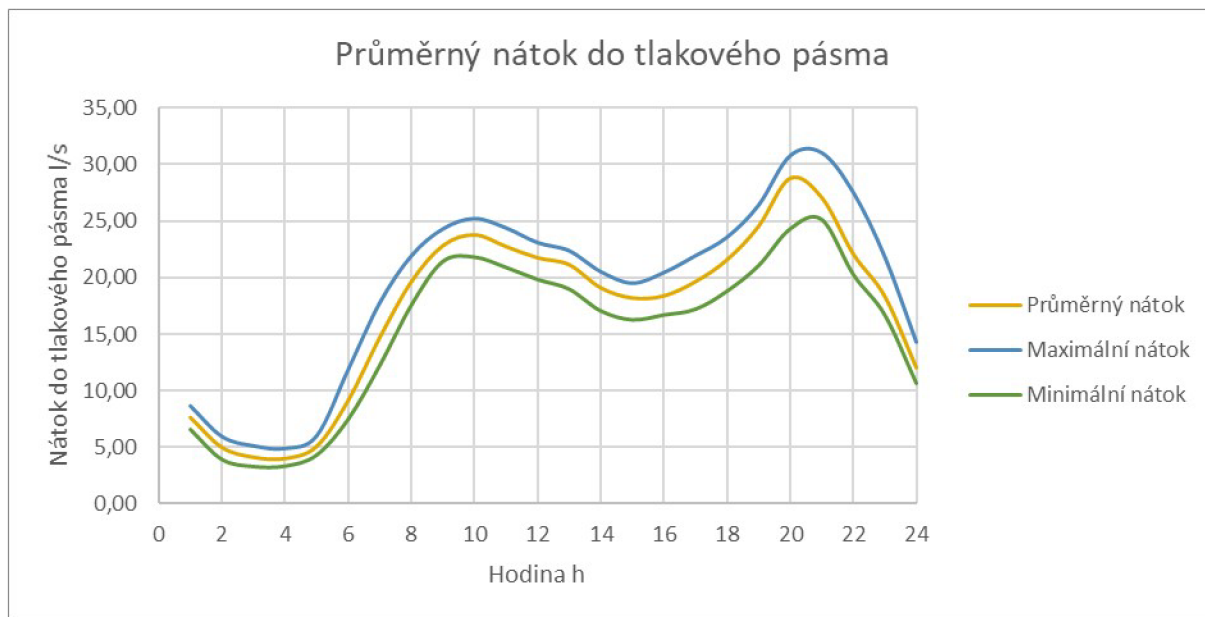
V následujících grafech je vidět nátok vody do tlakového pásma v průběhu dne.



Obr. 49 Průběh odběrů z TP Líšeň během dní pracovního volna



Obr. 50 Průběh odběrů z tlakového pásma Líšeň během pracovních dní



Obr. 51 Průběh odběrů z tlakového pásma Líšeň

Výpočet ztrát

Výpočet pro data z BVK

| | | | |
|--|-------|-------|-----|
| Průměrná hodinová spotřeba tlakového pásma | Qh= | 31,41 | l/s |
| Průměrná denní spotřeba tlakového pásma | Qp= | 17,10 | l/s |
| Součinitel hodinové nerovnoměrnosti | Kh= | 1,84 | - |
| Minimální spotřeba tlakového pásma | Qmin= | 3,25 | l/s |

| | | | |
|---|----------------------|---------|--------------------------|
| Počet přípojek | PP= | 348 | - |
| Délka vod. sítě skutečná bez přípojek [km] | L _{SKUT} = | 13,90 | km |
| Délka vod. sítě bez přípojek přep. na DN 150 [km] | L _{DN150} = | 17,50 | km |
| Počet přípojek na km řadu | PP _{km} = | 25,04 | -/km |
| Voda Vyrobená k realizaci | VVR= | 527 100 | m ³ |
| Voda fakturovaná | VF= | 371 153 | m ³ |
| Voda nefakturovaná | VNF= | 155 947 | m ³ |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za rok | SZ1PŘÍP= | 448 | m ³ /příp/rok |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za den | SZ1PŘÍP= | 1 228 | l/příp/den |
| Teoreticky nevyhnutelné ztráty | TNZ= | 40 | l/příp/den |
| Ekonomický index | EI= | 1,50 | - |

Výpočet ztrát

| | | | |
|---------------------------------|--------------------|-------|------------------------|
| 1) % Vody nefakturované | $\%VNF=VNF/VVR=$ | 29,59 | % |
| 2) Jednotkový únik | $JÚVNF=VNF/LPŘEP=$ | 8911 | m ³ /km/rok |
| 3) Infrastructure laekage index | $ILI=SZ/TNZ=$ | 30,69 | - |
| 4) Ekonomický index ztrát | $EIZ=EI*IZ=$ | 11,51 | - |
| Index ztrát | $IZ= ILI/4$ | 7,67 | - |

| | | | |
|---|------------------|------|---|
| Nezbytně nutné ztráty = $(1,2-0,8)*Q_p$ | $Q_{(0,8-1,2)}=$ | 0,79 | % |
|---|------------------|------|---|

Výpočet pro data určená metodou minimálních nočních průtoků

| | | | |
|--|------------|-------|-----|
| Průměrná hodinová spotřeba tlakového pásma | $Q_h=$ | 31,41 | l/s |
| Průměrná denní spotřeba tlakového pásma | $Q_p=$ | 17,10 | l/s |
| Součinitel hodinové nerovnoměrnosti | $K_h=$ | 1,84 | - |
| Minimální spotřeba tlakového pásma | $Q_{min}=$ | 3,25 | l/s |

| | | | |
|---|--------------|---------|--------------------------|
| Počet přípojek | $PP=$ | 348 | - |
| Délka vod. sítě skutečná bez přípojek [km] | $L_{SKUT}=$ | 13,90 | km |
| Délka vod. sítě bez přípojek přep. na DN 150 [km] | $L_{DN150}=$ | 17,50 | km |
| Počet přípojek na km řadu | $PP_{km}=$ | 25,04 | -/km |
| Voda Vyrobená k realizaci | $VVR=$ | 527 100 | m ³ |
| Voda fakturovaná | $VF=$ | 424 647 | m ³ |
| Voda nefakturovaná | $VNF=$ | 102 452 | m ³ |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za rok | $SZ1PŘÍP=$ | 294 | m ³ /příp/rok |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za den | $SZ1PŘÍP=$ | 807 | l/příp/den |
| Teoreticky nevyhnutelné ztráty | $TNZ=$ | 40 | l/příp/den |
| Ekonomický index | $EI=$ | 1,50 | - |

Výpočet ztrát

| | | | |
|---------------------------------|--------------------|-------|------------------------|
| 1) % Vody nefakturované | $\%VNF=VNF/VVR=$ | 19,44 | % |
| 2) Jednotkový únik | $JÚVNF=VNF/LPŘEP=$ | 5854 | m ³ /km/rok |
| 3) Infrastructure laekage index | $ILI=SZ/TNZ=$ | 20,16 | - |
| 4) Ekonomický index ztrát | $EIZ=EI*IZ=$ | 7,56 | - |
| Index ztrát | $IZ= ILI/4$ | 5,04 | - |

| | | | |
|---|------------------|------|---|
| Nezbytně nutné ztráty = $(1,2-0,8)*Q_p$ | $Q_{(0,8-1,2)}=$ | 0,79 | % |
|---|------------------|------|---|

Z předchozích výpočtů lze vidět, že výpočet pro metodu minimálních nočních průtoků ukazuje lepší kvalitu vodovodní sítě než výpočet s daty poskytnutými z BVK. Předpokládám že důvod, proč se toto stalo je takový. Tlakové pásmo přes sebe zásobuje několik ostatních pásem přes redukční ventily. Proto voda nefakturovaná naměřená na vodoměru je rovna vodě nefakturovaná pro všechny takto zásobovaná pásma. Abych mohl udělat kompletní analýzu pro toto tlakové pásmo, potřeboval bych i data o navazujících tlakových pásmech. Tyto data bych pak odečetl od dat pro toto tlakové pásmo a dostal bych skutečnou hodnotu vody nefakturované jen pro vyšetřované tlakové pásmo.

Vzhledem k tomuto zjištění se následující posouzení provede na základě výpočtů z minimálních nočních průtoků. Je potřeba brát na vědomí, že následné hodnoty jsou pouze orientační, a proto ukazují pouze na orientační stav tohoto tlakového pásma.

Zhodnocení stavu tlakového pásma

- 1) %VNF vychází 19,44 %, což je dobrý výsledek pro městskou zástavbu.
- 2) JÚVNF je 5,854 tis*m³/km/rok, dle hodnocení popisovaném v kap. 1.2.2 se jedná o špatný výsledek, protože maximální přípustná hodnota ztrát pro tento druh zástavby je 3,2 tis/km/rok.
- 3) ILI vychází 20,16 a podle tabulky na obrázku 3 se dá určit, že stav sítě spadá do kategorie příměstská a proto je stav sítě v kategorii špatná.
- 4) Podle EIZ se dá tlakové pásmo zařadit do 3. třídy $EI \geq 1,3$ – jedná se o vodovodní systém, kde ztráty vody způsobují značné ekonomické provozní ztráty a je žádoucí, aby provozovatel provedl podrobnou analýzu příčin ztrát vody a intenzivně se zaměřil na jejich snižování.
- 5) Podle posouzení podle minimálního nočního průtoků se toto tlakové pásmo nachází v rozmezí 0,8-1,2 % doporučeného průtoků.

Podle vypočtených hodnot je tlakové pásmo ve velice špatném stavu stavu pro ukazatele ILI. Ukazatel %VNF vyhověl, ale to jen velice těsně a ukazatel JÚVNF nevyhověl. Proto by se mělo co nejdříve zajistit zjištění příčin ztrát v tlakovém pásmu a jejich rektifikace.

Podle metody minimálních nočních průtoků pak hodnota skutečných ztrát vyšla 99290 m³/rok

Vyhodnocení ztrát v softwaru FWAS

FWAS v6.0
American Water Works Association.
Copyright © 2020, All Rights Reserved.

AWWA Free Water Audit Software: Worksheet

Water Audit Report for: **Líšeň**
 Audit Year: **2019** | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | **2021**

To access definitions, click the **input name** | Click 'n' to add notes | Click 'g' to determine data validity grade | To edit water system info: [go to start page](#)

All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR

WATER SUPPLIED

choose entry option: ML/Yr

| | | | | | | |
|-----|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------|------------------------------------|--------------|
| VOS | Volume from Own Sources: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="527,1"/> | ML/Yr | <input type="text" value="n g 9"/> | |
| WI | Water Imported: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | VOSEA |
| WE | Water Exported: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | WIEA WEEA |

WATER SUPPLIED: ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION

choose entry option: default

| | | | | | |
|-------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|--|
| BIMAC | Billed Metered: | <input type="text" value="n g 1"/> | <input type="text" value="424,647"/> | ML/Yr | |
| BUAC | Billed Unmetered: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | |
| UMAC | Unbilled Metered: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | |
| UAC | Unbilled Unmetered: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="1,062"/> | ML/Yr | |

Default option selected for Unbilled Unmetered, with automatic data grading of 3

AUTHORIZED CONSUMPTION: ML/Yr

WATER LOSSES ML/Yr

Apparent Losses

Default option selected for Systematic Data Handling Errors, with automatic data grading of 3

choose entry option: default

| | | | | | |
|------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------|--|
| SDHE | Systematic Data Handling Errors: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="1,062"/> | ML/Yr | <input type="text" value="0,25%"/> default |
| CMI | Customer Metering Inaccuracies: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | <input type="text" value="percent"/> percent |
| UC | Unauthorized Consumption: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="1,062"/> | ML/Yr | <input type="text" value="0,25%"/> default |

Default option selected for Unauthorized Consumption, with automatic data grading of 3

Apparent Losses: ML/Yr

Obr. 52 FWAS pro Líšeň Pracovní list 1/2

Water Audit Report for: **Líšeň**
 Audit Year: **2019** | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | **2021**

To access definitions, click the **input name** | Click 'n' to add notes | Click 'g' to determine data validity grade | To edit water system info: [go to start page](#)

All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR

Real Losses

Real Losses: ML/Yr

WATER LOSSES: ML/Yr

NON-REVENUE WATER

NON-REVENUE WATER: ML/Yr

SYSTEM DATA

| | | | | | |
|----|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Lm | Length of mains: | <input type="text" value="n g 7"/> | <input type="text" value="13,9"/> | kilometers | (including fire hydrant lead lengths) |
| Nc | Number of service connections: | <input type="text" value="n g 5"/> | <input type="text" value="348"/> | | (active and inactive) |
| | Service connection density: | <input type="text" value="n g 2"/> | <input type="text" value="25"/> | conn./km main | |

Are customer meters typically located at the curbside/property?

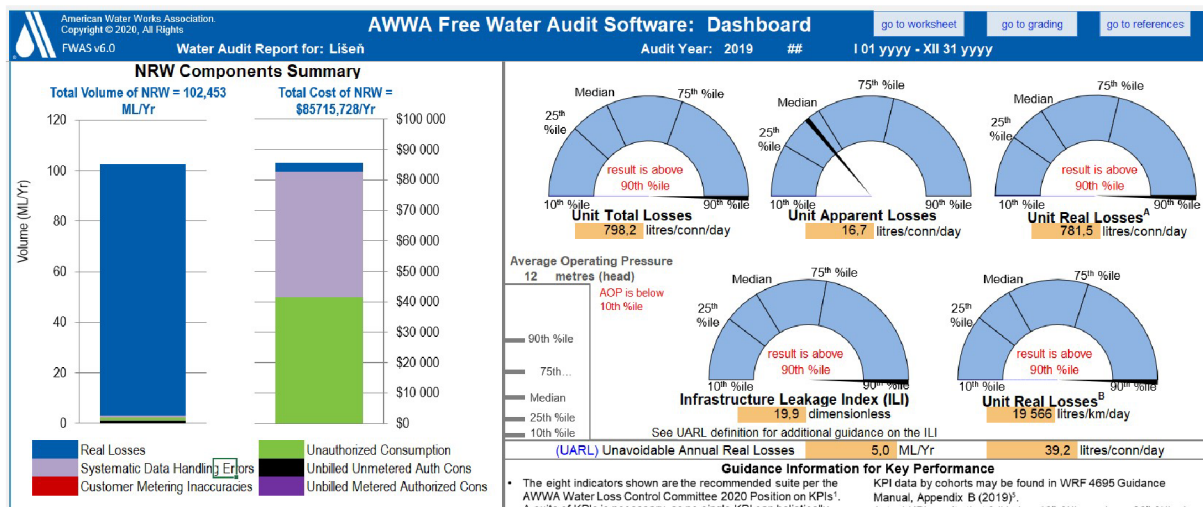
| | | | | | |
|----|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|--|
| Lp | Average length of (private) customer service line: | <input type="text" value="n g 10"/> | <input type="text" value="70,0"/> | metres | (average distance between property line and meter) |
|----|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|--|

AOP Average Operating Pressure: metres (head)

COST DATA

| | | | | | |
|------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|
| CRUC | Customer Retail Unit Charge: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="\$39,00"/> | \$/1000 litres | Total Annual Operating Cost: <input type="text" value=""/> |
| VPC | Variable Production Cost: | <input type="text" value="n g 10"/> | <input type="text" value="\$29,00"/> | \$/Megalitre | |

Obr. 53 FWAS pro Líšeň Pracovní list 2/2



Obr. 54 FWAS pro Lišeň Přístrojová deska

| AWWA Free Water Audit Software | | Water Audit Report for: Lišeň | | FWAS v6.0 | | |
|---|-----------------|-------------------------------------|---|---|--|--|
| Water Balance | | Audit Year: 2019 | | American Water Works Association | | |
| | | Data Validity Tier: Tier II (26-50) | | Copyright © 2020, All Rights Reserved. | | |
| | | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | | | | |
| Volume from Own Sources (VOS) (corrected for known errors) | 527,100 | System Input Volume 527,100 | Water Exported (WE) (corrected for known errors) | Billed Water Exported | | Revenue Water (Exported) |
| | | | 0,000 | | | 0,000 |
| Water Imported (WI) (corrected for known errors) | 0,000 | Water Supplied | 527,100 | Authorized Consumption | Billed Authorized Consumption | Revenue Water |
| | | | | | 424,647 | 424,647 |
| | | | | 425,709 | Billed Metered Consumption (BMAC) (water exported is removed) | 424,647 |
| | | | | | Billed Unmetered Consumption (BUAC) | 0,000 |
| Water Losses | 101,391 | Water Losses | 527,100 | Unbilled Authorized Consumption | Unbilled Metered Consumption (UMAC) | Non-Revenue Water (NRW) |
| | | | | | 1,062 | 0,000 |
| | | | | Apparent Losses | Unbilled Unmetered Consumption (UUAC) | 1,062 |
| | | | | | 2,123 | Systematic Data Handling Errors (SDHE) |
| Real Losses | 99,268 | Real Losses | 527,100 | Customer Metering Inaccuracies (CMI) | Customer Metering Inaccuracies (CMI) | 1,062 |
| | | | | | 0,000 | 0,000 |
| | | | | Leakage on Transmission and/or Distribution Mains | Unauthorized Consumption (UC) | 1,062 |
| | | | | | Not broken down | Leakage on Service Connections |
| Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks | Not broken down | Leakage on Service Connections | Not broken down | | | |
| | Not broken down | Leakage on Service Connections | Not broken down | | | |

Obr. 55 FWAS pro Lišeň Bilanční list

3.3.7 RŠ Kubelíkova MO III-3.10.2.

Tlakové pásmo 3.10.2 napájecí uzly: VDJ Líšeň II - 5000 m³ - 405.00/400.00 redukce tlaku Líšeň ul. Kubelíkova - 1,00 / 0,75 Mpa rozsah zástavby: neurčen Výškový rozdíl terénu způsoboval problémy v zásobování části Líšně pod hřbitovem (ul. Obecká, Staré Zámky, horní část ul. Šimáčkovy aj.) Proto uvedená část Líšně byla napojena řadem DN 250 od ul. Kubelíkovy na tl. pásmo vodojemu Líšeň II přes redukční ventil. na ul. Kubelíkově [22]

$$Q_{\min} = 0,18 \text{ l/s}$$

$$Q_{\max} = 2,23 \text{ l/s}$$

| | 0-1 [l/s] | 1-2 [l/s] | 2-3 [l/s] | 3-4 [l/s] | 4-5 [l/s] | 5-6 [l/s] | 6-7 [l/s] | 7-8 [l/s] | 8-9[l/s] | 9-10 [l/s] | 10-11 [l/s] | 11-12 [l/s] |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|-------------|-------------|
| Leden | 0,42 | 0,32 | 0,31 | 0,25 | 0,27 | 0,38 | 0,65 | 0,89 | 1,10 | 1,21 | 1,17 | 1,13 |
| Únor | 0,38 | 0,27 | 0,26 | 0,22 | 0,26 | 0,37 | 0,66 | 0,98 | 1,14 | 1,23 | 1,18 | 1,08 |
| Březen | 0,39 | 0,27 | 0,25 | 0,21 | 0,27 | 0,43 | 0,84 | 1,13 | 1,21 | 1,24 | 1,15 | 1,13 |
| Duben | 0,30 | 0,27 | 0,29 | 0,26 | 0,46 | 0,85 | 1,13 | 1,24 | 1,27 | 1,28 | 1,15 | 1,18 |
| Květen | 0,27 | 0,23 | 0,26 | 0,26 | 0,61 | 1,07 | 1,08 | 1,23 | 1,27 | 1,23 | 1,13 | 1,10 |
| Červen | 0,38 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,74 | 1,21 | 1,25 | 1,41 | 1,49 | 1,50 | 1,52 | 1,54 |
| Červenec | 0,31 | 0,26 | 0,30 | 0,29 | 0,68 | 1,05 | 1,08 | 1,32 | 1,33 | 1,27 | 1,20 | 1,20 |
| Srpen | 0,28 | 0,24 | 0,23 | 0,25 | 0,61 | 0,93 | 0,97 | 1,20 | 1,30 | 1,24 | 1,23 | 1,19 |
| Září | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,21 | 0,50 | 0,80 | 1,01 | 1,12 | 1,16 | 1,16 | 1,18 | 1,10 |
| Říjen | 0,27 | 0,23 | 0,21 | 0,24 | 0,41 | 0,69 | 0,92 | 1,14 | 1,25 | 1,20 | 1,17 | 1,08 |
| Listopad | 0,42 | 0,28 | 0,21 | 0,20 | 0,24 | 0,32 | 0,59 | 0,98 | 1,14 | 1,18 | 1,15 | 1,09 |
| Prosinec | 0,51 | 0,33 | 0,24 | 0,22 | 0,24 | 0,32 | 0,53 | 0,83 | 1,14 | 1,29 | 1,27 | 1,22 |

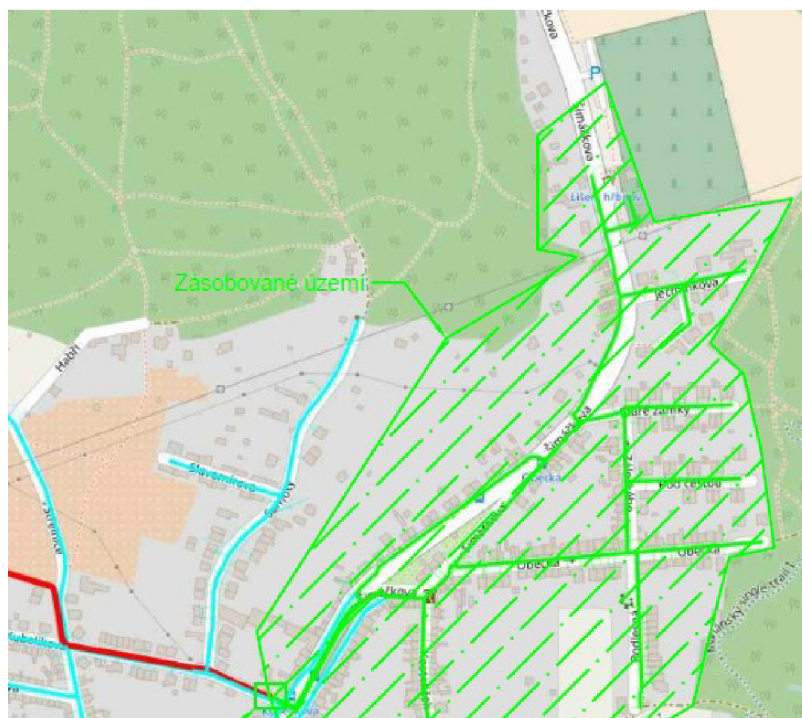
Obr. 56 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kubelíkova 1/2

| 12-13 [l/s] | 13-14 [l/s] | 14-15 [l/s] | 15-16 [l/s] | 16-17[l/s] | 17-18[l/s] | 18-19[l/s] | 19-20[l/s] | 20-21[l/s] | 21-22[l/s] | 22-23[l/s] | 23-24[l/s] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1,13 | 1,01 | 0,99 | 0,98 | 1,01 | 1,08 | 1,19 | 1,40 | 1,33 | 1,00 | 0,93 | 0,64 |
| 1,05 | 0,96 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 1,05 | 1,13 | 1,34 | 1,25 | 0,98 | 0,85 | 0,60 |
| 1,08 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,94 | 1,08 | 1,25 | 1,44 | 1,29 | 1,05 | 0,89 | 0,58 |
| 1,02 | 0,98 | 1,02 | 1,14 | 1,21 | 1,30 | 1,64 | 1,47 | 1,18 | 1,06 | 0,75 | 0,49 |
| 1,02 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 1,08 | 1,26 | 1,57 | 1,45 | 1,18 | 1,00 | 0,93 | 0,59 |
| 1,37 | 1,34 | 1,56 | 1,67 | 1,74 | 1,78 | 1,93 | 2,10 | 1,58 | 1,30 | 1,07 | 0,64 |
| 1,07 | 1,01 | 1,09 | 1,07 | 1,17 | 1,33 | 1,50 | 1,70 | 1,32 | 1,22 | 0,95 | 0,64 |
| 1,09 | 1,01 | 0,98 | 1,05 | 1,08 | 1,19 | 1,31 | 1,42 | 1,11 | 1,15 | 0,90 | 0,70 |
| 0,95 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,94 | 1,06 | 1,29 | 1,38 | 0,99 | 1,04 | 0,78 | 0,54 |
| 1,00 | 0,95 | 0,91 | 0,97 | 1,03 | 1,15 | 1,29 | 1,28 | 1,05 | 0,92 | 0,75 | 0,49 |
| 1,11 | 0,95 | 0,92 | 0,87 | 0,95 | 0,99 | 1,07 | 1,21 | 1,28 | 0,93 | 0,93 | 0,67 |
| 1,18 | 1,07 | 0,98 | 0,99 | 1,02 | 1,06 | 1,09 | 1,18 | 1,22 | 0,97 | 0,98 | 0,79 |

Obr. 57 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kubelíkova 2/2

Mapa území

Popisované území je vyšrafováno zeleně. Na mapě je také vidět tlakový ventil, přes které je území zásobováno z tlakového pásma Líšeň. Zástavba tlakového pásma se skládá z převážně rodinných domů jedno a dvou podlažních.



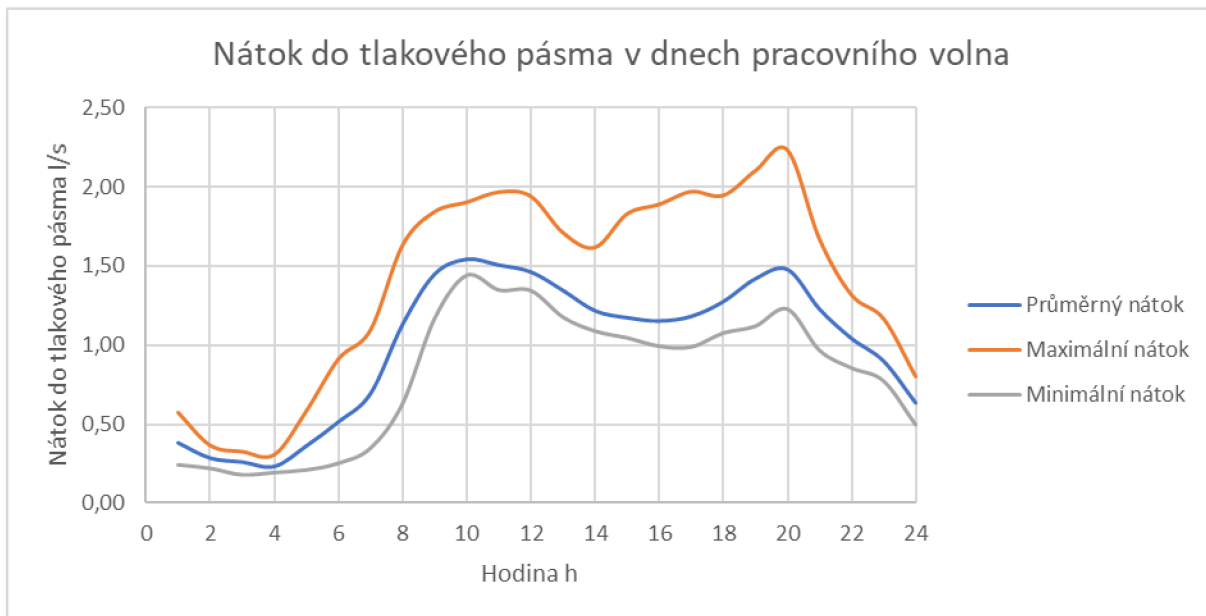
Obr. 58 Mapa z generelu BVK Kubelíkova [20]



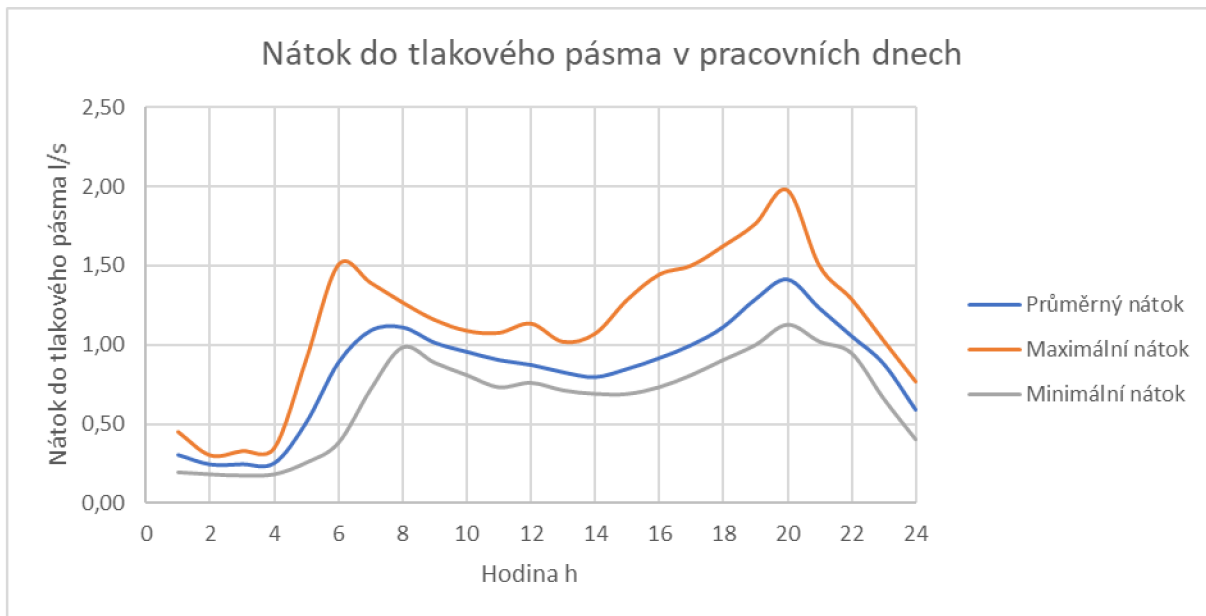
Obr. 59 Ukázka zástavby TP Kubelíkova

Odběry z TP v roce 2019

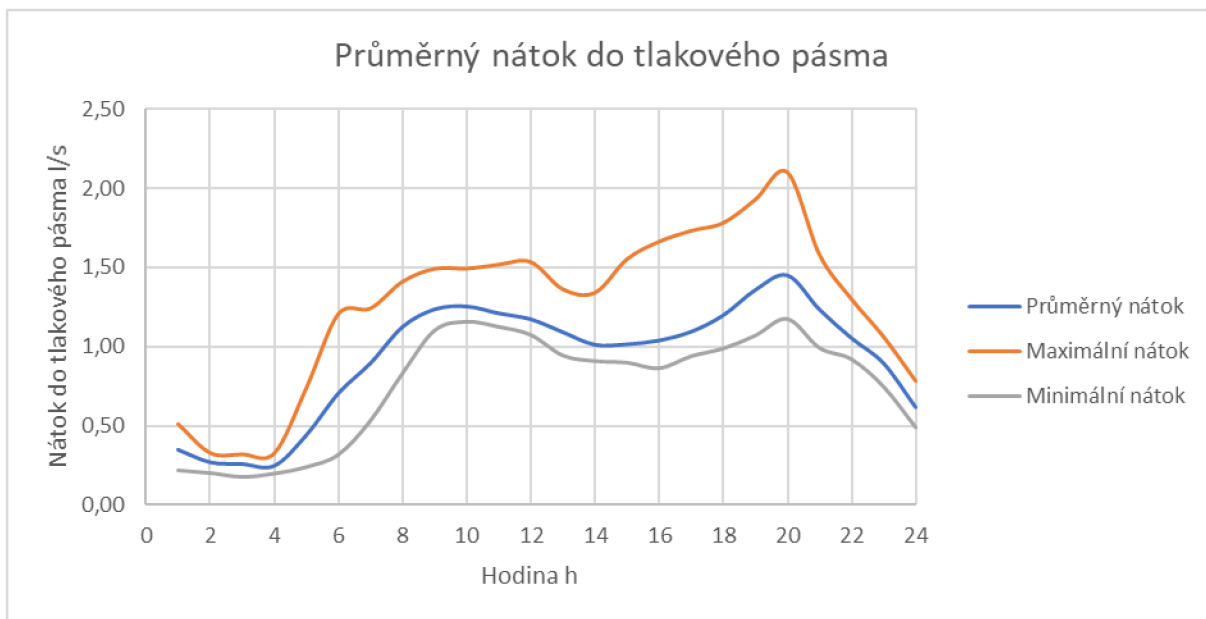
V následujících grafech je vidět nátok vody do tlakového pásma v průběhu dne.



Obr. 60 Průběh odběrů z TP Kubelíkova během dní pracovního volna



Obr. 61 Průběh odběrů z tlakového pásma Kubelíkova během pracovních dní



Obr. 62 Průběh odběrů z tlakového pásma Kubelíkova

Výpočet ztrát

Výpočet pro data z BVK

| | | | |
|---|--------------------|------|-----|
| Maximální hodinová spotřeba tlakového pásma | Q _h = | 2,10 | l/s |
| Průměrná denní spotřeba tlakového pásma | Q _p = | 0,92 | l/s |
| Součinitel hodinové nerovnoměrnosti | K _h = | 2,28 | - |
| Minimální spotřeba tlakového pásma | Q _{min} = | 0,18 | l/s |

| | | | |
|---|----------------------|--------|--------------------------|
| Počet přípojek | PP= | 224 | - |
| Délka vod. sítě skutečná bez přípojek [km] | L _{SKUT} = | 2,70 | km |
| Délka vod. sítě bez přípojek přep. na DN 150 [km] | L _{DN150} = | 1,90 | km |
| Počet přípojek na km řadu | PP _{km} = | 82,96 | -/km |
| Voda Vyrobená k realizaci | VVR= | 28 205 | m ³ |
| Voda fakturovaná | VF= | 28 282 | m ³ |
| Voda nefakturovaná | VNF= | -77 | m ³ |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za rok | SZ1PŘÍP= | 0 | m ³ /příp/rok |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za den | SZ1PŘÍP= | -1 | l/příp/den |
| Teoreticky nevyhnutelné ztráty | TNZ= | 31 | l/příp/den |
| Ekonomický index | EI= | 1,50 | - |

Výpočet ztrát

| | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------|------------------------|
| 1) % Vody nefakturované | $\%VNF=VNF/VVR=$ | -0,27 | % |
| 2) Jednotkový únik | $JÚVNF=VNF/LPŘEP=$ | -40,59 | m ³ /km/rok |
| 3) Infrastructure leakage index | $ILI=SZ/TNZ=$ | -0,03 | - |
| 4) Ekonomický index ztrát | $EIZ=EI*IZ=$ | -0,01 | - |
| Index ztrát | $IZ= ILI/4$ | -0,01 | - |

| | | | |
|---|------------------|------|---|
| Nezbytně nutné ztráty = $(1,2-0,8)*Q_p$ | $Q_{(0,8-1,2)}=$ | 0,79 | % |
|---|------------------|------|---|

Výpočet pro data určená metodou minimálních nočních průtoků

| | | | |
|---|------------|------|-----|
| Maximální hodinová spotřeba tlakového pásma | $Q_h=$ | 2,10 | l/s |
| Průměrná denní spotřeba tlakového pásma | $Q_p=$ | 0,92 | l/s |
| Součinitel hodinové nerovnoměrnosti | $K_h=$ | 2,28 | - |
| Minimální spotřeba tlakového pásma | $Q_{min}=$ | 0,18 | l/s |

| | | | |
|---|--------------|--------|--------------------------|
| Počet přípojek | $PP=$ | 224 | - |
| Délka vod. sítě skutečná bez přípojek [km] | $L_{SKUT}=$ | 2,70 | km |
| Délka vod. sítě bez přípojek přep. na DN 150 [km] | $L_{DN150}=$ | 1,90 | km |
| Počet přípojek na km řadu | $PP_{km}=$ | 82,96 | -/km |
| Voda Vyrobená k realizaci | $VVR=$ | 28 205 | m ³ |
| Voda fakturovaná | $VF=$ | 22 649 | m ³ |
| Voda nefakturovaná | $VNF=$ | 5 556 | m ³ |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za rok | $SZ1PŘÍP=$ | 25 | m ³ /příp/rok |
| Skutečná voda nefakturovaná na 1 přípojku za den | $SZ1PŘÍP=$ | 68 | l/příp/den |
| Teoreticky nevyhnutelné ztráty | $TNZ=$ | 31 | l/příp/den |
| Ekonomický index | $EI=$ | 1,50 | - |

Výpočet ztrát

| | | | |
|---------------------------------|--------------------|-------|------------------------|
| 1) % Vody nefakturované | $\%VNF=VNF/VVR=$ | 19,70 | % |
| 2) Jednotkový únik | $JÚVNF=VNF/LPŘEP=$ | 2924 | m ³ /km/rok |
| 3) Infrastructure leakage index | $ILI=SZ/TNZ=$ | 2,19 | - |
| 4) Ekonomický index ztrát | $EIZ=EI*IZ=$ | 0,82 | - |
| Index ztrát | $IZ= ILI/4$ | 0,55 | - |

| | | | |
|---|------------------|------|---|
| Nezbytně nutné ztráty = $(1,2-0,8)*Q_p$ | $Q_{(0,8-1,2)}=$ | 0,79 | % |
|---|------------------|------|---|

Zhodnocení stavu tlakového pásma

- 1) %VNF vychází 19,70 %, což je dobrý výsledek pro příměstskou zástavbu.
- 2) JÚNVF je 2,924 tis*m³/km/rok, dle hodnocení popisovaném v kap. 1.2.2 se jedná o dobrý výsledek, protože maximální přípustná hodnota ztrát pro tento druh zástavby je 3,2 tis/km/rok.
- 3) ILI vychází 2,19 a podle tabulky na obrázku 3 se dá určit, že stav sítě spadá do kategorie příměstská a proto je stav sítě v kategorii dobrá.
- 4) Podle EIZ se dá tlakové pásmo zařadit do 2. třídy $0,8 \leq EIZ \leq 1,3$ – jedná se o vodovodní systém, kde v důsledku současných ztrát nedochází k významným ekonomickým provozním ztrátám.
- 5) Podle posouzení podle minimálního nočního průtoku se toto tlakové pásmo nenachází v rozmezí 0,8-1,2 % doporučeného průtoku. Ale vzhledem k tomu, že se výsledek nachází jen 1 desetinu % od požadované hodnoty, můžeme zaokrouhlit a říct, že se výsledek nachází v požadované hranici.

Podle vypočtených hodnot je tlakové pásmo v dobrém stavu. Všechny výpočty ukazují na to, že v tlakovém pásmu nedochází k výrazným ztrátám.

Problém s tímto tlakovým pásmem se nachází v datech, které jsem dostal z BVK. Pro tyto data vychází hodnota vody nefakturované záporná. Což není možné, protože není možno spotřebovat více vody, než kolik se vyrobí. Proto je nutné i přes dobrý výsledek podle metody minimálních nočních průtoků zjistit, zda data které jsem dostal, byla ta správná. Pokud ano, je nutné udělat kontrolu vodoměru na přítoku do tlakového pásma. Pokud i ten bude v pořádku, bude nutné překontrolovat metodu používanou pro záznam vody fakturované.

Podle metody minimálních nočních průtoků pak hodnota skutečných ztrát vyšla 5386 m³/rok

Vyhodnocení ztrát v softwaru FWAS

AWWA Free Water Audit Software: Worksheet

FWAS v6.0
American Water Works Association
Copyright © 2020, All Rights Reserved.

Water Audit Report for: **Kubelkova**
 Audit Year: **2019** | **I 01 yyyy - XII 31 yyyy** | **2021**

To access definitions, click the **input name**

Click 'n' to add notes
 Click 'g' to determine data validity grade
 To edit water system info: [go to start page](#)

All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR

Water Supplied Error Adjustments
 choose entry option:

WATER SUPPLIED

| | | | | | | | | |
|-----|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------------|--------|-------|-------|
| VOS | Volume from Own Sources: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="28,205"/> | ML/Yr | <input type="text" value="n g 9"/> | volume | ML/Yr | VOSEA |
| WI | Water Imported: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | | | WIEA |
| WE | Water Exported: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | | | WEEA |

WATER SUPPLIED: ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION

| | | | | | | | | |
|------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------|--|--|--|--|
| DMAC | Billed Metered: | <input type="text" value="n g 1"/> | <input type="text" value="22,649"/> | ML/Yr | | | | |
| BUAC | Billed Unmetered: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | | | |
| UMAC | Unbilled Metered: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | | | |
| UUAC | Unbilled Unmetered: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="0,057"/> | ML/Yr | | | | |

Default option selected for Unbilled Unmetered, with automatic data grading of 3

AUTHORIZED CONSUMPTION: ML/Yr

choose entry option:
 default

WATER LOSSES ML/Yr

Apparent Losses

Default option selected for Systematic Data Handling Errors, with automatic data grading of 3

| | | | | | | | | |
|------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------|--|--|--|--|
| SDHE | Systematic Data Handling Errors: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="0,057"/> | ML/Yr | | | | |
| CMI | Customer Metering Inaccuracies: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="0,000"/> | ML/Yr | | | | |
| UC | Unauthorized Consumption: | <input type="text" value="n g 3"/> | <input type="text" value="0,057"/> | ML/Yr | | | | |

Default option selected for Unauthorized Consumption, with automatic data grading of 3

Apparent Losses: ML/Yr

choose entry option:
 default
 percent
 default
[under-registration](#)

Obr. 63 FWAS pro Kubelkova Pracovní list 1/2

Water Audit Report for: **Kubelkova**
 Audit Year: **2019** | **I 01 yyyy - XII 31 yyyy** | **2021**

To access definitions, click the **input name**

Click 'n' to add notes
 Click 'g' to determine data validity grade
 To edit water system info: [go to start page](#)

All volumes to be entered as: MEGALITRES (THOUSAND CUBIC METRES) PER YEAR

Real Losses

Real Losses: ML/Yr

WATER LOSSES: ML/Yr

NON-REVENUE WATER

NON-REVENUE WATER: ML/Yr

SYSTEM DATA

| | | | | | |
|----|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Lm | Length of mains: | <input type="text" value="n g 7"/> | <input type="text" value="2,7"/> | kilometers | (including fire hydrant lead lengths) |
| Nc | Number of service connections: | <input type="text" value="n g 5"/> | <input type="text" value="224"/> | | (active and inactive) |
| | Service connection density: | | <input type="text" value="83"/> | conn./km main | |

Are customer meters typically located at the curbstops/property:

| | | | | | |
|----|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|--|
| Lp | Average length of (private) customer service line: | <input type="text" value="n g 10"/> | <input type="text" value="60,0"/> | metres | (average distance between property line and meter) |
|----|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|--|

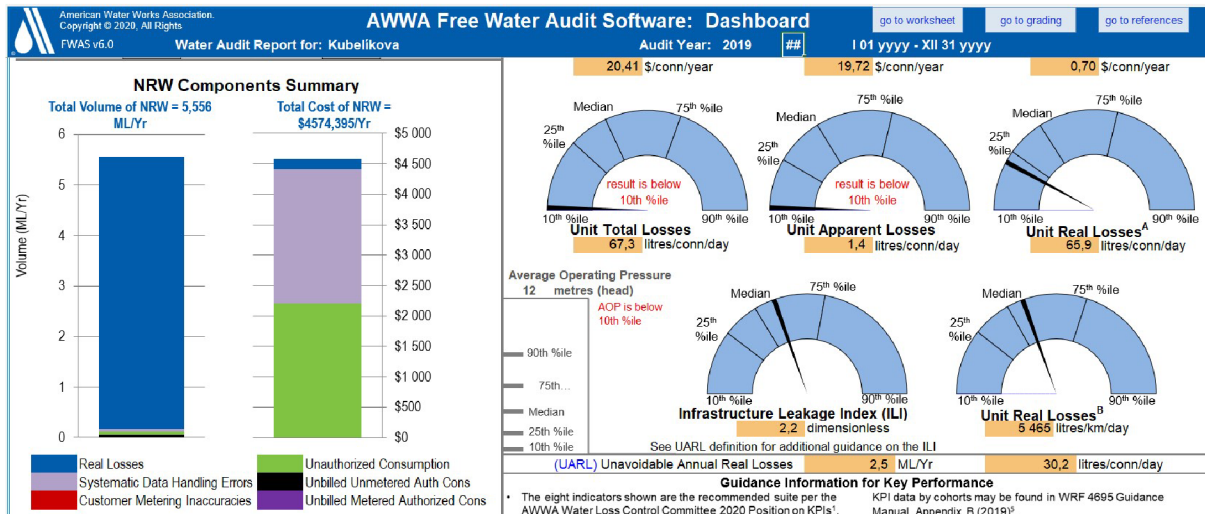
AOP: Average Operating Pressure: metres (head)

COST DATA

| | | | | | |
|------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| CRUC | Customer Retail Unit Charge: | <input type="text" value="n g n/a"/> | <input type="text" value="\$39,00"/> | \$/1000 litres | Total Annual Operating Cost |
| VPC | Variable Production Cost: | <input type="text" value="n g 10"/> | <input type="text" value="\$29,00"/> | \$/Megalitre | |

\$/yr (optional input)

Obr. 64 FWAS pro Kubelkova Pracovní list 2/2



Obr. 65 FWAS pro Kubelíkova Přístrojová deska

| AWWA Free Water Audit Software | | Water Audit Report for: Kubelíkova | | FWAS v6.0 | | |
|---|---------------------|---|------------------------|--|--|--------------------------|
| Water Balance | | Audit Year: 2019 | | I 01 yyyy - XII 31 yyyy | | |
| | | Data Validity Tier: Tier II (26-50) | | American Water Works Association, Copyright © 2020, All Rights Reserved. | | |
| Volume from Own Sources (VOS) (corrected for known errors) | System Input Volume | Water Exported (WE) (corrected for known errors) | Billed Water Exported | | | Revenue Water (Exported) |
| | | 0,000 | Authorized Consumption | Billed Authorized Consumption | Billed Metered Consumption (BMAC) (water exported is removed) | Revenue Water |
| 28,205 | 28,205 | Water Supplied | 22,706 | 22,649 | 22,649 | 22,649 |
| | | | | Unbilled Authorized Consumption | Unbilled Metered Consumption (UMAC) | Non-Revenue Water (NRW) |
| | | | | 0,057 | 0,000 | |
| Water Imported (WI) (corrected for known errors) | | Water Losses | 5,499 | Apparent Losses | Systematic Data Handling Errors (SDHE) | 5,556 |
| | | | | 0,113 | Customer Metering Inaccuracies (CMI) | |
| 0,000 | | | | Unbilled Unmetered Consumption (UUAC) | Unauthorized Consumption (UC) | |
| | | | | 5,396 | Leakage on Transmission and/or Distribution Mains | |
| | | | | 0,057 | Not broken down | |
| | | | | | Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks | |
| | | | | | Not broken down | |
| | | | | | Leakage on Service Connections | |
| | | | | | Not broken down | |

Obr. 66 FWAS pro Kubelíkova Bilanční list

4 NÁVRHY OPATŘENÍ VYHODNOCENÍ

V následující kapitole uvádím přehledné tabulky a vyhodnocení ztrát v jednotlivých tlakových pásmech.

Souhrn dosažených výsledků ukazatelů ztrát vody pro jednotlivá tlaková pásma

| Výsledky ukazatelů ztrát pro jednotlivá TP | %VNF [%] | JÚVNF m ³ /km/rok | ILI - | EIZ - | Kh - |
|--|-------------|---------------------------------|----------|----------|---------|
| VDJ Kam.vrch 320 MO III - 1.2./1 | 3,69 | 763,02 | 6,23 | 2,33 | 1,74 |
| VDJ Líšeň 405 MO II - 3.10. | 19,44 | 5854 | 20,16 | 7,56 | 1,84 |
| RŠ Kubelíkova MO III-3.10.2. | 19,7 | 2924 | 2,19 | 0,82 | 2,28 |

Vyhodnocení dosažených výsledků ukazatelů ztrát vody pro jednotlivá tlaková pásma

| Zhodnocení stavu TP dle kap 1.2.2 | %VNF | JÚVNF | ILI | EIZ | Q _{min} |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|----------|------------------|
| VDJ Kam.vrch 320 MO III - 1.2./1 | DOBRÝ | DOBRÝ | DOBRÝ | 3. TŘÍDA | VYHOVUJÍCÍ |
| VDJ Líšeň 405 MO II - 3.10. | DOBRÝ | ŠPATNÝ | ŠPATNÝ | 3. TŘÍDA | VYHOVUJÍCÍ |
| RŠ Kubelíkova MO III-3.10.2. | DOBRÝ | DOBRÝ | DOBRÝ | 2. TŘÍDA | VYHOVUJÍCÍ |

Po zhodnocení všech výsledků se dá konstatovat, že analýza prokázala jako nejlepší pásmo TP Kubelíkova. U toho pásma však byla závažná chyba ve vstupních datech. Tato chyba měla za následek to, že vyšla voda nefakturovaná jako záporná hodnota. Proto je nutno zkontrolovat, zdali data, která jsem dostal k výpočtu, jsou data skutečně naměřená. Pokud by se ukázalo, že tyto data odpovídají datům skutečně naměřeným, bude potřeba zkontrolovat vodoměr na přítoku do tlakového pásma a způsob jakým se v tlakovém pásmu registruje voda nefakturovaná.

Co se týče výsledku analýzy pomocí metody minimálních nočních průtoků tlakové pásmo prospělo na výbornou u všech ukazatelů. Není proto kromě předem uvedených kroků potřeba provádět další kroky pro odstranění ztrát v blízké budoucnosti. Výsledky z této metody jsou však pouze orientační.

TP Líšeň se podle poskytnutých dat ukázalo být ve velice špatném stavu. Provedl jsem proto pro kontrolu výpočet pomocí metody minimálních nočních průtoků. Tento výpočet vyšel o řád lépe. Proto se dá předpokládat, že TP je zásobovacím pásmem, které dodává vodu do okolních tlakových pásem. Aby mohl být výpočet správně proveden, musel bych mít data i z okolních tlakových pásem a odečíst je od dat z tohoto pásma.

Byla proto pro posouzení vzata jako rozhodující metoda minimálních nočních průtoků. Je nutné upozornit na to, že výsledky z této metody jsou pouze orientační. Po provedení analýzy podle této metody se pásmo jeví jako středně dobré. Vyhovělo v určitých aspektech jako je

%VNF, ale nevyhovělo v jiných (JUVNF, ILI). Podle těchto výsledků by bylo vhodné v bližší budoucnosti zjistit příčinu ztrát v této síti a provést rektifikaci těchto úniků.

TP Kamenný vrch vyhovělo ve všech kritériích kromě jednoho. Jmenovitě EIZ. Tato skutečnost může být způsobená typem zástavby tlakového pásma. Pásmo je téměř kompletně zastavěno panelovými domy. Každý panelový dům má pouze jednu přípojku, která odebírá velké množství vody. Což teoreticky vysvětluje malý jednotkový únik na síti, ale velké ztráty vody pro jednotlivé přípojky.

Celkově je tlakové pásmo v dobrém stavu a řešení ztrát v tomto pásmu se nemusí jevit ekonomicky výhodné. Nicméně bych doporučil přezkoumat, zdali je důvod pro velký EIZ vážně způsoben typem zástavby a jestli není zapříčiněn nějakým jiným faktorem.

5 ZÁVĚR

Analýza vodovodních sítí je stále vyvíjející se obor. Analýza vodovodních sítí obsahuje posouzení mnoha faktorů a vede k výslednému určení ztrát vody ve vodovodní síti. Pro určení ztrát na vodovodní síti existuje mnoho metod.

Dne 16. prosince 2020 evropský parlament a rada Evropské unie schválila směrnici 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské potřebě. Podle této směrnice se musí úniky vody na území členských států posoudit podle metody založené na indexu infrastrukturní ztrátovosti vodovodní sítě (ILI) nebo jiné vhodné metody. Právě metoda ILI (Infrastructure Leakage Index) je jedním z indikátorů o kvalitě vodovodní sítě popsanych v této práci.

ILI je metoda původně vyvinuta společností IWA (International Water Association). IWA je mezinárodní společnost, která se zasazuje o jednotné vyhodnocení ztrát vody. ILI je poměr technických indikátorů skutečných ztrát (SZ) a nevyhnutelných ročních skutečných ztrát (TZN). ILI vyjadřuje technický stav vodovodní sítě z pohledu ztrát vody. Je to tedy provozní ukazatel vodovodního systému. Byl navržen IWA (Lambert, 2002).

V bakalářské práci jsem se věnoval analýze a následnému vyhodnocení ztrát vody u 3 tlakovým pásem. Analýza a vyhodnocení ztrát bylo provedeno podle 5 různých ukazatelů ztrát z nichž jeden byl právě ILI. Další ukazatelé byli:

- %VNF - Procento vody nefakturované
- ELL - Economical Leakage Level
- Minimální (noční) průtok Q_{\min}
- Součinitel hodinové nerovnoměrnosti K_h

Podle výsledků vyhodnocení si může provozovatel, v případě této práce, BVK a.s., udělat představu o stavu sítě a únicích vody v ní. Dále pak může provozovatel provést opatření, kterými by případné velké ztráty mohl odbourat. Měl by to však udělat pouze v případě, že ekonomické náklady do investice oprav vodovodní sítě nepřesahují následné ušetřené náklady na úpravu a dopravu vody.

Podrobné výpočty jsou uvedeny v kapitole 3. a souhrn výsledků a navržených opatření v kapitole 4. Zkráceně se však 2 tlaková pásma ukázala jako vyhovující a jedno jako nevyhovující. Ovšem u nevyhovujícího pásma se ukázala být chyba ve vstupních datech, proto je výsledek pouze orientační.

Práce pak obsahovala ukázkou a demonstraci softwaru FWAS (Free Water Audit Software), tento software byl vyvinut v USA, ale kvůli jeho integrování do kanady se dá použít po celém světě. Je to software, který se používá pro analýzu vodovodní sítě a je kompletně zdarma. I přes to, že se jedná o relativně nový software, jeho popularita se rozrůstá. V době psaní této práce s ním pracují inženýři v Nizozemí a používají ho pro kompletní analýzu vodovodní sítě pro celé Nizozemí. Takže bych si dovolil konstatovat, že je jen otázka času, než se tento software začne používat po celém světě. Výsledky z tohoto softwaru nebyly použity pro posouzení tlakových pásem, jelikož se jedná pouze o demonstraci softwaru. Navíc jsem neměl všechna data nutná k plnému využití tohoto softwaru.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací: Vykazování ztrát vody - srovnávání provozovatelů, organizací, společenství, Ing. Ivana Čiháková, CSc. 13. Jílové u Prahy: Pavel Fučík, 2004 [cit. 2021-02-07]. ISSN 1210-3039.
- [2] LENZI, C., C. BRAGALLI, A. BOLOGNESI a M. FORTINI. Infrastructure Leakage Index Assessment in Large Water Systems. *Procedia Engineering* [online]. 2014, 70, 1017-1026 [cit. 2021-02-08]. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2014.02.113
- [3] ŠENKAPOULOVÁ, Jana. Ekonomický přístup ke snižování ztrát vody. *Časopis SOVAK*. roč. 2010, č. 4.
- [4] *Zákony pro lidi, sbírka zákonů* [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/obor/vodni-hospodarstvi>
- [5] Český statistický úřad [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2019>
- [6] *Vodovody a kanalizace ČR 2019* [online]. 2019. Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1 – Nové Město: Ministerstvo zemědělství, 2019 [cit. 2021-03-27]. ISBN 978-80-7434-578-4. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/664902/Vodovody_kanalizace_2019_WEB.pdf
- [7] IWA Connect About Us [online]. International Water Association: IWA-network.org, 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://iwa-network.org/about-us/>
- [8] IWA Connect [online]. International Water Association: IWA-network.org, 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://iwa-connect.org/group/water-loss?view=public>
- [9] IWA Connect [online]. International Water Association: IWA-network.org, 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://iwa-connect.org/user/566823fec82261aa7e3906a9>
- [10] Marco Fantozzi [online]. Milan: Studio Marco Fantozzi, 2021 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <http://www.studiomarcofantozzi.it/>
- [11] Our world in data [online]. OurWorldInData.org: Hannah Ritchie and Max Roser (2017), 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/water-use-stress>
- [12] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/2184: o jakosti vody určené k lidské spotřebě. 16. prosince 2020. Brusel: Úřední věstník Evropské unie, 2020.
- [13] Nedostatek vody stále větší hrozbou. *Vodovod.info* [online]. Tuřanská 247/33, 620 00 Brno: Vodárenský informační portál, 2011, 29. červen 2011 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/clanky/vodarenstvi/151-nedostatek-vody-stale-vetsi-hrozbou#.YF8yfa9KhPa>

[14] *Free Water Audit Software* [online]. Washington: American Water Works Association, 2020 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/Water-Loss-Control#9681336-technical-resources>

[15] *The New AWWA Free Water Audit Software is Here - Will Jernigan & Cor Merks* [online]. London: IWA Water Loss Specialist Group, 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=7R_72CfaMlo

[16] *Zásobování pitnou vodou* [online]. Brno: Brněnské vodárny a kanalizace, a.s, 2020 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.bvk.cz/o-spolecnosti/zasobovani-pitnou-vodou>

[17] *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. Praha: Pražské vodovody a kanalizace, 2019 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/res/archive/1498/230633.pdf?seek=1594711645>

[18] *Ročenka Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. Brno: Brněnské vodárny a kanalizace [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: https://www.bvk.cz/fileadmin/user_upload/Vyrocnni_zprava_2019.pdf

[19] *Vodovody a kanalizace Pardubice* [online]. Pardubice: Vodovody a kanalizace Pardubice, 2019 [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: http://www.vakpce.cz/index.php?mn=akcionari&pg=vyrocni_zpravy

[20] TUHOVČÁK, Ladislav a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Rekonstrukce vodohospodářských sítí*. Brno, 2006.

[21] *Brněnské vodovody a kanalizace a.s.* [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: www.bvk.cz

[22] *PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ JIHMORAVSKÉHO KRAJE* [online]. Brno: Jihomoravský kraj se sídlem: Žerotínovo nám. 449/3, 601 82 Brno, 2019 [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/A_TextovaTabulkovaCast/A2_PopisyNadobecnichSytemu/A2_02_UC_Brno-mesto.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Schéma složek vody dodané [1]..... | 8 |
| Obr. 2 Teoreticky nevyhnutelné ztráty [l/přípojku/den] [20]..... | 12 |
| Obr. 3 Možné hodnocení vodovodních sítí na základě indexu ILI a zástavby [1]..... | 12 |
| Obr. 4 Ekonomický pohled na snižování ztrát vody [3] | 15 |
| Obr. 5 Podíl obyvatel zásobovaných vodou a napojených na kanalizaci pro veřejnou potřebu v roce 2019 [5] | 17 |
| Obr. 6 Množství vyrobené pitné vody, fakturované vody celkem a vody fakturované domácnostem v roce 2019 [5] | 17 |
| Obr. 7 Průměrná cena za 1 m ³ fakturované vody a průměrná cena za 1 m ³ odváděných odpadních vod [5]..... | 18 |
| Obr. 8 Vývoj počtu zásobovaných obyvatel a specifické spotřeby z vody fakturované v letech 1989 a 2009–2019 [6] | 18 |
| Obr. 9 Nefakturovaná voda a ztráty vody v letech 2013–2019 [6] | 19 |
| Obr. 10 Vývoj hodnot objemu vody vyrobené celkem a fakturované vody celkem v letech 1989 a 2009–2019 [6] | 19 |
| Obr. 11 Zásobování vodou z vodovodů v letech 1989 a 2013–2019 [6] | 20 |
| Obr. 12 Ztráty vody z Brněnských vodáren a kanalizací [18] | 20 |
| Obr. 13 Ztráty vody od firmy Pražské vodovody a kanalizace [17] | 21 |
| Obr. 14 Obr. 12 Ztráty vody od firmy Vodovody a Kanalizace Pardubice a.s. [19] | 21 |
| Obr. 15 Schéma využití vody vyrobené určené k realizaci v roce 2019 [6] | 22 |
| Obr. 16 Spotřeba vody na osobu v Evropě [11] | 22 |
| Obr. 17 Water Audit software, 2. pracovní list [14] | 24 |
| Obr. 18 Water audit software, 1. startovací strana [14] | 25 |
| Obr. 19 Water Audit Software, Přístrojová deska [14] | 26 |
| Obr. 20 Štola násosky I. březovského vodovodu v prameništi Březová nad Svitavou [16] | 28 |
| Obr. 21 Centrální část vodovodní sítě, barevně dle tlakových pásem, mapový podklad [16]. | 31 |
| Obr. 22 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2013 [18]..... | 32 |
| Obr. 23 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2014 [18]..... | 32 |
| Obr. 24 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2015 [18]..... | 32 |
| Obr. 25 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2016 [18]..... | 33 |
| Obr. 26 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2017 [18]..... | 33 |
| Obr. 27 Výkaz vody vyrobené a ztrát z BVK 2018-2019 [18] | 33 |
| Obr. 28 Graf ukazující vývoj vody nefakturované a ztrát v síti z BVK 2011-2019 [18]..... | 33 |

| | |
|--|----|
| Obr. 29 Vybraná tlaková pásma [16] | 34 |
| Obr. 30 Data poskytnutá BVK. Kubelíkova [20] | 35 |
| Obr. 31 Data poskytnutá BVK Líšeň [20] | 35 |
| Obr. 32 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kamenný vrch 1/2 | 38 |
| Obr. 33 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kamenný vrch 2/2 | 38 |
| Obr. 34 Mapa z generelu BVK Kamenný Vrch [20] | 39 |
| Obr. 35 TP Kamenný vrch, ukázka zástavby | 39 |
| Obr. 36 Průběh nátoků do TP Kamenný Vrch během dní pracovního volna | 40 |
| Obr. 37 Průběh nátoků do tlakového pásma Kamenný Vrch během pracovních dní | 40 |
| Obr. 38 Průběh nátoků do tlakového pásma Kamenný Vrch | 41 |
| Obr. 39 FWAS pro Kamenný vrch Pracovní list 1/2 | 43 |
| Obr. 40 FWAS pro Kamenný vrch Pracovní list 2/2 | 43 |
| Obr. 41 FWAS pro Kamenný vrch Přístrojová deska | 44 |
| Obr. 42 FWAS pro Kamenný vrch Bilanční list | 44 |
| Obr. 43 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Líšeň 1/2 | 45 |
| Obr. 44 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Líšeň 2/2 | 45 |
| Obr. 45 Mapa z generelu BVK Líšeň [20] | 46 |
| Obr. 46 TP Líšeň, ukázka zástavby | 46 |
| Obr. 47 TP Líšeň Vodojem 1/2 | 47 |
| Obr. 48 TP Líšeň Vodojem 2/2 | 47 |
| Obr. 49 Průběh odběrů z TP Líšeň během dní pracovního volna | 48 |
| Obr. 50 Průběh odběrů z tlakového pásma Líšeň během pracovních dní | 48 |
| Obr. 51 Průběh odběrů z tlakového pásma Líšeň | 49 |
| Obr. 52 FWAS pro Líšeň Pracovní list 1/2 | 52 |
| Obr. 53 FWAS pro Líšeň Pracovní list 2/2 | 52 |
| Obr. 54 FWAS pro Líšeň Přístrojová deska | 53 |
| Obr. 55 FWAS pro Líšeň Bilanční list | 53 |
| Obr. 56 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kubelíkova 1/2 | 54 |
| Obr. 57 Tabulka s průměrnými hodinovými průtoky v TP Kubelíkova 2/2 | 54 |
| Obr. 58 Mapa z generelu BVK Kubelíkova [20] | 55 |
| Obr. 59 Ukázka zástavby TP Kubelíkova | 55 |
| Obr. 60 Průběh odběrů z TP Kubelíkova během dní pracovního volna | 56 |
| Obr. 61 Průběh odběrů z tlakového pásma Kubelíkova během pracovních dní | 56 |

| | |
|--|----|
| Obr. 62 Průběh odběrů z tlakového pásma Kubelíkova | 57 |
| Obr. 63 FWAS pro Kubelíkova Pracovní list 1/2 | 60 |
| Obr. 64 FWAS pro Kubelíkova Pracovní list 2/2 | 60 |
| Obr. 65 FWAS pro Kubelíkova Přístrojová deska | 61 |
| Obr. 66 FWAS pro Kubelíkova Bilanční list | 61 |

Seznam použitých zkratk

| |
|--|
| VVR ... voda vyrobená k realizaci [m3] |
| VF ... voda fakturovaná [m3] |
| VNF ... voda nefakturovaná [m3] |
| VS ... vlastní spotřeba [m3] |
| ZV ... ztráty vody [m3] |
| JÚVNF ... jednotkový únik vody nefakturované [m3/km/rok] |
| LSKUT ... skutečná délka sítě |
| L _{PŘEP} ... přepočtená délka sítě [km] |
| PP ... počet přípojek |
| Q ... průtok [l/s] |
| Q _{min} ... minimální noční průtok [l/s] |
| ILI ... infrastructure leakage index [-] |
| TNZ ... teoreticky nevyhnutelné ztráty [l/přípojku/den] |
| EI ... ekonomický index |
| IZ ... index ztrát |
| EIZ ... ekonomický index ztrát |
| BVK ... Brněnské vodovody a kanalizace |
| VDJ ... vodojem |
| TP ... tlakové pásmo |
| FWAS ... free water audit software |