



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

VYHODNOCENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ VE VODOVODNÍ SÍTI

ASSESSMENT OF MINIMAL NIGHT-FLOWS IN THE WATER SUPPLY NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

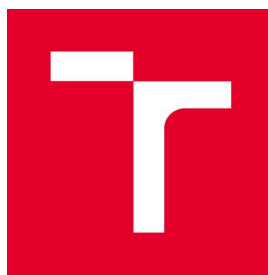
Bc. Jana Nováková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jana Nováková
Název	Vyhodnocení minimálních nočních průtoků ve vodovodní síti
Vedoucí práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Ďaďo, S. a kol.: Měření průtoku a výšky hladiny, Technická literatura BEN, ISBN 80-7300-156-X, Praha, 2005
- [2] Farley, M., Trow, S.: Losses in Water Distribution Networks, IWA Publishing, 2003
- [3] Smith, L. A., Fields, K. A., Chen, A. S. C., Tafuri, A. N.: Options for Leak and Break Detection and Repair of Drinking Systems, Battelle Press, 2000
- [4] Tuhovčák, Adler, Kučera, Raclavský: Vodárenství, VUT v Brně, 2006

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce studentka provede vyhodnocení minimálních nočních průtoků ve vybrané vodárenské soustavě. V úvodní části práce bude zpracována rešerše zahraniční literatury se zaměřením na nejnovější trendy v oblasti hodnocení ztrát vody. Následně provede studentka analýzu časové řady odtoků vody z vodojemu do vodovodní sítě. Pro každý měřicí okresek následně definuje minimální noční průtok a provede jeho dekompozici na jednotlivé složky. Pro každý měřicí okresek budou také stanoveny základní ukazatele ztrát vody, včetně ILI a EIZ.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na vyhodnocení minimálních nočních průtoků ve vodovodní síti. První část práce je zaměřena na rešerši zahraniční i české literatury z oblasti vyhodnocování ztrát vody ve vodovodních systémech, vyhodnocování a měření minimálních nočních průtoků a porovnání hodnot jednotlivých ukazatelů vybraných vodárenských společností v České republice. V praktické části práce jsou vyhodnoceny minimální noční průtoky a stanoveny ukazatele ztrát vody ve vybraných měřících okrcích vodovodní sítě města Vsetín, jejíž provozovatelem je společnost Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.

KLÍČOVÁ SLOVA

Minimální noční průtoky, ztráty vody, úniky vody, spotřeba vody, FAVAD, denní faktor NDF

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on assesment of the minimum night flow in the water supply system. The first part of the work is focused on the research of foreign and Czech literature in the area of evaluation of water losses in water systems, evaluation and measurement of minimum night flow and comparison of values of individual indicators in the Czech Republic. In the practical part of the thesis, the minimum night flow is estimated and the water losses indicators are determined for selected DMA of Vsetin´s water supply system, which is operated by VaK Vsetin, a.s.

KEYWORDS

Minimum night flow, water losses, water leakage, water demand, FAVAD, Night-Day Factor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jana Nováková *Vyhodnocení minimálních nočních průtoků ve vodovodní síti*. Brno, 2017. 102 s., 8 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2018

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za jeho pedagogickou, metodickou a odbornou pomoc, trpělivost a cenné rady při zpracovávání této práce. Dále bych ráda poděkovala zaměstnancům společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s. za poskytnutí potřebných informací a spolupráci.

OBSAH

1	ÚVOD	3
1.1	Stávající stav v problematice ztrát vody	3
1.2	Cíl práce	5
2	ZTRÁTY VODY A MINIMÁLNÍ NOČNÍ PRŮTOKY	6
2.1	Ztráty vody	6
2.1.1	Terminologie	6
2.1.2	Rozdělení ztrát dle IWA	7
2.1.3	Ukazatelé ztrát vody	8
2.1.4	Hodnoty ztrát v ČR	13
2.1.5	Skutečné a zdánlivé ztráty	15
2.2	Minimální noční průtoky	20
2.3	Měření MNP	21
2.3.1	District Metered Area – DMA	21
2.3.2	Navrhování DMA	22
2.3.3	Měřicí technika	24
2.3.4	Smart metering	25
2.4	Vyhodnocení MNP	27
2.4.1	Úrovně dekompozice MNP	27
2.4.2	Koncept FAVAD	31
2.4.3	Stanovení denní míry úniku	32
3	VYHODNOCENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ	35
3.1	Popis zájmové lokality	35
3.2	Popis vodárenského systému	36
3.3	Měřicí okrsky (DMA)	40
3.4	Analýza spotřeby vody	48
3.4.1	Přehled MNP	63
3.4.2	Vyhodnocení spotřeby vody a stanovení MNP	63
3.4.3	Vyhodnocení spotřeby vody MO1 – napájecí uzel Bečevná	64
3.5	Dekompozice MNP	67
3.5.1	Výpočet běžné noční spotřeby	68
3.5.2	Výpočet skrytých úniků	70
3.5.3	Ztráty způsobené poruchami potrubí	73
3.6	Vyhodnocení MNP ve spotřebišti Vsetín	73
3.6.1	Výsledky dekompozice MNP ve spotřebišti Vsetín	82
3.7	Hodnoty ukazatelů ztrát spotřebišť Vsetín	83
4	DISKUZE	86
5	ZÁVĚR	89
6	POUŽITÁ LITERATURA	91
	SEZNAM TABULEK	94
	SEZNAM OBRÁZKŮ	96

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	98
SEZNAM PŘÍLOH	101
SUMMARY	102

1 ÚVOD

Diplomová práce je zaměřena na problematiku minimálních nočních průtoků ve vodovodní síti. Minimální noční průtoky jsou jednou z metod umožňujících vyhodnocení množství ztrát vody z vodárenských systémů.

V dnešní době je hlavním úkolem vodořehospodářů zajistit dostatečné množství pitné vody pro obyvatele. Pokrytí potřeby vody se v posledních letech může stát problémem, a to především kvůli extrémně teplým a suchým létům a srážkově chudým zimním obdobím, které postihují naši zemi. Pro Českou republiku jako tzv. „střechu Evropy“ je charakteristické, že jediným zdrojem vody je voda z atmosférických srážek, a tak veškerá voda, která zde spadne, odtéče mimo toto území. Následkem těchto klimatických jevů je snížení kapacity podzemních i povrchových zdrojů vody – v jarních měsících, kdy dochází k tání sněhové pokrývky nedojde k dostatečnému nasycení a během letních měsíců, které jsou obecně srážkově chudší, může dojít až k jejich vyčerpání. Tato situace může nastat především u lokálních zdrojů zásobující menší spotřebiště. A pokud k tomu skutečně dojde, je povinností provozovatele vodovodu zajistit náhradní zdroj pitné vody, např. najít nový zdroj vody, propojit systém s jiným vydatnějším zdrojem, omezit odběr vody pro jiné než pitné účely nebo zajistit dodávku pitné vody z cisteren atd. Přestože se v uplynulých 25 letech průměrná denní spotřeba vody snížila takřka o polovinu (podle zprávy ministerstva zemědělství bylo v roce 1989 denně průměrně spotřebováno $401 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$, zatímco v roce 2015 byla průměrná denní spotřeba vody jen $165 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$) v roce 2016 došlo k opětovnému i když nepatrnému nárůstu. Tyto hodnoty objemu vody zahrnují spotřebu vody domácnostmi, průmyslovými a zemědělskými podniky i ostatními odběrateli dohromady a jsou vztaženy na 1 obyvatele. [1] Tyto dva aspekty (stále intenzivnější a delší období sucha a relativně stálá potřeba vody, která už pravděpodobně nemůže klesnout níž) vytváří „společenský tlak“ na české vodárenské společnosti a jsou důvodem, proč je snižování množství ztrát vody z vodárenských systémů jednou z hlavních úloh provozovatelů vodovodů a jejich řídicích dispečinků. Druhým důvodem, proč je snižování ztrát důležité, a pro vodárny jistě podstatnějším, je ekonomické hledisko. A sice, snižováním ztrát dojde ke snížení množství vody nefakturované, kterou kromě ztrát tvoří voda potřebná pro údržbu sítě, čištění vodojemů, voda pro veřejná pítka, černé odběry, chyby vzniklé nepřesností měření a podobně. Vodárny tak ušetří a jejich zisky se zvětší a vznikne tak možnost pro snížení ceny vody, což bude mít pozitivní dopad spotřebitele, nebo vzniknou finanční prostředky pro investice do obnovy sítě.

1.1 STÁVAJÍCÍ STAV V PROBLEMATICE ZTRÁT VODY

Mezi priority provozovatelů a vlastníků vodovodních sítí v ČR dlouhodobě patří snižování ztrát vody bez ohledu na to, jestli se jedná o velkou vodárenskou společnost nebo obec, která si vodovodní síť spravuje sama. Podle informací Sdružení oblasti vodovodů a kanalizací ČR došlo od roku 1994 do roku 2016 k systematickému poklesu ztrát vody o více než 190 mil. m³ (v roce 1994 byl objem ztrát 286 mil. m³ a v roce 2016 pouze 90 mil. m³ vody), což odpovídá snížení procentuálních ztrát vody nefakturované z 28,9 % na 15,4 %. Tento pokles je důsledkem několika jevů. Prvním, a asi nejvýznamnějším, je zlepšení technického stavu sítě

investicemi do její obnovy. Dalšími neméně významnými kroky jsou všechna opatření, která slouží k rychlejší, snadnější a efektivnější detekci poruch na síti, tj. např. rozdělení sítě na menší distrikty a instalace vodoměrů s vyšší přesností měření, vytvoření online systému pro hlášení zjevných poruch zaznamenaných veřejností a další. Standardem všech měřících zařízení je dnes přenos dat přes servery GSM nebo GPRS, s možností upozornit pracovníky dispečinku na nezvykle vysoké hodnoty průtoků (nebo náhlé poklesy tlaků v síti, které provází vysoké odběry vody) pomocí SMS. Tím se výrazně snižuje časová prodleva mezi vznikem případné poruchové události (pokud se nejedná o černý odběr) a lokalizací této poruchy a následným počátkem oprav. Pozitivně na celou problematiku také působí činnost dispečinku, jehož úloha se za poslední roky sice příliš nezměnila, ale k výrazné změně došlo ve shromažďování a využívání dat. Nejvhodnějším nástrojem je geografický informační systém (GIS) a systém SCADA. Geografický informační systém umožňuje provozovateli shromažďovat technické informace o síti, průběžně tyto údaje aktualizovat a na jejich základě se rozhodovat o dalších krocích, tj. případných rekonstrukcích apod. Data z GISu, jsou pak vhodným podkladem pro provedení hydraulické analýzy. Pro provozovatele sítí velkých rozměrů je vlastnictví GISu standardem, nicméně bohužel se to nedá říct o provozovatelích malých vodovodních sítí. Je ovšem důležité, aby data byla správně roztržena. Pro přehlednost by bylo vhodné, aby GIS obsahoval souhrnné údaje o dimenzích, délkách, stáří, materiálu i drsnost potrubí, aby byly rozlišeny vodovodní řady a přípojky atp. [1, 2]

Takto vhodně roztržená data jsou ideálním podkladem pro vytvoření matematického modelu pro hydraulickou analýzu. Kalibrovaný matematický model provozovateli slouží jako podklad pro investiční plánování o budoucím rozvoji nebo rekonstrukci sítě, jejíž výsledkem bude optimalizace tlakových poměrů. Pro vodovodní síť je vhodné, pokud se hodnoty hydrodynamického tlaku udržují v intervalu od 0,35 MPa do 0,40 MPa. [3] Síť, jejíž hydrodynamický tlak se pohybuje v tomto intervalu, se vyznačuje velmi dobrým technickým stavem, tj. tlaky jsou dostatečné na to, aby byla splněna podmínka vyhlášky č. 428/2001 Sb. provádějící zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, která říká, že minimální hydrodynamický přetlak v síti by měl být u 2 a více podlažní budovy 0,15 MPa (0,25 MPa v případě 1 patrové budovy), a zároveň není přetlak v síti příliš vysoký a nedochází tak k extrémnímu namáhání spojů potrubí, lomů a armatur, čímž se prodlužuje celková životnost sítě. Velikost množství ztrát vody je jednoznačně závislé na technickém stavu vodovodní sítě. Síť v dobrém technickém stavu má velmi nízkou hodnotu ztrát, zatímco na síť ve špatném technickém stavu, která není udržovaná, jsou ztráty vody vysoké. Ztráty jsou nejlépe rozpoznatelné v nočních hodinách, kdy v síti proudí minimální množství vody, a to především mezi 02:00 a 04:00. Při minimálních průtocích dosahují hodnoty hydrodynamického tlaku ve vodovodní síti nejvyšších hodnot.

Pro vykazování míry ztrát existuje velké množství ukazatelů, které lze využít, a které jsou v práci dále popsány. Největším problémem při vykazování ztrát je nejednotnost terminologie, i když dnes už není tento problém tak výrazný. Přesto je velice důležité a vhodné, pokud jsou použité metodiky a postupy podrobně a přehledně popsány již v úvodu

analýzy, aby nevznikaly pochybnosti o tom, co jsou vstupní a výstupní veličiny a jak byly získány.

Jednou z u nás nejpoužívanějších a relativně nejsnadnější možností vykazování ztrát je procento vody nefakturované. Způsob stanovení tohoto ukazatele je popsán dále v práci. Za vodu nefakturovanou je považován takový objem vody z celkového objemu vody vyrobené k realizaci, na kterou nebyla vystavena faktura. V tomto množství se ale kromě samotných ztrát vody skrývají také černé odběry a voda, která je potřebná pro údržbu vodovodní sítě, tj. na čištění vodojemů, proplach sítě apod. Pokud se budeme na toto množství vody dívat z pohledu vlastníka vodovodu a vodu budeme chápat jako předmět obchodu, bude našim cílem minimalizovat množství ztrát za účelem zvýšení ekonomické stability. Toto by se dalo popsat jako ekonomický dopad ztrát. Druhou možností, jak lze problematiku vnímat je z ekologického, případně technického hlediska – v tomto případě se snažíme množství ztrát snižovat proto, abychom vodou zbytečně neplýtvali. Ať už se ale na situaci díváme jakkoli, faktem zůstává, že snižování ztrát je významnou disciplínou vodárenského dispečinku, které je potřeba věnovat čas i finanční prostředky. Na vodu bychom se neměli totiž dívat jako na komoditu, se kterou se obchoduje, ale jako na nerostné bohatství, kterého bychom si měli vážit.

1.2 CÍL PRÁCE

V rámci diplomové bylo provedeno vyhodnocení minimálních nočních průtoků ve vybrané vodárenské soustavě. V úvodní části práce byla zpracována rešerše zahraniční literatury se zaměřením na nejnovější trendy v oblasti hodnocení ztrát vody. Následně byla provedena analýza časové řady odtoků vody z vodojemu do vodovodní sítě. Pro každý měřicí okrsek byl definován minimální noční průtok a byla provedena jeho dekompozice na jednotlivé složky. Pro každý měřicí okrsek byly také stanoveny základní ukazatele ztrát vody, včetně ILI a EIZ.

2 ZTRÁTY VODY A MINIMÁLNÍ NOČNÍ PRŮTOKY

V dřívějších letech zastávali provozovatelé vodovodů při řešení problematiky ztrát vody spíše pasivní postoj, to znamená, že úniky vody se neřešily, pokud nebyly viditelné. K řešení se přistupovalo až v případech, že došlo k zaznamatelnému úniku – konkrétním příkladem může být prasklé potrubí v Sokolské ulici v Praze v listopadu 2016 nebo prasklé vodovodní potrubí v Kotlářské ulici v Brně v říjnu 2017. Většina těchto nehod se stává v nočních hodinách, kdy je kvůli nízkým odběrům v síti nejvyšší hydrodynamický přetlak. V posledních letech došlo vlivem rozvoje akustických nástrojů pro lokalizaci tzv. skrytých úniků ke změně přístupu. Dnes je upřednostňován aktivní přístup k celé problematice. Místa úniků jsou aktivně vyhledávána za využití elektroakustických metod, plošného monitoringu nebo metod akustické korelace. Všechny tyto metody fungují na principu měření hladiny stálého šumu a vyhodnocení zesílených hodnot. Vyhledávání konkrétních úseků potrubí v daném měřicím okrsku ale předchází analýza minimálních nočních průtoků, které nám dají představu o tom, jestli v určitém měřicím okrsku dochází k výraznějším ztrátám vody z potrubí nebo ne. [4, 5]

2.1 ZTRÁTY VODY

Ztráty vody jsou jedním z hlavních parametrů, které jsou provozovatelem sledovány. Velikost ztrát a jejich trend se dá považovat za hodnotící kritérium provozování vodovodu – pokud má objem ztrát klesající trend, znamená to, že se provozovateli aktivně daří ztráty snižovat, a to především investicemi do obnovy infrastruktury, do technických prostředků pro lokalizaci skrytých úniků a také úspěšně odhaluje tzv. černé odběratele.

V roce 2016 v České republice dosahovaly ztráty hodnoty 15,4 % z celkového množství vody (tj. 585,4 mil. m³), které bylo vyrobeno k realizaci. Z tohoto množství vody bylo skutečně spotřebováno, respektive fakturováno celkem 478,8 mil. m³ vody (z toho spotřeba domácností byla 322,2 mil. m³, což odpovídá průměrné denní spotřebě 88,3 l·os⁻¹·den⁻¹, a roční spotřeba vody průmyslových a zemědělských podniků a ostatních odběratelů byla 156,6 mil. m³). Ztráty vody v roce 2016 dosahovaly objemu 90,1 mil. m³, což je o cca 9 mil. m³ vody méně než v roce 2015. [1, 2]

2.1.1 Terminologie

Minimální noční průtok – pravidelně se opakující hodnota průtoku, který měřicím okrkem protéká v určitém časovém úseku, měřená hodnota průtoku je nejnižší během celého dne – toto období nastává v nočních hodinách (především mezi 01:00 a 04:00). [3]

Ztráty vody – rozdíl mezi průtokem naměřeným při vtoku do měřicího okrsku a skutečným odběrem, hodnota zahrnuje skutečné i zdánlivé ztráty. [3]

Ztráty na veřejném vodovodu – ztráty, které vznikají před vodoměrným zařízením, tj. ztráty provozovatele (vlastníka) vodovodu. [3]

Ztráty na vnitřním vodovodu – ztráty, které vznikají za vodoměrným zařízením, tj. ztráty odběratele. [3]

Skutečný odběr – množství vody, které je odběratelem skutečně odebráno z vodovodní sítě. [3]

Skutečné ztráty (real losses) – množství vody, které uniká ze sítě netěsnostmi spojů potrubí, při vzniklých poruchách, případy ve vodojemech. [3]

Skryté ztráty (background leakage) – neboli skryté úniky vody – množství vody, které ze sítě uniká místy, které nelze běžnými metodami identifikovat, jedná se o únik drobnými trhlinkami a netěsnostmi ve spojích jednotlivých trub, tvarovek a armatur, tyto ztráty tvoří největší podíl na množství vody nefakturované. [4]

Zdánlivé ztráty (apparent losses) – množství vody, které zahrnuje chyby měření průtokoměrů a neautorizované (tzv. černé) odběry. [4]

Měřicí okrsky (DMA) – hydraulicky izolované oblasti vodovodního systému, jsou od ostatních okrsků odděleny uzavíratelnými armaturami, v nichž je měřena spotřeba vody, je vhodné, když má každý měřicí okrsek jen 1 napájecí uzel, ve kterém je měřeno průtočné množství – na základě těchto měřených údajů lze provést analýzu průtoků pro zjištění velikosti ztrát vody ze sítě. [4]

2.1.2 Rozdělení ztrát dle IWA

Odborná skupina IWA (Internation Water Association) vytvořila v roce 2000 systém bilančního vykazování ztrát. Tento systém byl vytvořen za účelem sjednocení terminologie a metodiky pro hodnocení distribučního systému z hlediska ztrát vody. [6, 7]

Voda vyrobená k realizaci [m ³ /rok]	Autorizovaná spotřeba [m ³ /rok]	Autorizované odběry fakturované [m ³ /rok]	Voda měřená (včetně vody předané) [m ³ /rok]	Voda fakturovaná [m ³ /rok]
			Voda neměřená [m ³ /rok]	
		Autorizované odběry nefakturované [m ³ /rok]	Měřené nefakturované odběry [m ³ /rok]	Voda nefakturovaná [m ³ /rok]
			Neměřené nefakturované odběry [m ³ /rok]	
	Ztráty vody [m ³ /rok]	Zdánlivé ztráty [m ³ /rok]	Neautorizované odběry [m ³ /rok]	
			Chyby měření [m ³ /rok]	
		Skutečné ztráty [m ³ /rok]	Skutečné ztráty při úpravě vody	
			Ztráty vody v distribuční síti	
	Ztráty vody ve vodojemech			
		Ztráty vody na přípojkách		

Obr. 1 Bilance ztrát vody dle IWA [6]

IWA rozděluje vodu vyrobenou k realizaci na autorizovaný odběr a ztráty vody. Ztráty vody jsou rozděleny na ztráty zdánlivé a skutečné. Ztráty skutečné jsou ztráty ve vodárenském systému od vodojemu až po domovní přípojky vody a zahrnují případy z vodojemů, úniky netěsnostmi spojů potrubí a ztráty z důvodu poruch potrubí. Skutečné ztráty zahrnují skryté

i zjevné úniky. Zdánlivé ztráty jsou tvořeny neautorizovanými (tzv. černými) odběry a nepřesnostmi, které vznikají při měření průtoku. [6, 7]

2.1.3 Ukazatelé ztrát vody

Mezi základní způsoby vyjádření ztrát vody patří níže uvedené ukazatele. Každý z ukazatelů má jinou vypovídající hodnotu.

% VNF – procento vody nefakturované

Jedná se o procentuální poměr objemu vody nefakturované celkem (VNF), tj. vody, kterou nikdo nezplatí, a vody vyrobené k realizaci (VVR) tj. vody, která byla do distribučního systému vpuštěna. % VNF je nejpoužívanější ukazatel v ČR z důvodu jednoduchosti jeho stanovení – jako vstupní parametry jsou nutné data, které má každý provozovatel k dispozici. Nevýhodou % VNF je nízká vypovídající hodnota o technickém stavu vodovodu a také to, že nebere v úvahu skladbu a charakter vodovodní sítě. [8]

$$VNF = \frac{VNF_{celkem}}{VVR} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

kde % VNF procento vody nefakturované [%]
 VNF_{celkem} množství vody nefakturované [$m^3 \cdot rok^{-1}$]
 VVR množství vody vyrobené k realizaci [$m^3 \cdot rok^{-1}$]

JÚVNF – jednotkový únik vody nefakturované

Jedná se o objem vody nefakturované z posuzovaných vodovodních řadů uváděný v jednotkách $m^3 \cdot km^{-1} \cdot rok^{-1}$. JúVNF vyjadřuje ztráty vody v síti s větší přesností než %VNF. Pro stanovení JúVNF je ale nutné znát skladbu sítě. Aby bylo možné provést výpočet, je nutné nejdřív síť, která je složena z potrubí různých profilů různé délky, převést na síť jednotného profilu, nejčastěji DN 150, a přepočítat délku potrubí. Ukazatel nezahrnuje vliv tlaku. [8]

$$JUVNF = \frac{VNF}{L_{prep.}} \quad [m^3 \cdot km^{-1} \cdot rok^{-1}] \quad (2.2)$$

kde JúVNF jednotkový únik vody nefakturované [$m^3 \cdot km^{-1} \cdot rok^{-1}$]
 VNF množství vody nefakturované [$m^3 \cdot rok^{-1}$]
 $L_{prep.}$ přepočítaná délka potrubí o DN 150 [km]

Přepočítaná délka vodovodní sítě se stanoví jako součet dílčích přepočítaných délek, podle rovnice 2.3:

$$L_{prep} = \sum L_i \cdot K_i \quad [km] \quad (2.3)$$

kde L_{skut, DN_i} je skutečná délka potrubí o DN_i [km]
 K_i koeficient přepočtu délky pro potrubí o DN_i

Koeficient přepočtu délky K se stanovuje pro každé DN zvlášť, a to podle rovnice 2.4:

$$K_i = \frac{DN_i}{150} [-] \quad (2.4)$$

kde DN_i skutečné DN potrubí, pro které stanovujeme koeficient přepočtu

VNFP – voda nefakturovaná na přípojku

Voda nefakturovaná na přípojku je stanovena z celkového množství vody nefakturované a počtu vodovodních přípojek. Tento ukazatel je doporučován IWA, ale v ČR není příliš používán. Důvodem je charakter zástavby, kdy z jedné přípojky je zásobováno více bytových jednotek. [8]

$$VNFP = \frac{VNF \cdot 10^3}{PP \cdot 365} [l \cdot p\check{r}^{-1} \cdot den^{-1}] \quad (2.5)$$

kde VNFP množství vody nefakturované na jednu vodovodní přípojku [$l \cdot p\check{r}ip^{-1} \cdot den^{-1}$]
VNF množství vody nefakturované [$m^3 \cdot rok^{-1}$]
PP počet vodovodních přípojek [ks]

ILI – index ztrát infrastruktury

ILI (Infrastructure Leakage Index) vyjadřuje podíl tzv. *skutečných ztrát* a *teoreticky nevyhnutelných ztrát*. Skutečné ztráty (CARL – Current Annual Real Losses) je objem vody nefakturované bez vlastní potřeby, tj. bez vody potřebné na např. čištění vodojemů a proplach vodovodní sítě, a vyjadřují se v $l \cdot p\check{r}ip^{-1} \cdot den^{-1}$. Určují se pomocí roční bilance doporučované IWA. Jedná se o součet ztrát v distribuční síti, ve vodojemech a na přípojkách. [7]

Teoreticky nevyhnutelné ztráty (UARL – Unavoidable Annual Real Losses) závisí na hustotě přípojek a provozním tlaku. Je to reálně nejnižší možná dosažitelná hodnota ročních reálných ztrát pro výborně udržovanou a provozovanou distribuční síť. Teoreticky nevyhnutelné ztráty se udávají v jednotkách [$l \cdot p\check{r}ip^{-1} \cdot den^{-1}$] a lze je určit buďto dle rovnice 2.7 nebo 2.8, anebo z grafu (viz Obr. 2), který vyjadřuje závislost mezi průměrným provozním tlakem v síti a hustotou přípojek na 1 km řadu. [7, 10]

$$ILI = \frac{SZ}{TNZ} [-] \quad (2.6)$$

kde ILI index ztrát infrastruktury [-]
SZ skutečné ztráty [$l \cdot p\check{r}ip^{-1} \cdot den^{-1}$]
TNZ teoreticky nevyhnutelné ztráty [$l \cdot p\check{r}ip^{-1} \cdot den^{-1}$]

Výpočet TNZ lze provést podle následujících rovnic 2.7 nebo 2.8:

$$TNZ = 18 \cdot L_m + P \cdot N_s \frac{0,8 + 25L_p}{1000} [l \cdot den^{-1}] \quad (2.7)$$

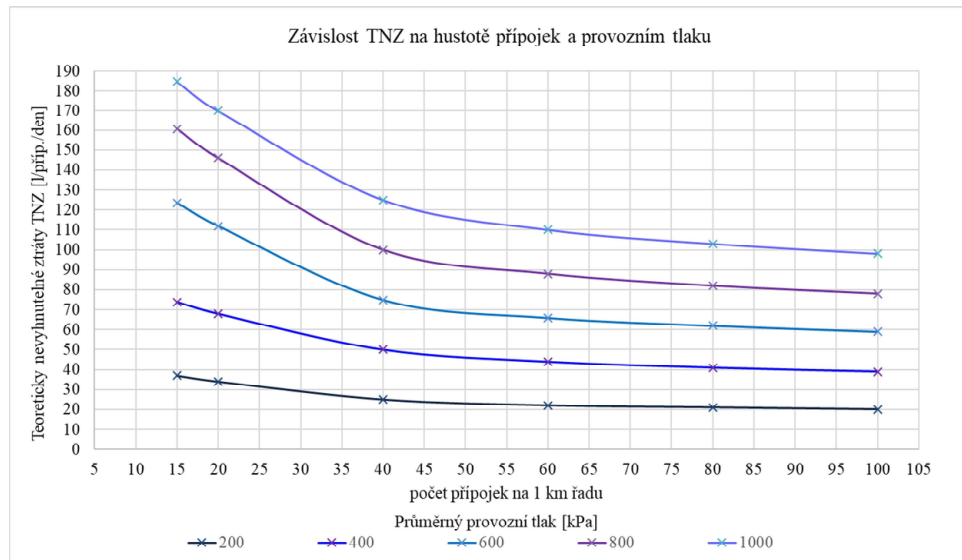
kde L_m délka vodovodních řadu [km]
P průměrný provozní tlak [m v.sl.]

N_s počet vodovodních přípojek
 L_p průměrná délka vodovodní přípojky (bráno k hranici pozemku) [m]

Nebo v případě, že zná provozovatel sítě celkovou délku vodovodních přípojek (tj. po vodoměr) lze použít pro výpočet teoreticky nevyhnutelných ztrát rovnici 2.8:

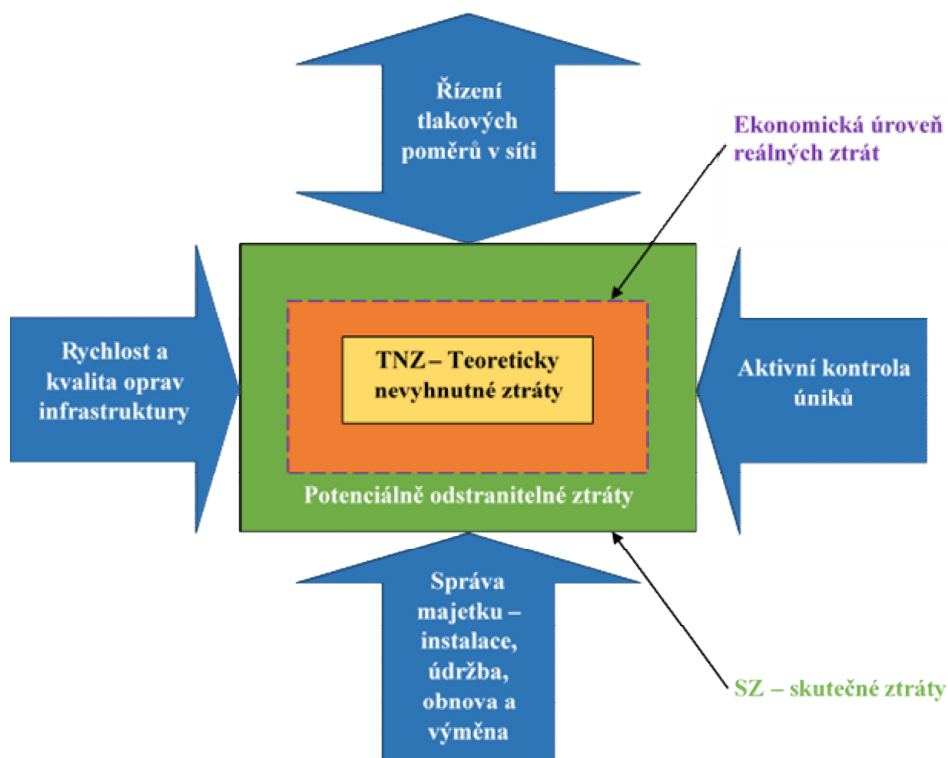
$$TNZ = (6,57 \cdot L_m + 0,256 \cdot N_c + 9,13 \cdot L_t) \cdot P \quad [m^3 \cdot rok^{-1}] \quad (2.8)$$

kde L_m délka vodovodních řadu [km]
 N_c počet vodovodních přípojek
 L_t celková délka všech vodovodních přípojek (bráno po vodoměr) [km]
 P průměrný provozní tlak [m v.sl.]



Obr. 2 Závislost teoreticky nevyhnutelných ztrát (TNZ) na počtu přípojek na 1 km řadu

Na Obr. 3 je znázorněno, jak při správném řízení následujících 4 činností (viz modré šipky) lze dosáhnout snížení velikosti skutečných ztrát z vodovodní sítě na tzv. ekonomickou úroveň reálných ztrát. Teoreticky je možné snížit hodnotu reálných ztrát až na hodnotu těch teoreticky nevyhnutelných, pak platí, že $ILI = 1,0$. Aby došlo ke zmenšení ztrát na jejich ekonomicky vhodnou úroveň musí být všechny 4 složky provozování používány s ohledem na ekonomickou úroveň činnosti. Za prioritní jsou považovány ty činnosti, u kterých je doba návratnosti investice nejvyšší, nebo ty, u kterých budoucí výhody převyšují nad velikostí investice. Příkladem těchto činností může být např. investice do výměny prasklého vodovodního řadu. Řízením tlakových poměrů v síti navíc můžeme zajistit snížení průsaků, frekvenci úniku vody, což povede ke snížení počtu poruch na síti a zvýšení životnosti potrubí a celkového zlepšení provozu sítě. [9]



Obr. 3 TNZ a SZ [9]

ILI index se dělí do čtyř základních výkonnostních kategorií A–D. Každá z kategorií se dále dělí na 2 podkategorie na základě ekonomické úrovně daného státu.

Tab. 1 Výkonnosti kategorie ILI [10]

Kat.	Podkat.	ILI	Slovní zhodnocení
A	A1	< 1,5	Další snižování ztrát je neekonomické
	A2	1,5 – 2,0	
B	B1	2,0 – 3,0	Je prostor k dalšímu zlepšování, např. řízení tlakových poměrů, údržba sítě
	B2	3,0 – 4,0	
C	C1	4,0 – 6,0	Tolerovatelné, pokud je zdroj vody vydatný a levný, i přesto je vhodné provést analýzu a potřebné opatření pro snížení úniků
	C2	6,0 – 8,0	
D	D1	8,0 – 12,0	Nehospodárné využití zdrojů; svědčí o špatném stavu a provozování systému
	D2	> 12,0	

Tyto intervaly se však mohou měnit, hlavně vzhledem k typu zástavby.

EIZ – ekonomický index ztrát

Důležitou činností provozovatele je stanovení ekonomicky akceptovatelné úrovně ztrát používaných ukazatelů ztrát vody. Akceptovatelná hodnota ztrát je taková hodnota, kdy další snižování hodnot těchto ukazatelů není pro provozovatele ekonomicky efektivní. [3]

$$EIZ = EI \cdot IZ \quad [-] \quad (2.9)$$

kde EIZ ekonomický index ztrát [-]
EI Ekonomický index [-]
IZ Index ztrát [-]

Ekonomický index může nabývat následujících hodnot uvedených v Tab. 2. Velikost EI závisí na systému dopravy vody v systému a na náročnosti surové vody na pitnou.

Tab. 2 Hodnoty ekonomického indexu EI

EI	Podmínky
0,5	voda je upravována na pitnou dvoustupňovou úpravou a je čerpána do výšky min. 50 m v.sl.
1,0	voda je upravována na pitnou dvoustupňovou úpravou, do systému je dopravována gravitačně
	voda pro posuzovaný systém vyžaduje pouze hygienické zabezpečení (resp. jednoduchou úpravu), do systému je čerpána
1,5	voda pro posuzovaný systém vyžaduje pouze hygienické zabezpečení (resp. jednoduchou úpravu), do systém je dopravována gravitačně

Index ztrát se stanovuje pro každý hydraulicky samostatný vodárenský systém nebo jen jeho část (vodovod, tlakové pásmo) v závislosti na použitém ukazateli ztrát vody, a to podle JÚVNF (viz rovnice 2.10) nebo podle ILI (viz rovnice 2.11). [3]

$$IZ = \frac{JÚVNF}{3100} \quad [-] \quad (2.10)$$

kde IZ index ztrát [-]
JÚVNF jednotkový únik vody nefakturované [m³/km/rok]

Hodnota 3100 v rovnici 2.10 vyjadřuje akceptovatelnou míru úniků vody ze systému v jednotkách [m³·km⁻¹·rok⁻¹]. [7]

$$IZ = \frac{ILI}{4} \quad [-] \quad (2.11)$$

kde IZ index ztrát [-]
ILI index ztrát infrastruktury [-]

Vyhodnocení EIZ je uvedeno v Tab. 3.

Tab. 3 Vyhodnocení ekonomického indexu ztrát

EIZ	Slovní hodnocení
< 0,8	ztráty vody ve vodovodní síti jsou po technické i ekonomické stránce přijatelné, realizace opatření pro snižování ztrát vody by bylo neekonomické a neefektivní
0,8–1,3	ztráty vody nezpůsobují významné ekonomické a provozní ztráty, realizaci opatření pro snižování ztrát vody musí předcházet ekonomické zhodnocení
> 1,3	ztráty vody způsobují značné ekonomické ztráty, je nutné provést analýzu příčin ztrát vody a realizovat opatření pro jejich snížení

2.1.4 Hodnoty ztrát v ČR

Hodnoty ztrát v českých vodárenských systémech mají ve většině případů klesající tendenci. Cílem provozovatelů je snížit úroveň ztrát na co nejnižší možnou míru.

V Tab. 4 je uveden přehled vývoje ztrát u 8 vybraných vodárenských společností v ČR. Tab. 5 ukazuje trend vývoje hodnot ukazatelů ztrát u společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.

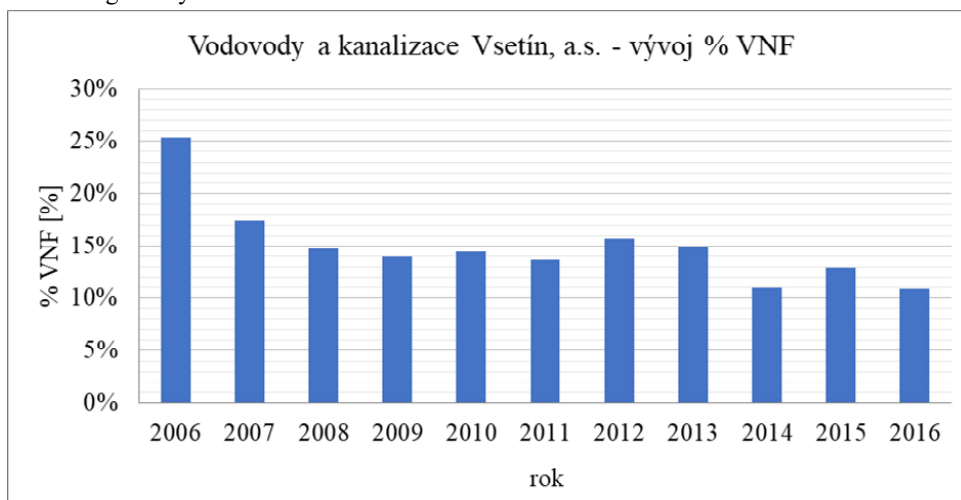
Tab. 4 Srovnání hodnot ukazatelů ztrát vybraných provozovatelů vodovodů v ČR v roce 2016

Název vodárenské společnosti	% VNF [%]	JÚVNF [m ³ .km ⁻¹ .rok ⁻¹]	VNFP [l.příp. ⁻¹ .den ⁻¹]
Brněnské vodovody a kanalizace, a. s.	9,8	1 891	148
Ostravské vodárny a kanalizace, a. s.	14,1	2 440	224
Pražské vodovody a kanalizace, a. s.	15,7	4 249	361
Severomoravské vodovody a kanalizace, a. s.	17,2	1 393	146
Severočeské vodovody a kanalizace, a. s.	26,0	1 976	247
Vodárenská akciová společnost, a. s.	15,1	796	75
Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.	10,9	680	72

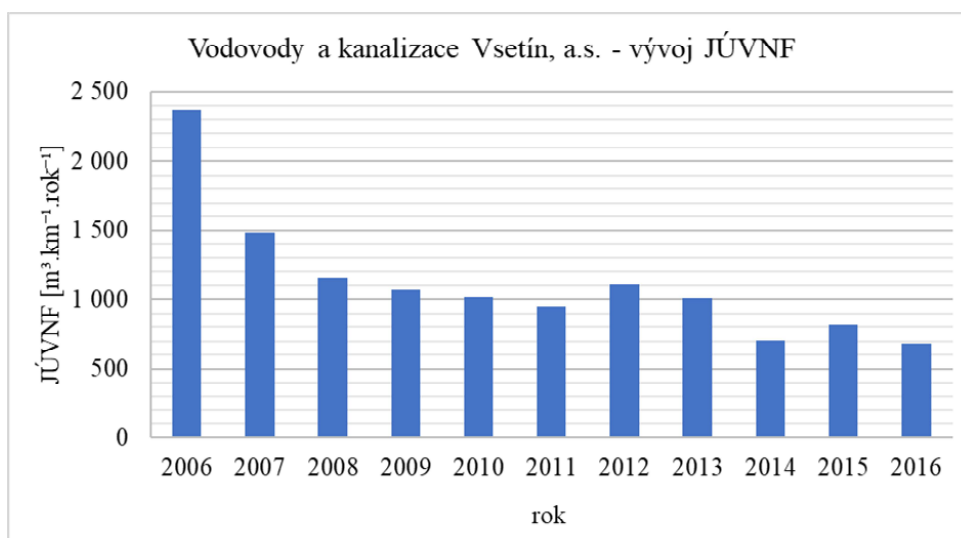
Tab. 5 Vývoj hodnot ztrát ukazatelů vody společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.

ukazatel	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
% VNF [%]	25,3	17,4	14,8	14,0	14,5	13,7	15,7	14,9	10,9	12,9	10,9
JÚVNF [m ³ .km ⁻¹ .rok ⁻¹]	2 372	1 479	1 157	1 065	1 018	947	1 105	1 005	703	813	680
VNFP [l.příp. ⁻¹ .den ⁻¹]	254	152	121	111	110	101	118	108	74	89	72

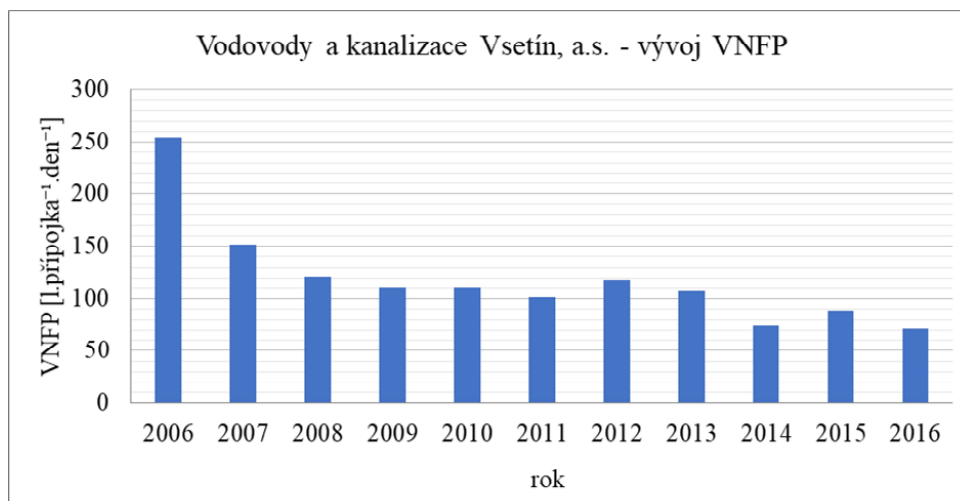
Následující grafy (Obr. 4, Obr. 5 a Obr. 6) zobrazují klesající trend hodnot uvedený výše v tabulce graficky.



Obr. 4 Vývoj hodnot % VNF společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.



Obr. 5 Vývoj hodnot JUVNF společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.



Obr. 6 Vývoj hodnot VNFP společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.

Za fakt, že v roce 2015 hodnota ztrát oproti předcházejícím rokům opět mírně vzrostla, mohou zřejmě nepříznivější klimatické podmínky (větší mrazy v zimním období), které ve spojitosti s horším technickým stavem potrubí způsobily vznik většího množství poruch na síti.

2.1.5 Skutečné a zdánlivé ztráty

V České republice jsou nejpoužívanějšími ukazateli ztrát ty, které jsou uvedeny v kapitole 2.1.3. IWA kromě skrytých a teoreticky nevyhnutelných ztrát pro stanovení ILI indexu, zavádí ve své bilanci (viz Obr. 1) také pojmy *skutečné ztráty* a *zdánlivé ztráty*. Jak už bylo řečeno, skutečné ztráty jsou veškerý objem vody, který se ztratí na trase mezi vodojemem a vodoměrem na vodovodních přípojkách odběratelů. Jedná se jak o úniky vody vlivem netěsnostmi spojů potrubí nebo vzniklými haváriemi. Za zdánlivé ztráty považujeme neautorizované odběry nebo chyby v odečtu vodoměrů. V praxi je často velmi obtížné od sebe skutečné a zdánlivé ztráty rozlišit. Skutečné ztráty by se daly charakterizovat také jako voda, která není nikým spotřebována, zatímco zdánlivé ztráty jsou ztrátou spíše jen pro provozovatele. Zdánlivé ztráty jsou tedy objem vody, který byl spotřebován, ale nebyl fakturován.

Aby bylo možné skutečné a zdánlivé ztráty stanovit, přišla společnost IWA se 2 metodikami, které nám to umožňují. Jedná se o „Top-Down“ přístup a „Bottom-Up“ přístup. Prakticky je výhodné, pokud pro rozdělení ztrát na skutečné a zdánlivé můžeme použít obě metodiky. Použití obou přístupů nám poskytne možnost si výsledky vzájemně porovnat a zkontrolovat. [11]

„Top-Down“ přístup

Výhodou tohoto přístupu je jeho rychlost, která s sebou ale přináší vysokou míru nepřesnosti, a to proto, že prvním krokem je odhadnut hodnoty zdánlivých ztrát, a to jako procentuální

množství z celkového objemu vody fakturované. Tento přístup je založen na postupném přibližování zdánlivých ztrát. [12, 13]

Na následujícím obrázku je graficky znázorněn postup stanovení skutečných ztrát podle metodiky „Top-Down“, která je popsána níže. Čísla v jednotlivých buňkách znázorňují krok, který byl proveden (respektive označují jednotlivé složky bilance dle IWA).

1 Voda vyrobená k realizaci	4 = 2 + 3 Autorizovaná spotřeba	2 Autorizovaná fakturovaná spotřeba
		3 Autorizovaná nefakturovaná spotřeba
	7 Ztráty vody	5 Zdánlivé ztráty
		6 = 7 - 5 Skutečné ztráty

Obr. 7 Metodika „Top-Down“

Postup stanovení skutečných ztrát dle metodiky „Top-Down“: [13]

- 1) určení množství vody, které vstupuje do celého systému (respektive DMA):
 - a) měřením objemu vody, která vteče do systému
 - b) odhadem množství – pokud hodnoty nejsou známy
- 2) určení množství autorizované fakturované spotřeby vody za dané období:
 - a) měřením, respektive odečtem z instalovaných vodoměrů všech spotřebitelů
 - b) odhadem množství – pro odběratele vody bez vodoměrů
- 3) odhad množství autorizované nefakturované spotřeby vody za dané období – odhad se provádí zvláště pro domácnosti, průmyslové podniky a pro další potřeby (např. požární voda a provozní voda, tj. voda pro čištění vodojemů a proplach potrubí – v ideálním případě je objem provozní vody znám)
- 4) určení množství autorizované spotřeby vody za dané období – stanovuje se jako součet objemu autorizované fakturované a nefakturované spotřeby vody
- 5) odhad množství zdánlivých ztrát – v mnoha případech, především tedy v rozvojových zemích, je tento odhad zatížen velikou chybou; aby byl odhad přesnější můžeme zdánlivé ztráty rozdělit na následující 3 části:
 - a) odhad počtu nelegálních připojení – ze zkušeností, náhodou kontrolou, na základě udání...
 - b) odhad množství ztrát způsobených nepřesnostmi měření, chybami při manipulaci nebo při přenosu dat

- c) odhad množství nefunkčních vodoměrů, které nezaznamenávají žádný odběr – množství nefunkčních zařízení by mělo být určeno během odečítání hodnot vodoměrů
- 6) stanovení objemu skutečných ztrát vody, a to jako rozdíl celkových ztrát vody a zdánlivých ztrát

Největší nevýhodou tohoto přístupu je jeho zatížení velkou nejistotou a možností vzniku chyb. Tento přístup nemůže být použit v rozvojových zemích, a to proto, že tamní provozovatelé vodovodních sítí nemohou poskytnout dostatečně spolehlivé údaje (skutečně naměřené objemy i odhady), aby tato metodika poskytla spolehlivé výsledky. Hodnota reálných ztrát získaná touto metodou je ve většině případů zatížena chybou větší než 30 %. I ve vyspělých zemích, kde je provozování vodovodů na velice dobré úrovni a provozovatel má k dispozici relativně přesná data, jsou výsledky této metodiky jen zřídka zatíženy chybou menší než 15 %. [13]

„Bottom-Up“ přístup

Tento přístup na rozdíl od předchozí metody vyžaduje kvalitní a podrobnější informace o vodovodní síti, zároveň také vyžaduje, aby byla síť rozdělena na jednotlivé DMA (pro získání lepších a přesnějších výsledků). Jedním ze vstupů jsou i naměřené hydraulické veličiny, konkrétně minimální noční průtoky (MNP). To je důvodem, proč je tato metoda dražší a zároveň přesnější a složitější. Problém, který u této metody může nastat, je ve správném určení 3 složek MNP, kterými jsou skutečná noční spotřeba, teoreticky nevyhnutelné ztráty a skutečné ztráty. Chyba může nastat při určování skutečné noční spotřeby, která nemusí být chybou měřicího přístroje správně zaznamenána. Tato nepřesnost v měření představuje zdánlivé ztráty. Ale pokud jsou skutečné ztráty extrapolovány z hodnoty MNP, existuje riziko, že tyto zdánlivé ztráty budou brány jako velký podíl skutečných ztrát. Také existuje riziko, že tyto ztráty měřením budou započteny dvakrát, a to jako ztráty reálné i zdánlivé. Tuto možnost je nutné vzít v úvahu při sestavování bilance ztrát. [11]

Vznik chyby při určování skutečné noční spotřeby je v českých podmínkách poněkud irelevantní, jelikož běžní odběratelé (tj. domácnosti) nemají na svých vodovodních přípojkách osazen průtokoměr s dataloggerem, který by zaznamenával aktuální hodnotu průtoku. Dataloggerem nejsou opatřeny například ani vodoměry na přípojkách bytových domů, které se množstvím odebrané vody řadí mezi velkoodběratele, a ve většině případů jsou na tom podobně i další velkoodběratelé a ostatní odběratelé. Skutečná noční spotřeba se proto stanovuje na základě určitých předpokladů, které jsou popsány v kapitole 3.5.1.

Dále je nutné při stanovování ztrát touto metodou vzít v úvahu změnu tlaku v síti během dne. Proměnlivost tlaku bere v úvahu tzv. denní faktor neboli NDF (Night-Day Factor). [11]

Před započítáním analýzy je nutné: [14]

- zkontrolovat aktuálnost mapových systémů,
- ověřit rozmístění, správnou funkčnost a nastavení všech měřicích zařízení a případně provést jejich kalibraci (u spotřebitelů i na vstupních uzlech do DMA),

- ověřit a zaktualizovat všechny údaje o spotřebě vody, tj. množství vody fakturované i nefakturované, včetně odhadu autorizovaných neměřených odběrů – pokud tyto údaje nejsou známy.

Přístup „Bottom-Up“ lze rozdělit do následujících kroků: [14]

- 1) určení množství vody vstupující do systému (nebo DMA) – zahrnuje tyto kroky:
 - a) identifikace zdroje a aktualizace mapových podkladů – v rámci tohoto kroku je nutné navštívit každý zdroj (vodojem, počáteční uzel DMA) a zaznamenat základní informace o měřicím zařízení, tj. typ vodoměru, identifikační číslo, četnost odečtu, profil potrubí, datum poslední kalibrace aj.
 - b) měření množství vody u každého zdroje – cílem je stanovení celkového množství vody vstupující do systému a určení celkového množství vody vyrobeného ve všech zdrojích v průběhu měřicího období; v rámci tohoto kroku se musí provést:
 - kontrola zdrojových objektů včetně zde umístěných měřidel
 - přehled záznamů o produkci vody
 - kontrola čerpacích stanic včetně zde umístěných měřidel
 - identifikace problémů na přívodních řadech
 - určení množství provozní vody na ÚV (pro praní filtrů apod.)
 - stanovení nákladů na výrobu vody (ceny chemikálií, el. energie apod.)
 - c) vyhlazení vstupních dat – surová vstupní data, která mohou být zatížena chybou měření vodoměru se takzvaně vyhladí, např. podle pravidla 3σ nebo jinou statistickou metodou
- 2) určení měřené autorizované spotřeby vody, tj. vody, která byla dodána odběratelům (domácnostem, velkoodběratelům i všem ostatním odběratelům) a která byla fakturována; aby byl tento krok možný, je nutné provést:
 - a) identifikaci spotřebitele – každý provozovatel by měl ve svůj vlastní prospěch vlastnit seznam odběratelů, ve kterém by u každého odběratele bylo zaznamenáno, jaký typ vodoměru je na dané přípojce osazen, dále by měl seznam obsahovat DN vodoměru, identifikační číslo a datum instalace nebo posledního ocejchování vodoměru
 - b) měření množství vody – měření probíhá v určitém období (např. od 1.1. do 31.12. určitého roku) a za toto období se stanoví veškerá spotřeba vody, proto je nutné, abychom měli k dispozici veškerá data patřící do tohoto časového intervalu (pokud tomu tak není, je potřeba provést korekci měřených dat nebo změnit dobu trvání měřené kampaně)
 - c) kontrola vodoměrů – jelikož je na síti umístěno velké množství vodoměrů, nevyplatilo by se provádět kontrolu všech zařízení každý rok, proto se vodoměry o profilu větším než 50 mm kontrolují tzv. na místě a vodoměry menšího profilu se kontrolují náhodně

- 3) odhad autorizované neměřené spotřeby vody – množství musí být odhadnuto velice pečlivě, jedná se například o vodu odebíranou pro hašení požáru, voda na proplach sítě, zavlažování veřejných prostorů, mytí ulic apod., celkové množství vody musí být rozděleno mezi tyto uvedené a další činnosti; tento krok zahrnuje dvě dílčí činnosti:
 - a) identifikaci autorizované nefakturované měřené a neměřené spotřeby vody
 - b) posouzení autorizované nefakturované měřené a neměřené spotřeby vody – tato činnost zahrnuje rozdělení celkového množství vody do jednotlivých kategorií podle účelu, pro který byla voda použita (požární výcvik, hašení požáru, čištění ulic, proplach potrubí, zavlažování veřejných prostor, fontány a veřejné bazény apod.)
- 4) stanovení množství vody nefakturované – v tomto kroku dochází ke stanovení množství vody, které se ze systému ztratilo (tj. objem zdánlivých ztrát), a kolik % z tohoto celkového objemu jsou skutečné ztráty
 - a) identifikace potenciálních ztrát vody – největší část ztrát se přisuzuje např.: chybám při výpočtu, tzv. černým odběrům a neoprávněným připojením na síť, nedostatečnou kontrolou, únikem z vodojemů, zjištěné úniky a další úniky
 - b) vyhodnocení ztrát – v tomto kroku se provádí posouzení ztrát způsobených známými příčinami
 - c) měření průtoku a tlaku – měření tlaků se provádí v případě, kdy se rozhodneme odstranit ze sítě nepotřebný úsek potrubí, a to buď fyzicky nebo instalací uzavíracích ventilů na začátku a na konci daného úseku, čímž snížíme možnost úniku vody z tohoto úseku; tlak měříme proto, abychom zjistili, jestli tento zásah nezpůsobí náhlou změnu tlaků, který by mohly negativně ovlivnit ostatní odběratele
 - d) detekce nelegálních odběrů a odstranění tzv. černých přípojek – množství vody a počet nelegálních přípojek se odhaduje na základě počtu zjištěných nelegálních připojení během 1 roku nebo na základě zkušeností provozovatele, tyto údaje by měly být pro úplnost porovnány s počtem bytových jednotek; tyto informace slouží k určení % neautorizované nefakturované spotřeby
 - e) analýza fakturačních údajů – chybám v procesu fakturace by se dalo předejít analýzou dat, díky čemuž bychom mohli přijít na neobvyklé chování spotřebitelů (náhlý nárůst nebo pokles spotřeby), pokud by se ukázalo, že instalovaný vodoměr neposkytuje přesné výsledky, spotřeba vody by se určila na základě předchozích bezchybných měření a podle počtu členů v domácnosti
 - f) analýza majetkového managementu, při které vedení provozní společnosti rozhodně o případných změnách při provozu a údržbě sítě a dohodne se na dalších postupech pro výměnu nebo opravu infrastruktury
- 5) analýza výsledků bilance vody
 - a) identifikace opravitelných úniků – nejdříve se musí stanovit celkový % podíl úniku a z něj následně určit % opravitelných úniků

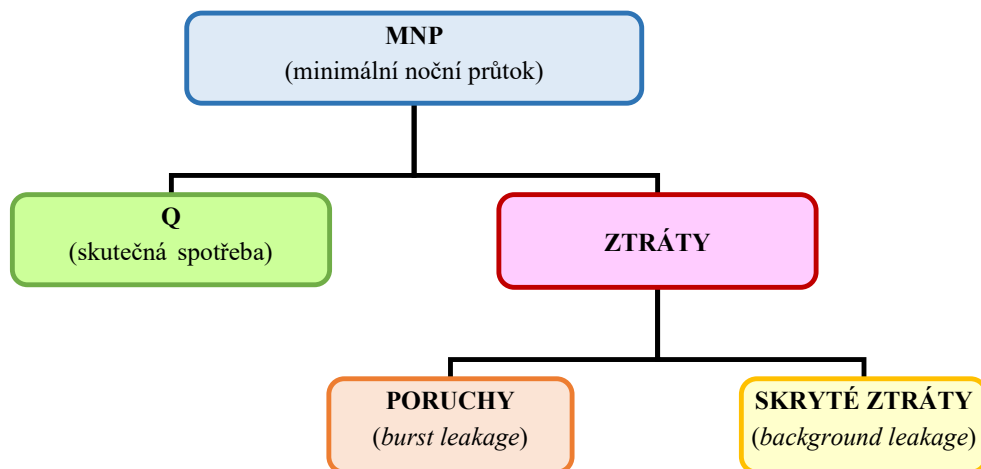
- b) bilance nákladů vyložených na opravu úniků a potencionálních výnosů, které bychom získali tím, že zabráníme úniku
 - c) stanovení nákladů na opravu netěsností
 - d) odhad nákladů na zjišťování netěsností
- 6) prezentace výsledků

Postup metodiky „Bottom-Up“ nerozlišuje autorizovanou spotřebu vody primárně na fakturovanou a nefakturovanou, ale na měřenou a neměřenou. Krok 3 – stanovení autorizované neměřené spotřeby v sobě zahrnuje identifikaci autorizované nefakturované měřené i neměřené spotřeby. Je nutné dát si pozor, aby množství neměřené autorizované spotřeby nebylo někde započítáno dvakrát, k tomu slouží krok 3b a 4e. Voda nefakturovaná se stanoví jako součet dílčích zdrojů.

2.2 MINIMÁLNÍ NOČNÍ PRŮTOKY

Nejmenší průtoky nastávají ve vodovodní síti v nočních hodinách, (mezi 01:00 a 04:00), a to z důvodů nízké aktivity obyvatelstva. Voda je v tomto období odebírána ve větší míře průmyslovými podniky s nočním směnným provozem, stavbami občanské vybavenosti (bary, hospody, hotely) a v menší míře domácnostmi. Poté pozvolna nastává ranní špička spotřeby vody (mezi 06:00 a 08:00).

Noční průtok je složen ze dvou hlavních složek, a to ze skutečné spotřeby a ztrát vody. Za skutečnou spotřebu považujeme množství vody, které je skutečně odebráno spotřebiteli a je zaznamenáno vodoměry a následně fakturováno. Rozdíl mezi nočním průtokem a skutečnou spotřebou jsou ztráty vody, které jsou způsobeny netěsnostmi potrubí, chybou měření vodoměrů nebo neautorizovanými odběry. Tyto ztráty se pak dále dělí na skryté úniky (*background*) a úniky vlivem poruch (*burst leakage*). Celkem jsou minimální noční průtoky tvořeny 3 složkami.



Obr. 8 Schématické rozdělení MNP na dílčí složky

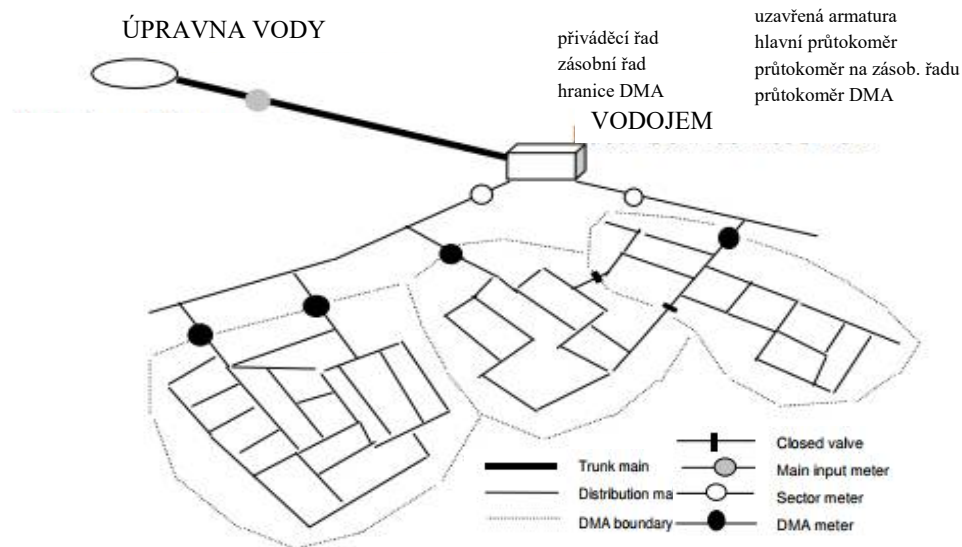
2.3 MĚŘENÍ MNP

Vyhodnocování minimálních nočních průtoků se provádí pro hydraulicky oddělená tlaková pásma, označovaná zkratkou DMA. Měřicí zařízení, která jsou podrobněji popsána v kapitole 2.3.3, mohou zaznamenávat hodnotu průtoků za různou časovou jednotku. Pro stanovení MNP se ale nejvíce používá interval 1 hodiny. Dále se pak v závislosti na tom, jestli se jedná o jednoduchý DMA (tj. DMA, který je vodou zásobován jen z jednoho zdrojového uzlu opatřeného vodoměrem) nebo složený DMA (voda je do DMA přiváděna přes více než jeden zdrojový uzel, a počet měřících vodoměrů je tedy 2 a více) stanovuje minimální noční průtok odlišně. Pro jednoduchý DMA je MNP dán hodnotou minimálních průtoků změřených právě jedním zařízením, pro složený DMA je výsledný MNP ten nejmenší ze skupiny naměřených MNP. [4]

2.3.1 District Metered Area – DMA

Měřicí okrsky (DMA) jsou řešením pro snadnější kontrolu úniků v síti. Vytvořením DMA dojde k rozdělení vodovodního distribučního systému složeného i s několika stovkami nebo tisíci kilometry potrubí na menší oblasti, ve kterých je lokalizace prasklin a úniků vody snadnější a rychlejší. Pro každý DMA je známo množství vody, které do něj vtéká, a zároveň je známa hodnota celkové spotřeby vody. Rozdíl mezi těmito hodnotami jsou ztráty vody. Měřicí okrsek je definován jako hydraulicky oddělené tlakové pásmo, které je od zbytku vodovodní sítě odděleno uzavřenými armaturami na hranici sousedících okrsků anebo je tvořen potrubím, které je trvale odpojeno od vedlejšího pásma, případně s ním není nijak spojeno. [4]

Obr. 9 graficky znázorňuje, jak může být síť na jednotlivé měřicí okrsky rozdělena.



Obr. 9 Typické uspořádání DMA [4]

2.3.2 Navrhování DMA

Během mnoha let vývoje došlo k vytvoření několika empirických postupů pro navrhování DMA, které při návrhu zahrnují velké množství kritérií jako např.: velikost okrsku, provozní tlak, míru úniku, kvalitu vody, náklady, spolehlivost a další. Pro návrh DMA je důležité nejdříve stanovit hranice okrsku a určit měřicí místa. Vzhledem ke složitosti tohoto procesu byl dlouho návrh DMA založen především na metodě pokus-omyl a vhodnost návrhu se ověřovala hydraulickou simulací na matematickém modelu. [15]

Při návrhu DMA se snažíme rozdělit distribuční síť na takový počet dílčích DMA, aby bylo možné sledovat přítok do každého okrsku, mohly se tak identifikovat nenahlášené poruchy a pak s jistotou přesností vyčíslit velikost ztrát. Dále by měl být DMA navržen tak, aby mohl být provozován v optimálním tlakovém režimu. [4]

Ideální provozní tlak ve vodovodních systémech je 0,35–0,45 MPa. [8]

V závislosti na charteru sítě mohou být měřicí okrsky:

- zásobeny jedním zdrojovým potrubím (ideálně),
- zásobeny více potrubími,
- navrženy jako diskrétní vymezené území (do sousedního DMA není žádný odtok),
- navrženy jako kaskádové (je-li to možné nepoužívá se). [18]

Při návrhu měřících okrsků by měly být vzaty v úvahu následující kritéria:

- návratnost investice do vytvoření DMA,
- velikost (geografická oblast a počet vodovodních přípojek),
- druh zástavby – malé obce, individuální, městská, sídlištní,
- geografické poměry,
- kvalita vody,
- tlakové poměry,
- potřeba požární vody,
- počet armatur, které budou uzavřeny;
- počet průtokoměrů, které budou použity k monitorování přítoku do okrsků,
- technický stav sítě a další...

Hlavní řídicím faktorem pro tvorbu měřících okrsků je požadavek na to, aby nedošlo ke snížení kvality služeb poskytovaných odběratelům. Tato podmínka je důležitá hlavně tam, kde už provozní tlak relativně nízký je. Jeho další snížení by mohlo způsobit, že v určitých místech sítě by nemusely být dodrženy požadavky na minimální hydrodynamický tlak.

Při tvorbě hranic měřících okrsků je výhodnější vytvářet hranice osazováním uzavíracích armatur než oddělovat potrubí řezáním a osazením zaslepovacích armatur. Případné změny provozních podmínek a tlakových poměrů v síti mohou vést k novému návrhu DMA a posunu

hranic měřicího okrsku. Změna hranice DMA je jednodušší, pokud je tvořena uzavírací armaturou, která se může podle potřeby jednoduše otevřít nebo zavřít. [4]

Při návrhu DMA existuje vztah mezi jeho velikostí a velikostí investičních nákladů na jeho tvorbu. Čím menší okrsky chceme na vytvořit, tím více finančních prostředků potřebujeme – potřebujeme větší počet uzavíracích armatur a zároveň se zvyšuje počet vstupních uzlů, které musí být osazeny měřidly. S větším počtem armatur rostou i náklady na údržbu. Menší měřicí okrsky však mají své výhody a je třeba zvážit, je-li jejich vytvoření ekonomicky přijatelné.

Výhody menších měřicího okrsků jsou například:

- rychlejší identifikace nových úniků,
- pomocí MNP mohou být odhaleny menší úniky,
- rychlejší lokalizace úniků (menší DMA → menší zkoumaná oblast). [16]

Na základě těchto uvedených výhod se zkracuje doba trvání poruchy nebo úniků vody, což vede ke zmenšení objemu ztrát vody a tím i vody nefakturované.

Velikost měřicího okrsku by se měla pohybovat mezi 500 a 3 000 bytovými jednotkami. U měřicího okrsků s více než 5 000 bytovými jednotkami se vytrácí schopnost detekce menších poruch pomocí minimálního nočního průtoků a doba potřebná ke zjištění a lokalizaci poruchy se značně zvyšuje. Naopak u systémů ve špatném technickém stavu, kde je šance vzniku poruchy vyšší, je vhodné navrhovat měřicí okrsky s méně než 500 bytovými jednotkami. [16]

Alternativně může být velikost okrsku určena na základě délky potrubí, a to především v oblastech s řídkou hustotou zástavby. V tomto případě by měla velikost okrsku odpovídat 5–20 km délky řadu. V měřicího okrsku by také měl být podobný druh zástavby, stejný druh trubního materiálu a podobné stáří materiálu. [16]

Měřicí okrsek je charakterizován dle hustoty zástavby následujícím vztahem:

$$C = \frac{BJ}{L} \quad [-] \quad (2.14)$$

kde C charakter měřicího okrsku [-]
BJ počet bytových jednotek [ks]
L délka zásobovacích řadů a rozvodné sítě [km]

Tab. 6 Charakteristika měřicího okrsku dle hustoty zástavby [7]

Hodnota C	Charakter měřicího okrsku
0–50	Skupinové vodovody malých obcí
50–150	Individuální zástavba
150–250	Smíšená městská zástavba
450–650	Sídlištní zástavba

Zásady pro navrhování měřících okrsků [7]:

- stejnorodý charakter zástavby,
- ideálně stejný materiál potrubí,
- přibližně stejné stáří potrubí,
- velikost okrsku 500–3 000 bytových jednotek,
- délka potrubí celkem 5–20 km
- každý DMA má nejlépe jen 1 napájecí uzel s měřením průtoku.

2.3.3 Měřící technika

Použitý průtokoměr musí umožnit přesné měření i při nízkých průtocích, a to, aniž by způsoboval výrazné tlakové ztráty v období běžných a maximálních denních průtocích. [4]

Výběr velikosti a typu měřidla závisí na:

- dimenzi potrubí,
- rozsahu průtoků,
- velikosti tlakových ztrát během špičky,
- požadavku zpětného průtoku
- přesnosti a spolehlivosti,
- možnosti přenosu dat,
- nákladech na pořízení a následnou údržbu,
- preferencích pořizovatele (vodárenské společnosti).

Doporučená měřící technika

Ultrazvukové průtokoměry pracují na principu rozdílu doby průletu ultrazvukového signálu ve směru pohybu měřeného kapalného média. Průtokoměr se skládá z měřícího úseku se zabudovanými ultrazvukovými sondami a z příslušné vyhodnocovací elektroniky. Vyhodnocovací elektronika zajišťuje napájení čidel a vyhodnocení signálu o průtoku měřeného kapalného média. Je opatřen displejem, na kterém je zobrazován okamžitý měřený průtok a údaj o celkovém proteklém množství vody. Jejich pořizovací náklady jsou nižší než u indukčních průtokoměrů. Při jejich instalaci není nutné mechanicky zasahovat do potrubí.

Indukční (magneticko-indukční) průtokoměry jsou nepřesnějším druhem zařízení na měření průtoku. Pracují na principu snímání indukovaného napětí, které vzniká při pohybu kapaliny v magnetickém poli, a které je přímo úměrné střední profilové rychlosti proudění. Průřezový profil těchto vodoměrů je bez jakéhokoli zúžení nebo překážek, takže nevytváří žádnou místní tlakovou ztrátu. Jejich nevýhodou je vysoká pořizovací cena a v mnoha případech vyžadují externí zdroj energie.



Obr. 10 Vodoměrná šachta spotřebiště Vsetín, TP 99 regulátor Sychrov DTP – indukční průtokoměr za redukčním ventilem, bez napojení na datalogger

Šroubové (*Woltmanovy*) vodoměry jsou z hlediska přesnosti měření také vhodnou volbou. Výhodou tohoto typu vodoměru je to, že nenavyšuje tlakové ztráty v potrubí, do kterého je vložen. Tyto vodoměry mají rotor se šroubovitě tvarovanými lopatkami, směr proudění je axiální. Tyto vodoměry však nejsou uzpůsobeny zpětným průtokům. [17]

Samostatnou kategorií tvoří *dataloggery* sloužící pro sběr a ukládání naměřených dat. Datalogger buď sám shromažďuje naměřené údaje anebo je to pouze prostředník mezi snímacími senzory a počítačem. Ve vodárenství využívány pro měření průtoků, tlaků, hladin, akustických šumů. [18]

2.3.4 Smart metering

Smart metering (doslovný překlad *chytré měření*) v oblasti vodárenství představuje automatický dálkový odečet různých provozních veličin – průtoků, úrovní hladin ve vodojemech, tlaků v síti nebo vybraných ukazatelů kvality vody.

Reálně v provozu při monitoringu vodovodní sítě (např. pokud potřebujeme získat data pro provedení analýzy průtoků nebo tlaků) může dojít ke vzniku těchto situací, kdy jsou jednotlivé DMA opatřeny:

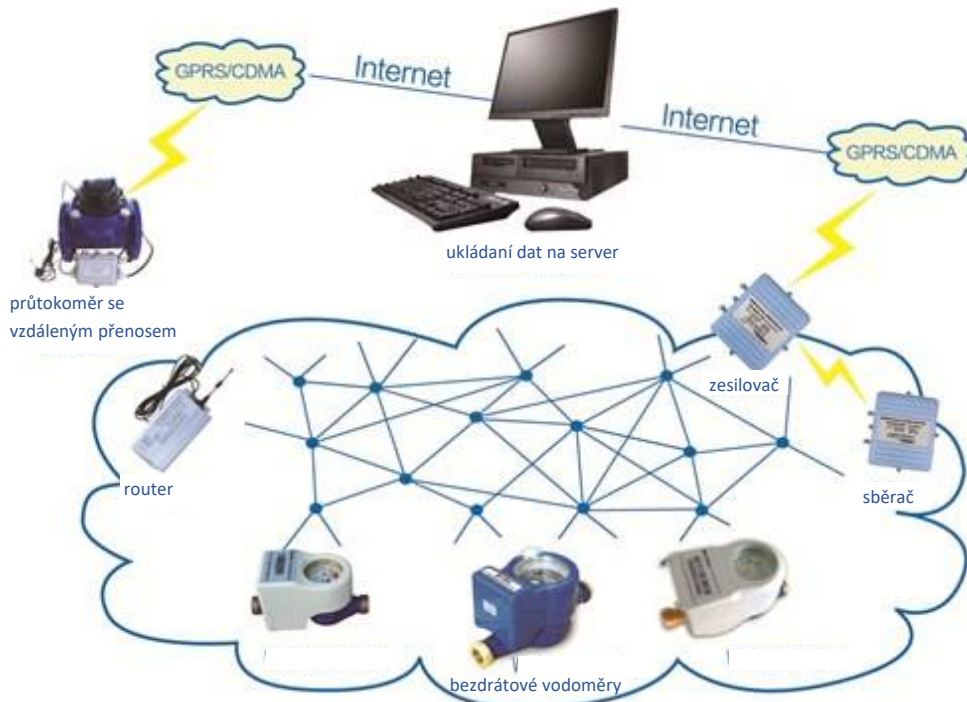
- zařízením pro kontinuální měření a přenos dat – jedná se o ideální stav – měřidla jsou naistalována trvale, snímaná data jsou přenášena a na serveru ukládána kontinuálně,
- průtokoměrem bez přenosu dat – řešením této situace je připojení dataloggeru na měřící zařízení,
- okrsky jsou bez průtokoměrů – špatná situace – řešením je osazení stabilního průtokoměru anebo mobilních průtokoměrů, a to po dobu, po kterou chceme získávat data. [18]

Většina měřících okrsků v České republice je na odtoku z vodojemů, úpraven vody nebo v ČS opatřena průtokoměrem s automatickým záznamem dat. V případě měření skutečné spotřeby vody není situace v ČR už tolik ideální. Spotřeba vody se ve většině případů z vodoměrů odečítá tzv. ručně, a tak vzniká veliký prostor pro vznik chyb způsobených selháním lidského faktoru, anebo data o spotřebě vody zcela chybí. Dálkový odečet je řešením těchto nedokonalostí ručního odečtu. Předpokladem pro aplikaci dálkového odečtu je plně elektronický nebo mechanický vodoměr, který je vybaven rozhraním. [19]

Při každém odečtu vodoměr odesílá balíček informací, který obsahuje následující údaje:

- aktuální hodnota na počítadle vodoměru,
- stav vodoměru k prvnímu dni aktuálního měsíce; případně rovněž maximální průtok během předchozího úplného měsíce,
- aktivní informační kód (např. netěsnost),
- informační kódy, které byly aktivní během posledních 30 dní. [20]

Dálkový odečet může probíhat v režimu online nebo off-line (nebo také *walk-by*) režimu. Při off-line odečtu se k notebooku připojí radiomodul, pomocí kterého dojde k odečtu vodoměrů, zaznamenání dat. Při online odečtu jsou vodoměry opatřeny zapnutým radiomodulem, který vysílá požadovaná data v pravidelných intervalech. V příslušném datacentru jsou data ukládána na příslušný server a pomocí speciálních aplikací lze data sledovat v reálném čase (tj. online) anebo si je vyhledávat zpětně. [24]



Obr. 11 Příklad dálkového odečtu vodoměru [21]

2.4 VYHODNOCENÍ MNP

Účelem vyhodnocení MNP je rozdělení tohoto průtoku na jednotlivé 3 složky. Minimální noční průtoky jsou pro vyhodnocení ztrát přesnější než vyhodnocování z bilance vody. Při vyhodnocování MNP mohou vznikat chyby a je tedy potřeba dát si pozor a jejich vzniku se vyvarovat. Denní únik zjištěn z bilance vody nelze pro převod na hodinové množství vydělit 24 (tj. 24 hodinami) a také hodinový únik nelze vynásobit 24 abychom získali denní hodnotu úniku. Tento přístup lze použít jen v případě, že by v měřícím okruhu byl tlak konstantní po dobu 24 hodin, protože míra úniku se mění se změnou tlakových poměrů v potrubí.

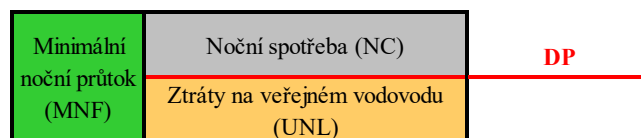
Při převodu hodinového úniku na denní je potřeba hodnotu úniku vynásobit tzv. denním faktorem (NDF), který je více popsán v kapitole 2.4.3. [4, 22, 23]

2.4.1 Úrovně dekompozice MNP

Minimální noční průtoky můžeme rozkládat podle 5 schémat o různé podrobnosti, kdy 1. stupeň je nejprimitivnější a 5. stupeň je nejdetailnější. Platí tedy, že s vyšší úrovní dekompozice se zvyšují nároky na znalost vstupních údajů, ale zároveň zvyšuje přesnost určeného MNP. [25]

1. stupeň rozkladu

Jedná se o nejméně podrobný a nejjednodušší stupeň rozkladu. *Minimální noční průtok MNF* (Minimum Night Flow), je rozdělen na *noční spotřebu NC* (Night Consumption) a *ztráty na veřejném vodovodu UNL* (Utility Night Leakage).



Obr. 12 1. stupeň rozkladu MNP [25]

Hodnota ztrát se určí odečtením odhadnuté noční spotřeby od naměřeného MNP, dle vzorce:

$$UNL = MNF - NC \quad (2.15)$$

kde UNL Ztráty na veřejném vodovodu
MNF Minimální noční průtoky (v ČR zkratka MNP)
NC Noční spotřeba vody (v této práci označeno také jako Q_{NS})

Většina průtokoměrů zaznamenává průtok v jednotkách [l/s], pro analýzu minimálních nočních průtoků je vhodné převést průtok změřen v l/s je na m³/hod, platí: 1 l/s = 3,6 m³/hod.

Červená čára s označením DP (Delivery Point) je *místo předání vody*. Tento bod je umístěn na vodovodní přípojce a je to hranice toho, kdy se únik vody již zahrnuje do spotřeby vody. Za místo předání vody může být považována vodoměrná šachta s vodoměrem, kde dochází k rozdělení vnitřního vodovodu a přípojky (viz Obr. 47). Jenže může nastat situace, že

případný únik vznikne na vodovodní přípojce (tj. ještě před vodoměrem), ale již za hranici soukromého pozemku, kde je již přípojka ve správě majitele připojené nemovitosti. V tomto případě způsobuje únik škodu provozovateli, který ale nemůže podniknout žádná technická opatření. Neexistuje tedy přesné určení, která část vodovodní přípojky je *místo předání vody*, v ideálních případech by vodoměrná šachta s vodoměrem byla umístěna těsně na hranici soukromého a veřejného pozemku a *místo dodávky vody* by tedy byla vodoměrná šachta.

2. stupeň rozkladu

V tomto stupni je *noční spotřeba NC* rozdělena do dvou složek, a sice na *skutečnou spotřebu NU* (Night Use) a *ztráty vody na vnitřním vodovodu CNL* (Customer Night Leakage). Červená čára s označením **DP** (Delivery Point) je *místo předání vody*.

Ztráty vody se určí stejně jako v 1. stupni rozkladu podle rovnice 2.15.



Obr. 13 2. stupeň rozkladu MNP [25]

3. stupeň rozkladu

V této úrovni podrobnosti jsou skutečná spotřeba, ztráty na přípojce i ztráty na veřejném vodovodu rozděleny do dvou hlavních složek (viz Obr. 14). Ztráty na veřejném vodovodu jsou odvozeny odečtením noční spotřeby od minimálního nočního průtoku, stejně jako v předchozích stupních podle rovnice 2.15. Noční spotřeba se skládá ze skutečné spotřeby a ztrát vody na vnitřním vodovodu.

Skutečná spotřeba NU je tvořena *mimořádným nočním odběrem ENU* (Exceptional Night Use), tj. součtem individuálních odběrů nad stanovenou hodnotu, např. 100 l/hod, a *odhadnutou noční spotřebou ANU* (Assessed Night Use), která je součtem malých individuálních odběrů menších než hraniční hodnota odběru.

Ztráty na vnitřním vodovodu mimo budovu CNLO (Customer Night Leakage Outside Buildings) jsou způsobené prasklinami v potrubí nebo netěsnostmi spojů, příčinou *ztráty na potrubí uvnitř budovy CNLI* (Customer Night Leakage Inside Buildings) jsou většinou ukapávající kohoutky. Dále platí, že ztráty mimo budovu jsou větší než ty uvnitř budovy.

Ztráty na veřejném vodovodu UNL se rozdělují na *zjistitelné úniky DL* (Detectable Bursts Leakage), které mohou být viditelné nebo neviditelné, a *nezjistitelné skryté úniky BL* (Undetectable Background Leakage), které nejsou viditelné a akustickými metodami zjistitelné.

Minimální noční průtok (MNF)	Noční spotřeba (NC)	Skutečná spotřeba (NU)	Mimořádný noční odběr (ENU)	DP
			Odhadnutá noční spotřeba (ANU)	
		Ztráty na vnitřním vodovodu (CNL)	Uvnitř budov (CNLI)	
			Mimo budovy (CNLO)	
	Ztráty na veřejném vodovodu (UNL)	Zjistitelný únik (DL)		
		Nezjistitelný skrytý únik (BL)		

Obr. 14 3. stupeň rozkladu MNP [25]

Jednou z možností, jak stanovit noční spotřebu je analýza skutečně naměřených nočních průtoků. Pokud máme k dispozici spotřebu všech napojených objektů (domácností, ostatních odběratelů i velkoodběratelů), můžeme tato data analyzovat a následně určit průměrnou noční spotřebu na vhodně zvolenou referenční jednotku (např. vodovodní přípojka, bytová jednotka nebo osoba). Tento způsob je ale proveditelný jen při relativně malém počtu napojených nemovitostí. V případě větších měřicích okrásků s větším počtem přípojek se noční spotřeba stanovuje pomocí odhadu % aktivních obyvatel během noci a odhadu specifického nočního odběru (více viz kapitola 3.5.1.). Jednotlivé složky noční spotřeby nejsou fixní, jsou závislé na ročním období, dnu v týdnu, typu dne (pracovní den nebo den pracovního klidu), času během dne anebo době trvání měření nočního průtoků.

Pro stanovení noční spotřeby neexistuje žádný standartní mezinárodní postup, a to z důvodů často velkým rozdílům v životním stylu jednotlivých národů ale také kvůli nejednotnému používání jednotek, metodik a bilancí pro vykazování spotřeby vody. [25, 26]

4. stupeň rozkladu

Na Obr. 15 je zobrazeno rozdělení 4. úrovně podrobností, která podrobněji specifikuje jednotlivé složky, které byly určeny v předchozím stupni.

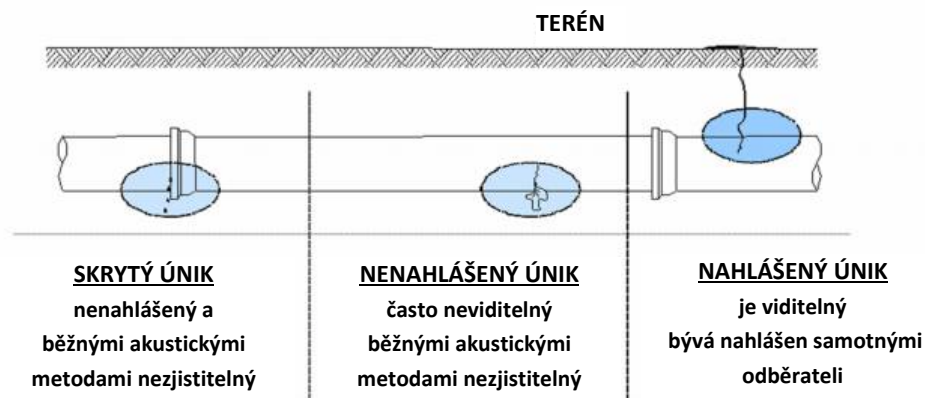
Minimální noční průtok (MNF)	Noční spotřeba (NC)	Skutečná spotřeba (NU)	Mimořádný noční odběr (ENU)	Vodovod	DP
			Odhadnutá noční spotřeba (ANU)	Domácnosti	
		Ztráty na vnitřním vodovodu (CNL)	Uvnitř budov (CNLI)	Ostatní	
			Mimo budovy (CNLO)	Domácnosti	
	Ztráty na veřejném vodovodu (UNL)	Zjistitelný únik (DL)	Nenahlášené poruchy (DLU)		
		Nezjistitelný skrytý únik (BL)	Nahlášené poruchy - neopravené (DLR)		
			Na přípojce (BLS)		
				Na vodovodu (BLM)	

Obr. 15 4. úroveň rozkladu MNP [25]

Mimořádný noční odběr ENU je rozdělen na vlastní spotřebu vodovodu, spotřebu pro domácnosti a spotřebu pro ostatní odběratele. *Odhadnutá noční spotřeba ANU* je rozdělena na spotřebu pro domácnosti a spotřebu pro ostatní odběratele. Mezi ostatní odběratele patří jiní drobní odběratelé i velkoodběratelé.

Zjistitelný únik DL je rozdělen na *poruchy nenahlášené DLU* (Detectable Unreported Bursts Leakage) a na poruchy sice *nahlášené*, ale stále *neopravené DLR* (Detectable Reported Bursts Leakage, not yet repaired).

Nezjistitelné skryté úniky BL jsou rozděleny na *úniky na vodovodu BLM* (Background Leakage on mains) a *úniky na vodovodní přípojce BLS* (Background Leakage on service connection).

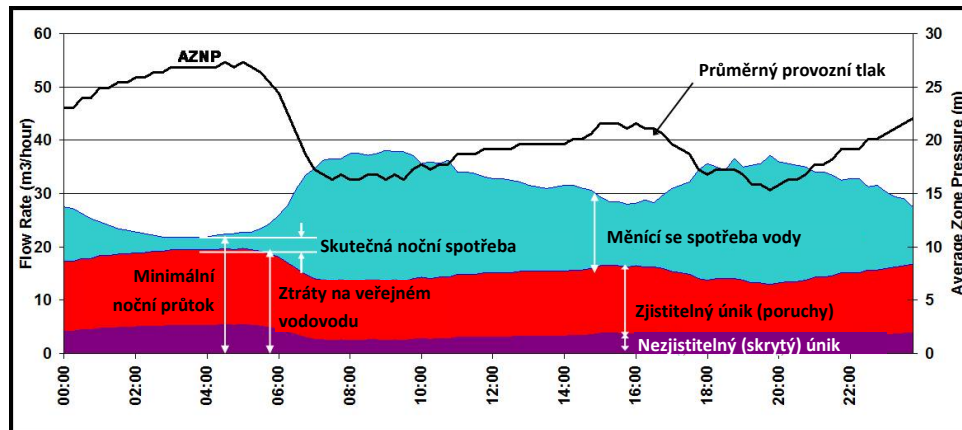


Obr. 16 Rozdíly mezi skrytým, nenahlášeným a nahlášeným únikem [25]

Skutečné ztráty jsou složeny z dílčích složek – skryté úniky ve spojích a armaturách, nenahlášené úniky a nahlášené úniky. Každá z těchto složek má různou frekvenci výskytu, hodnotu průtoku a dobu trvání. [25]

5. stupeň rozdělení

V tomto stupni je oproti 4. úrovni navíc zahrnut vliv tlakových poměrů v síti na jednotlivé složky minimálního nočního průtoku.



Obr. 17 Průběh změny velikosti složek ztrát v závislosti na tlaku [27]

Obr. 17 zobrazuje, jak se v závislosti na tlaku mění velikost ztrát na vodovodní síti. V období MNP (tj. většinou mezi 01:00 a 04:00) je ve vodovodní síti největší hydrodynamický tlak. Úniky vody netěsnostmi ve spojích potrubí, v drobných trhlinkách nebo dírách potrubí jsou tak větší než například v ranní nebo večerní špičce spotřeby vody. Navíc, pokud je síť ve špatném technickém stavu, může v těchto nočních hodinách dojít k prasknutí potrubí a vzniku havárie. Z obrázku je vidět závislost mezi spotřebou vody a průběhem tlaku, který je vyšší při nižších hodnotách spotřeby a naopak, při vysoké spotřebě vody je hodnota hydrodynamického tlaku nízká.

Nejlepším způsobem, jak určit velikost jednotlivých složek MNP v tlakových systémech vodovodních sítí, bez ohledu na to, jestli jsou součástí skutečné spotřeby nebo ztrát na veřejném vodovodu, je prozatím koncept FAVAD. [25]

2.4.2 Koncept FAVAD

Koncept FAVAD (Fixed and Variable Area Discharges) byl vytvořen pro analýzu a předpověď vztahů mezi provozním tlakem v síti a mírou úniku vody. První verze vznikla v roce 1994, kdy John May sloučil japonský a anglický výzkum a doplnil jej o další mezinárodní data a poznatky.

Podle této koncepce se ztráty rozdělují na:

- pevné (fixní) ztráty, které nejsou na tlaku příliš závislé (jsou to trhliny po obvodu potrubí, korozní otvory...),
- proměnné (variabilní) ztráty, které jsou na hodnotě tlaku lineárně závislé (jsou to skryté úniky, úniky na přípojkách, armaturách a ve spojích potrubí).

Tlak v síti ovlivňuje objem úniků (objem/čas) ztrát mnohem víc, než rychlost vody (vzdálenost/čas). Rychlost se mění pouze s druhou odmocninou tlaku. [28, 29]

Základní rovnice FAVAD pro analýzu a předpověď změn velikosti úniků L vypadá takto:

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} \quad (2.16)$$

kde L_0 hodnota úniku (leakage) při počátečním tlaku P_0
 L_1 hodnota úniku po změně tlaku ($P_0 \rightarrow P_1$)
 P_0 počáteční hodnota průměrného provozního tlaku [m v.sl.]
 P_1 změna provozního tlaku [m v.sl.]
 $N1$ exponent změny tlaku

Hodnota exponentu $N1$ se běžně pohybuje v intervalu hodnot 0,5–1,5. Tento interval byl stanoven na základě testování v několika zemích světa. Hodnoty exponentu $N1$ nemusí být přesně rovny hodnotám uvedeným v Tab. 7.

$N1$ je možné stanovit také odvozením z rovnice (2.16), pokud známe všechny ostatní vstupní hodnoty. Konstantní hodnotu exponentu $N1$ lze pro zjednodušení předpokládat jen v případě malého rozsahu kolísání tlaků během dne.

Tab. 7 Přibližné hodnoty $N1$ a podmínky platnosti těchto hodnot

N1	Podmínky platnosti
0,5	platí pro sítě s oblastí fixních ztrát nezávislých na tlaku (zjistitelné úniky, praskliny a díry v tuhých potrubí)
1	platí pro velké měřicí okrsky a okrsky složené z velkého množství materiálů (tato hodnota vyjadřuje lineární vztah mezi změnou tlaku a změnou velikosti úniku)
1,5	platí pro sítě s oblastí variabilních ztrát, které jsou na tlaku závislé (nezjistitelné úniky a praskliny)

2.4.3 Stanovení denní míry úniku

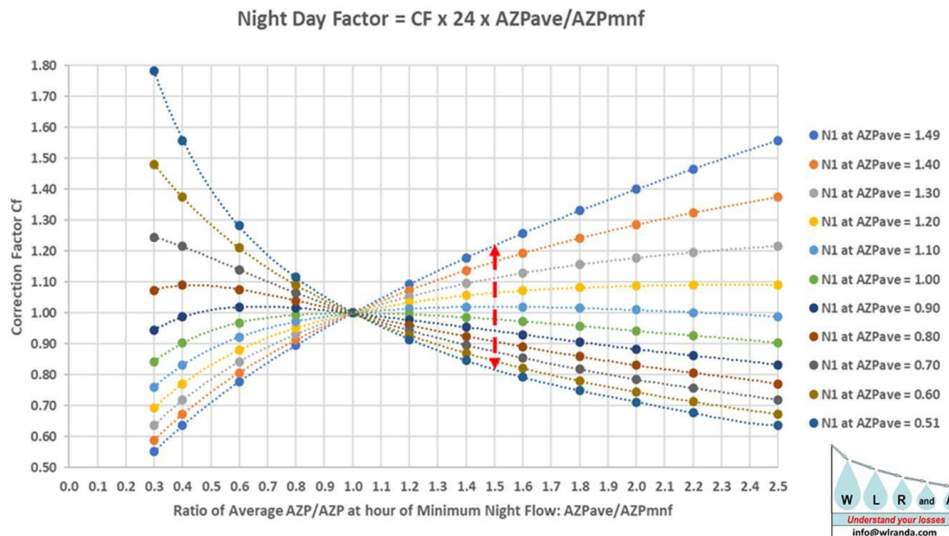
Už dříve bylo řečeno, že pro převod nočních úniků, které vyjadřujeme v jednotkách objemu vztahených na hodinu, na denní únik (tj. objem ztrát vody za celý den), nemůžeme hodinový únik vynásobit 24 hodinami. Musíme použít tzv. denní faktor. Hodnota NDF je závislá na průběhu průměrného tlaku v okrsku a předpokládané hodnotě $N1$. Do roku 2017 se hodnota NDF stanovovala pomocí rovnic, které nebraly v úvahu změnu exponentu $N1$. Exponent $N1$ byl stanoven odhadem nebo na základě testování. [23]

Nově lze NDF stanovit podle rovnice:

$$NDF = CF \cdot 24 \frac{AZP_{ave}}{AZP_{MNF}} \left[\text{hod} \cdot \text{den}^{-1} \right] \quad (2.18)$$

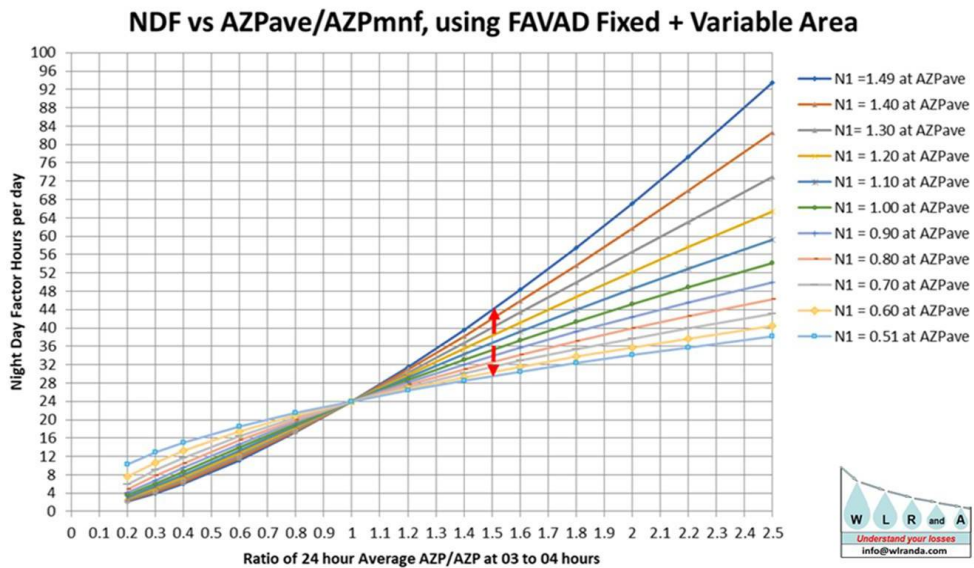
kde: NDF tzv. denní faktor (Night-Day Factor) [hod·den⁻¹]
 CF opravný faktor (Correction Factor)
 AZP_{ave} průměrný provozního tlaku v DMA (Average Zone Pressure) [m v.sl.]
 AZP_{MNF} provozní tlaku při minimálním nočním průtoku [m v.sl.]

Rovnice 2.18 počítá se zjednodušujícím předpokladem, že hodnota N1 = 1,0. Tento předpoklad se opravuje pomocí opravného faktoru CF, jehož hodnota závisí na hodnotě exponentu N1 a poměru průměrného provozního tlaku a na tlaku při MNP. Hodnotu CF můžeme odečíst z grafu na Obr. 18.



Obr. 18 Závislost hodnoty CF na N1 a poměru tlaků [23]

Pokud je poměr průměrného provozního tlaku a tlaku v období MNP roven 1,0 můžeme hodnotu NDF jednoduše určit odečtem z grafu na Obr. 19. Hodnoty NDF se pak totiž takřka neliší.



Obr. 19 Závislost hodnoty NDF na N1 a poměru tlaků [23]

Jakmile známe hodnotu faktoru NDF můžeme podle rovnice 2.19 stanovit denní míru úniku:

$$DL = NLR \cdot NDF \left[m^3 \cdot den^{-1} \right] \quad (2.19)$$

kde: DL denní únik (Daily Leakage) [$m^3 \cdot den^{-1}$]
 NLR noční únik v období MNP (Night Leakage Rate) [$m^3 \cdot hod^{-1}$]
 NDF tzv. denní faktor [$hod \cdot den^{-1}$]

Faktor NDF, který zohledňuje nerovnoměrnost tlaků v síti, může nabývat různých hodnot v závislosti na typu provozování vodovodní sítě (gravitační síť, čerpání nebo řízení tlaku). Hodnota NDF se pohybuje v intervalu 10–40, v závislosti na tlakových poměrech v síti. [30] Pokud jsou tlaky v síti vyrovnané hodnota faktoru NDF je blízká hodnotě 24.

3 VYHODNOCENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ

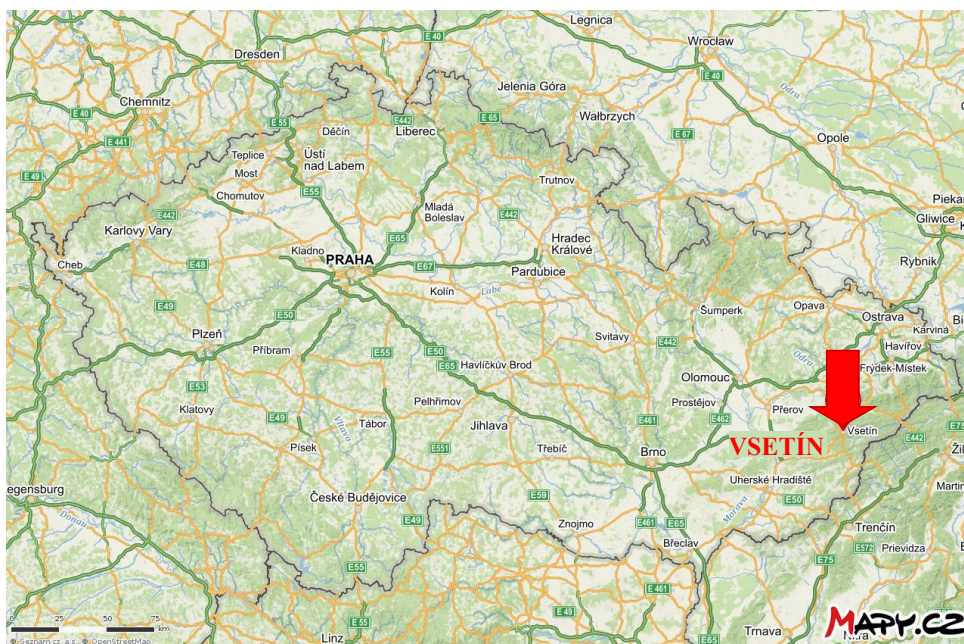
V této kapitole je popsána zájmová lokalita a způsob dopravy pitné vody ze zdroje do vodojemů, k čerpacím stanicím a ATS, odkud je pak voda dále rozvodnou sítí dopravována k jednotlivým spotřebitelům.

Pro vyhodnocení MNP jsou použity výsledky *Hydraulické analýzy vodovodní sítě města Vsetín*, která byla zpracovávána v období březen–listopad 2017. Její součástí bylo sestavení matematického modelu, který neobsahuje vodovodní přípojky a vnitřní vodovody. Na základě měrné kampaně, během které byly měřeny tlaky a průtoky v síti, byl model verifikován pro 24 časových kroků a reprezentuje chování vodovodní sítě během jednoho dne (jedná se tedy o kvazi-stacionární model pro 24 h).

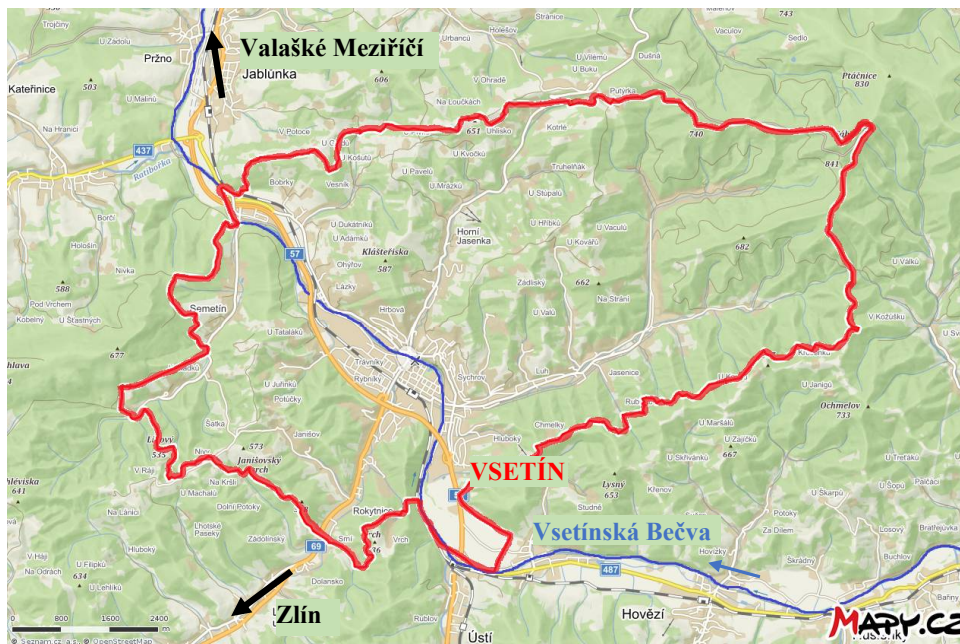
3.1 POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY

Město Vsetín se nachází ve Zlínském kraji, přibližně 27 km severovýchodně od Zlína a 60 km jihovýchodně od Olomouce. Městem protéká řeka Vsetínská Bečva. Na území města žije cca 26 300 obyvatel (údaj platný pro rok 2016, kdy byla prováděna analýza spotřeby vody). [31] Vsetín má rozlohu 57,61 km² a člení se na 3 části podle katastrálních území:

- část Vsetín – KÚ Vsetín,
- část Horní Jasenka – KÚ Jasenka,
- část Rokytnice – KÚ Rokytnice u Vsetína.



Obr. 20 Situace širších vztahu – poloha města Vsetín na území České republiky



Obr. 21 Situace širšího vztahu – město Vsetín, Zlínský kraj

3.2 POPIS VODÁRENSKÉHO SYSTÉMU

Hlavním distribučním systémem zásobování obyvatel pitnou vodou je skupinový vodovod Stanovnice. Je tvořen pátečním vodovodním řadem včetně nezbytných vodojemů mezi městy Karolinka, Rožnov pod Radhoštěm, Vsetín, Valašské Klobouky, Valašské Meziříčí a Kelč. Město Vsetín je zásobováno vodou z údolní nádrže Stanovnice a podzemní vodou z prameniště Vsetín-Ohrada.

Z nádrže Stanovnice je surová voda jímána věžovým odběrným objektem ze tří výškových horizontů a gravitačně potrubím DN 400 dopravována na ÚV Karolinka. Tam je surová voda upravována koagulací s následnou filtrací na pískových filtrech. Poté je pro zlepšení senzorických vlastností voda upravována na filtrech s granulovaným aktivním uhlím. Takto upravená voda je následně alkalizována vápenným hydrátem a hygienizována dávkováním plynného chlóru a oxidu chloričitého (ClO_2). Dezinfekční činidla i vápenné mléko (tj. směs vápenného hydrátu a vody) může být do systému dávkována i před nátokem na filtry, a to z důvodu úpravy pH pro vyšší účinnost čistírenských procesů.

Z ÚV Karolinka, jejíž běžný výkon je 250 l/s, je pak pitná voda skupinovým vodovodem Stanovnice rozváděna do vodojemů jednotlivých tlakových pásem města Vsetín a odtud dál rozvodnou sítí distribuována ke spotřebitelům.

V prameništi Vsetín-Ohrada, které se nachází na pravém břehu Vsetínské Bečvy mezi obcí Ústí a Vsetínem, je jímána podzemní voda ze soustavy 7 studní. Teoretická vydatnost území je 75–80 l/s. Tato voda není nijak upravována, je pouze hygienicky zabezpečena UV zářením a chlornanem sodným (NaClO). Z tohoto zdroje je primárně zásobována část města na pravé

straně Vsetínské Bečvy a také obce Lhota u Vsetína a další. V případě potřeby lze zajistit propojení tohoto zdroje se skupinovým vodovodem Stanovnice. [32, 33]



Obr. 22 Schéma zásobování vodou v okrese Vsetín, Zlín, Přerov [34]



Obr. 23 Přehledné schéma vodovodní sítě Vsetín

Z prameniště Vsetín – Ohrada je zásobován vodojem Bečevná, ze kterého je dále zásobován vodojem Rokytnice a ATS Janišov.

Na trase skupinového vodovodu Stanovnice leží vodojem IBV Ohrada, PK Za Díly, ze kterého je přes ATS Zbrojovka zásobován i vodojem Zbrojovka, dále pak vodojem Sychrov I DTP a Sychrov II HTP, vodojem Bobrky, Vesník a Hrbová, včetně ATS Jasénka.

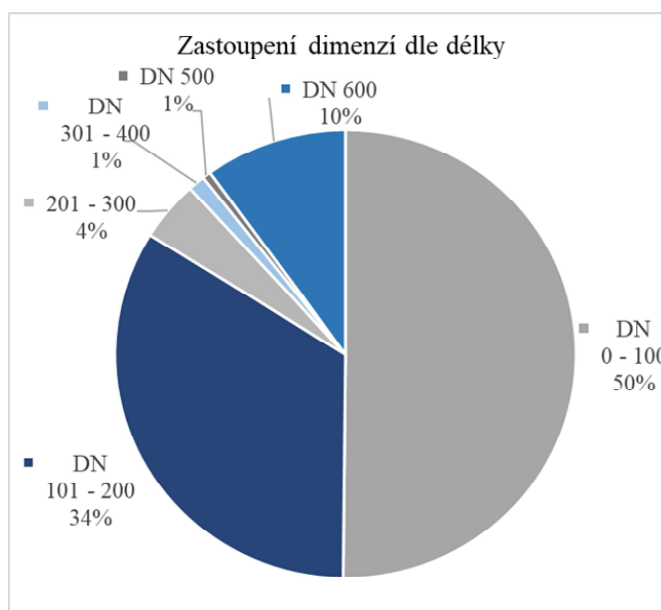
Charakteristika vodovodní sítě:

- 2 vodní zdroje (1 povrchový a 1 podzemní)
- 10 vodojemů o celkové akumulaci 9 615 m³
- 5 čerpacích stanic
- 6 automatických tlakových stanic
- 2 regulační ventily

Celková délka sítě v matematickém modelu je 100 284 m. Celkový počet vodovodních přípojek na území města je 2 563 a vodou je zásobováno přibližně 26 300 obyvatel.

Tab. 8 Celková délka potrubí ve vybraných MO podle DN

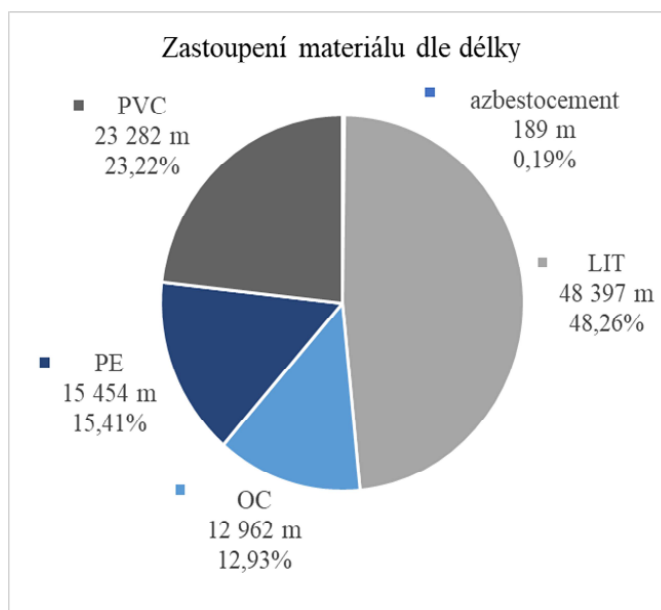
MO / DN	MO 1	MO 2	MO 3	MO 4	MO 5	MO 6	MO 7	MO 10	celkem v síti [m]
DN 50	20	-	-	-	-	-	-	-	20
DN 80	7 305	2 431	93	1 314	1 025	1 010	454	1 171	17 531
DN 100	14 792	3 808	286	2 550	2 802	2 964	1 227	2 307	32 755
DN 125	147	-	-	380	-	-	-	405	949
DN 150	4 594	1 528	693	913	1 310	1 759	2 044	5 574	23 214
DN 160	-	-	-	-	-	124	-	-	127
DN 200	4 936	1 506	682	360	16	665	49	1 162	9 527
DN 250	-	-	-	-	-	-	126	-	432
DN 273	-	-	-	-	-	-	-	-	18
DN 324	-	-	-	-	-	-	-	-	71
DN 300	2 353	-	63	629	89	-	-	7	3 142
DN 400	763	-	110	338	-	15	0	1	1 117
DN 500	8	-	-	5	-	-	-	-	592
DN 600	32	521	899	1 000	619	819	534	225	10 036
celková délka v MO	34 951	9 795	2 827	7 489	5 861	7 357	4 433	10 854	



Obr. 24 Zastoupení dimenzí potrubí v celé vodovodní síti

Tab. 9 Celková délka potrubí ve vybraných MO podle materiálu

MO / materiál	MO 1	MO 2	MO 3	MO 4	MO 5	MO 6	MO 7	MO 10	celkem v síti [m]
PE	2 902	1 712	382	700	1 877	4 207	34	56	15 454
PVC	5 793	3 463	62	1 901	2 200	962	1 202	3 445	23 282
LIT	24 996	3 694	1 337	3 749	1 143	1 291	2 207	7 097	48 397
OC	1 060	926	1 046	1 138	642	896	990	254	12 962
AC	12	-	-	-	-	-	-	-	189
									100 284



Obr. 25 Zastoupení materiálu potrubí v celé vodovodní síti

3.3 MĚŘÍCÍ OKRSKY (DMA)

Vodovodní síť města Vsetín byla v rámci *Hydraulické analýzy vodovodní sítě města Vsetín*, zpracované v roce 2017, rozdělena do 15 měřících okrsků (viz Tab. 10.). Prostorové hranice měřících okrsků použitých v matematickém modelu jsou zobrazeny v grafické příloze č. 1 – *Přehledná situace vodovodní sítě Vsetín*. Názvy a označení měřících okrsků jsou shodné s označením, které bylo použito při zpracování *Hydraulické analýzy vodovodní sítě města Vsetín*.

Pro účely diplomové práce bylo z celkového počtu 15 měřících okrsků vybráno 8 (viz zvýrazněné údaje v Tab. 10). Volba měřících okrsků byla ovlivněna faktem, že se nejedná o tranzitní pásma, u kterých vzniká vyšší míra nejistoty dat o průtocích.

Tab. 10 Vybrané měřicí okrsky spotřebišť Vsetín

ozn. měř. okrsku	zahrnuje TP	název měřicího okrsku
MO 1	TP 180	napájecí uzel VDJ Bečevná
MO 2	TP 20, 71, 76, 152	napájecí uzel VDJ Hrbová
MO 3	TP 55, 151	napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP
MO 4	TP 99, 198	napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP
MO 5	TP 100	napájecí uzel VDJ Bobrky
MO 6	TP 148	napájecí uzel VDJ Vesník
MO 7	TP 150	napájecí uzel VDJ Ohrada IBV
MO 8	TP 54, 149	napájecí uzel VDJ Rokytnice
MO 9	TP 19	napájecí uzel ATS Janišov
MO 10	TP 98	napájecí uzel PK Za Díly
MO 11	TP 7	napájecí uzel ATS Zbrojovka
MO 12	TP 204	skupinový vodovod Stanovnice
MO 13	TP 54	výtlač do VDJ Bečevná
MO 14	TP109	VDJ Vsetín sychrov DTP – regulátor Jarcová
MO 15	TP113	napájecí uzel VDJ Lhota u Vsetína

Jako podklad pro získání údajů uvedených v Tab. 11 sloužil matematický model vodovodní sítě. Délka potrubí v jednotlivých měřicích okrscích i celková délka byly odečteny z modelu, stejně tak i počet vodovodních přípojek v jednotlivých tlakových pásmech. Počet bytových jednotek byl stanoven na základě několika předpokladů:

- každá nemovitost má pouze 1 vodovodní přípojku,
- 1 rodinný dům je tvořen 1 bytovou jednotkou,
- výškový bytový dům je tvořen 28 bytovými jednotkami,
- ostatní bytové domy jsou tvořeny 12 bytovými jednotkami odhadem.

Počet i typ bytových domů byl stanoven z mapových podkladů.

Počet zásobovaných obyvatel byl stanoven odhadem z hustoty počtu přípojek na 1 km řadu, kdy byl znám údaj o celkovém počtu zásobovaných obyvatel.

Tab. 11 Souhrnné údaje o jednotlivých měřicích okrscích

ozn. měř. okrsku	zahrnuje TP	délka potrubí [km]	počet vod. přípojek	počet byt. jednotek	počet zás. obyv. (odhad)
MO 1	TP 180	34,55	1 157	6 093	9 061
MO 2	TP 20, 71, 76, 152	9,79	361	1 397	2 568
MO 3	TP 55, 151	2,83	41	2 505	741
MO 4	TP 99, 198	7,12	267	1 131	1 867
MO 5	TP 100	5,86	87	87	261
MO 6	TP 148	7,34	130	130	390
MO 7	TP 150	4,43	128	128	1 163
MO 8	TP 54, 149	*)	*)	*)	*)
MO 9	TP 19	*)	*)	*)	*)
MO 10	TP 98	10,85	242	1 342	2 846
MO 11	TP 7	*)	*)	*)	*)
MO 12	TP 204	*)	*)	*)	*)
MO 13	TP 54	*)	*)	*)	*)
MO 14	TP109	*)	*)	*)	*)
MO 15	TP113	*)	*)	*)	*)
Celkem pro celé město		100,28	2 563	-	26 300

Pozn.:

*) Hodnota nebyla zjišťována, protože daný měřicí okrsek nebyl předmětem řešení této diplomové práce.

Pro vybraných 8 měřicích okrsků, které jsou předmětem dekompozice minimálních nočních průtoků a pro které jsou v další části práce stanoveny ukazatele ztrát vody, byl stanoven charakter zástavby, a to podle rovnice 2.14. V Tab. 12 až Tab. 19 jsou uvedeny základní charakteristiky zájmových měřicích okrsků. Tyto okrsky byly vybrány proto, že se nejedná o tranzitní pásma, u kterých by mohla vzniknout vysoká nejistota vstupních dat pro analýzu průtoků.

MO 1 – napájecí úzel VDJ Vsetín Bečevná – TP 180

Tento měřicí okrsek je tvořen největším tlakovým pásmem spotřebiště, které zahrnuje centrum města Vsetín. Voda je do tlakového pásma dodávána z vodojemu Vsetín Bečevná o celkovém objemu 3 000 m³, voda z něj je dále čerpána do vodojemu Vsetín Rokytnice, který je zdrojem dalších tlakových pásem, které ale nejsou předmětem řešení této práce. Zdrojem pitné vody vodojemu Vsetín Bečevná je prameniště Vsetín – Ohrada. Pitná voda je do vodojemu Bečevná dopravována výtlačným řadem z ČS Ohrada.

Tab. 12 Charakteristika měřicího okrsku č.1

MO 1 – napájecí uzel VDJ Bečevná	
zahrnuje: TP 180	
počet zásobovaných obyvatel	9 061
délka sítě [km]	34,55
počet vodovodních přípojek	883
počet bytových jednotek	6 093
počet velkoodběratelů	25
charakter měřicího okrsku C [-] smíšená městská zástavba	176
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	51,43
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,00
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,38
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾ MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	2,65

Pozn.: (platí pro Tab. 12 až Tab. 19)

¹⁾ Hodnota byla stanovena jako aritmetický průměr tlaků ve všech uzlech měřicího okrsku podle hydraulické analýzy provedené na kalibrovaném matematickém modelu.

²⁾ Hodnota opravného faktoru CD stanovena podle Obr. 18.

³⁾ Hodnota NDF byla stanovena podle rovnice 2.18

⁴⁾ Jedná se o nejnižší průměrnou hodnotu průtoku během dne.

⁵⁾ Období výskytu MNP bylo stanoveno analýzou četnosti.

MO 2 – napájecí uzel VDJ Hrbová – TP 20, 71, 76, 152

Tento měřicí okrsek je zásobován vodou z vodojemu Vsetín Hrbová o celkovém objemu 800 m³ a je jedním z vodojemů na přivaděči skupinového vodovodu Stanovnice. Tento měřicí okrsek je tvořen převážně zástavbou rodinných domů, ale i několika bytovými domy.

Tab. 13 Charakteristika měřicího okrsku č.2

MO 2 – napájecí uzel VDJ Hrbová	
zahrnuje: TP 20, 71, 76, 152	
počet zásobovaných obyvatel	2 568
délka sítě [km]	9,79
počet vodovodních přípojek	250
počet bytových jednotek	1 397
počet velkoodběratelů	0
charakter měřicího okrsku C [-] individuální zástavba	143
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	43,42
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,75
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾	0,7
MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	

MO 3 – napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP – TP 55, 151

Měřicí okrsek č. 3 je zásobován z vodojemu Vsetín Sychrov HTP o celkové kapacitě 500 m³, do kterého je pitná voda čerpána z vodojemu Vsetín Sychrov DTP. Tento měřicí okrsek je charakteristický sídlištní zástavbou.

Tab. 14 Charakteristika měřicího okrsku č.3

MO 3 – napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP	
zahrnuje: TP 55, 151	
počet zásobovaných obyvatel	741
délka sítě [km]	2,83
počet vodovodních přípojek	72
počet bytových jednotek	2 505
počet velkoodběratelů	1
charakter měřicího okrsku C [-] sídlištní zástavba	886
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	43,46
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,82
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾	0,13
MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	

MO 4 - napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP – TP 99, 198

Tento měřicí okrsek je zásobován z vodojemu Vsetín Sychrov DTP o celkové kapacitě 4 000 m³, který je na trase přivaděče skupinového vodovodu Stanovnice. Z tohoto vodojemu je dále čerpána voda do vodojemu Vsetín Sychrov HTP. Tento měřicí okrsek je tvořen 2 tlakovými pásmy, na síti je umístěn regulační ventil pro optimalizaci tlakových poměrů ve spotřebišti. V grafických přílohách označen jako *Regulátor Sychrov DTP*.

Tab. 15 Charakteristika měřicího okrsku č.4

MO 4 – napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP	
zahrnuje: TP 99, 198	
počet zásobovaných obyvatel	1 867
délka sítě [km]	7,12
počet vodovodních přípojek	182
počet bytových jednotek	1 131
počet velkoodběratelů	0
charakter měřicího okrsku C [-]	159
smíšená městská zástavba	
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	48,69
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,86
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾	1,08
MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	

MO 5 - napájecí uzel VDJ Bobrky – TP 100

Měřicí okrsek č. 5 je zásobován z vodojemu Vsetín Bobrky o celkové kapacitě 15 m³, který je posledním vodojemem trase přivaděče skupinového vodovodu Stanovnice na území města Vsetín. Tento měřicí okrsek je charakteristický roztroušenou zástavbou rodinných domů malých obcí.

Tab. 16 Charakteristika měřicího okrsku č.5

MO 5 – napájecí uzel VDJ Bobrky	
zahrnuje: TP 100	
počet zásobovaných obyvatel	261
délka sítě [km]	5,86
počet vodovodních přípojek	150
počet bytových jednotek	87
počet velkoodběratelů	0
charakter měřicího okrsku C [-]	15
vodovody malých obcí	
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	46,45
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,99
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾	0,1
MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	

MO 6 - napájecí uzel VDJ Vesník – TP 148

Měřicí okrsek č. 6 je zásobován z vodojemu Vsetín Vesník o celkové kapacitě 200 m³, který je předposledním vodojemem trase přivaděče skupinového vodovodu Stanovnice na území města Vsetín. Tento měřicí okrsek je charakteristický roztroušenou zástavbou rodinných domů.

Tab. 17 Charakteristika měřicího okrsku č.6

MO 6 – napájecí uzel VDJ Vesník	
zahrnuje: TP 148	
počet zásobovaných obyvatel	390
délka sítě [km]	7,34
počet vodovodních přípojek	187
počet bytových jednotek	130
počet velkoodběratelů	0
charakter měřicího okrsku C [-]	18
vodovody malých obcí	
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	60,76
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	24,00
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾	0,31
MNP nastává v období mezi 1:00 - 2:00 ⁵⁾	

MO 7 - napájecí uzel VDJ Ohrada IBV – TP 150

Měřicí okrsek č. 7 je zásobován z vodojemu Vsetín Ohrada IBV o celkové kapacitě 250 m³, který je prvním vodojemem trase přivaděče skupinového vodovodu Stanovnice na území města Vsetín. Tento měřicí okrsek je charakteristický roztroušenou zástavbou rodinných domů.

Tab. 18 Charakteristika měřicího okrsku č.7

MO 7 – napájecí uzel VDJ Ohrada IBV	
zahrnuje: TP 150	
počet zásobovaných obyvatel	1 163
délka sítě [km]	4,43
počet vodovodních přípojek	113
počet bytových jednotek	128
počet velkoodběratelů	0
charakter měřicího okrsku C [-]	29
vodovody malých obcí	
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	52,24
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,86
hodnota minimálního nočního průtoku [l·s ⁻¹] ⁴⁾	0,36
MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	

MO 10 - napájecí uzel PK Za Díly – TP 98

Měřicí okrsek č. 10 je zásobován z vodojemu PK Vsetín Za Díly o celkové kapacitě 50 m³. Z tohoto vodojemu je zásobován i vodojem Vsetín Zbrojovka. Vodojem je na trase skupinového vodovodu Stanovnice. Měřicí okrsek je tvořen individuální zástavbou rodinných domů i panelových bytových domů.

Tab. 19 Charakteristika měřicího okrsku č.10

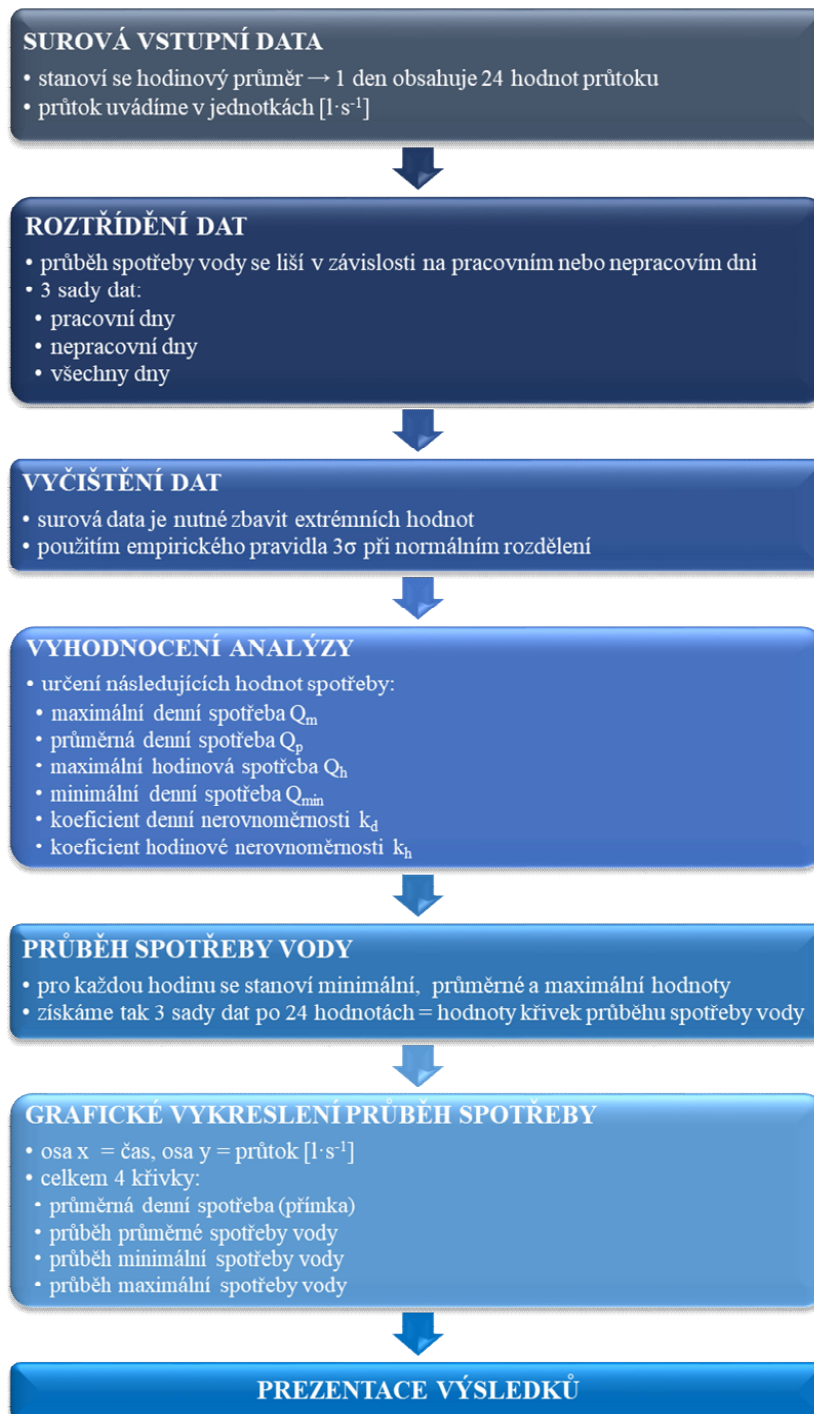
MO 10 – napájecí uzel PK Za Díly	
zahrnuje: TP 98	
počet zásobovaných obyvatel	2 846
délka sítě [km]	10,85
počet vodovodních přípojek	277
počet bytových jednotek	1 342
počet velkoodběratelů	0
charakter měřicího okrsku C [-] individuální zástavba	124
průměrný hydrodynamický tlak [m v.sl.] ¹⁾	44,64
hodnota koeficientu N1 dle konceptu FAVAD	1,50
hodnota opravného faktoru CF ²⁾	1,00
hodnota faktoru NDF ³⁾	23,87
hodnota minimálního nočního průtoky [l·s ⁻¹] ⁴⁾ MNP nastává v období mezi 3:00 - 4:00 ⁵⁾	0,85

3.4 ANALÝZA SPOTŘEBY VODY

VaK Vsetín, a. s. měří průměrné hodinové průtoky na odtoku (případně i přítoku) na všech vodojemech, čerpacích stanicích a ATS v celé síti. Tato data jsou ukládána na centrálním dispečinku. Pro potřeby analýzy byla použita data z období od 1.1.2016 00:00 do 31.12.2016 23:00. Tato data byla exportována v podobě hodinových průměrů a pro analýzu spotřeby vody použita v jednotlivých tlakových pásmech vodovodní síti. Zvláště byly zpracovávány průměrné hodinové průtoky v pracovních a nepracovních dnech. Rok 2016 měl celkem 366 dní z toho 252 pracovních dní a 114 dní pracovního klidu.

Výsledkem analýzy je sada křivek spotřeby vody pro každý stanovený měřicí okrsek (seznam okrsků viz Tab. 10). Tyto křivky charakterizují průběh průměrné spotřeby vody ve všech dnech dohromady bez rozlišení pracovních a nepracovních dnů. Zároveň byly stanoveny i tzv. obalové křivky zobrazující průběh minimální i maximální spotřeby. Byly vyhodnoceny základní ukazatele nerovnoměrnosti odběru vody a byly stanoveny hodnoty průměrné denní (Q_p), maximální denní (Q_m), maximální hodinové (Q_h) a minimální denní spotřeby vody (Q_{min}) zvláště pro pracovní i nepracovní dny a dohromady pro všechny dny.

Ze statisticky zpracovávaného souboru dat byla vyloučena data, která svou hodnotou nespĺňovala tzv. **pravidlo 3σ**. Podle tohoto pravidla se totiž všechny relevantní hodnoty nachází do vzdálenosti 3 směrodatných odchylek (tj. 3σ) od střední hodnoty. Tím bylo docíleno „pročištění“ dat, které spočívá v odstranění případných havarijních průtoků a jiný mimořádně vysokých (např. odběr vody pro požární účely) nebo mimořádně nízkých hodnoty (např. výpadky měření nebo podměřování průtokoměrů).



Obr. 26 Proces analýzy spotřeby vody

Analýza průtoků byla provedena pro všechny měřicí okrsky.

Výsledky z této analýzy slouží jako podklad pro vyhodnocení minimálních nočních průtoků v 8 vybraných měřících okrscích vodovodní sítě města Vsetín. Pro účel vyhodnocení MNP jsou používány souhrnné údaje pro všechny dny (tj. pracovní i nepracovní dny dohromady).

Tab. 20 Přehled spotřeby vody v jednotlivých MO – výsledky analýzy spotřeby vody

ozn. MO	název měřicího okrsku	Q_p [l·s ⁻¹]	Q_m [m ³ ·den ⁻¹]	Q_h [l·s ⁻¹]
MO 1	napájecí uzel VDJ Bečevná	18,37	1 927,80	27,67
MO 2	napájecí uzel VDJ Hrbová	2,89	301,30	4,76
MO 3	napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP	1,38	165,60	2,83
MO 4	napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP	4,04	438,30	6,13
MO 5	napájecí uzel VDJ Bobrky	0,19	32,18	0,32
MO 6	napájecí uzel VDJ Vesník	0,62	69,05	0,92
MO 7	napájecí uzel VDJ Ohrada IBV	1,54	188,28	2,59
MO 8	napájecí uzel VDJ Rokytnice ¹⁾	0,68	70,80	1,02
MO 9	napájecí uzel ATS Janišov	0,08	12,38	0,11
MO 10	napájecí uzel PK Za Díly	3,67	316,16	5,86
MO 11	napájecí uzel ATS Zbrojovka	0,43	61,38	0,77
MO 12	skupinový vodovod Stanovnice ²⁾	1,00 ³⁾	86,40	---
MO 13	výtlač do VDJ Bečevná	1,00 ³⁾	86,40	---
MO 14	VDJ Vsetín Sychrov DTP – regulátor Jarcová	0,05 ⁴⁾	5,85	0,07
MO 15	napájecí uzel VDJ Lhota u Vsetína	3,02	482,04	8,70
CELKEM		38,96	---	---

Pozn.:

¹⁾ Do spotřeby není zahrnut tranzitní průtok do VDJ Lhota, odběr z VDJ Lhota je vložen jako uzlový odběr.

²⁾ Tranzitní průtok na konci SV Stanovnice v modelu dále do Valašského Meziříčí stanoven na 100 l·s⁻¹, přičemž je tento průtok uvažován jako konstantní. Tranzitní průtok je zadán jako uzlový odběr.

³⁾ Jedná se o odhad ztrátového průtoku, který je uvažován konstantní během celého dne.

⁴⁾ Jedná se o odhad spotřeby na základě počtu nemovitostí a specifické spotřeby vody na obyvatelstva.

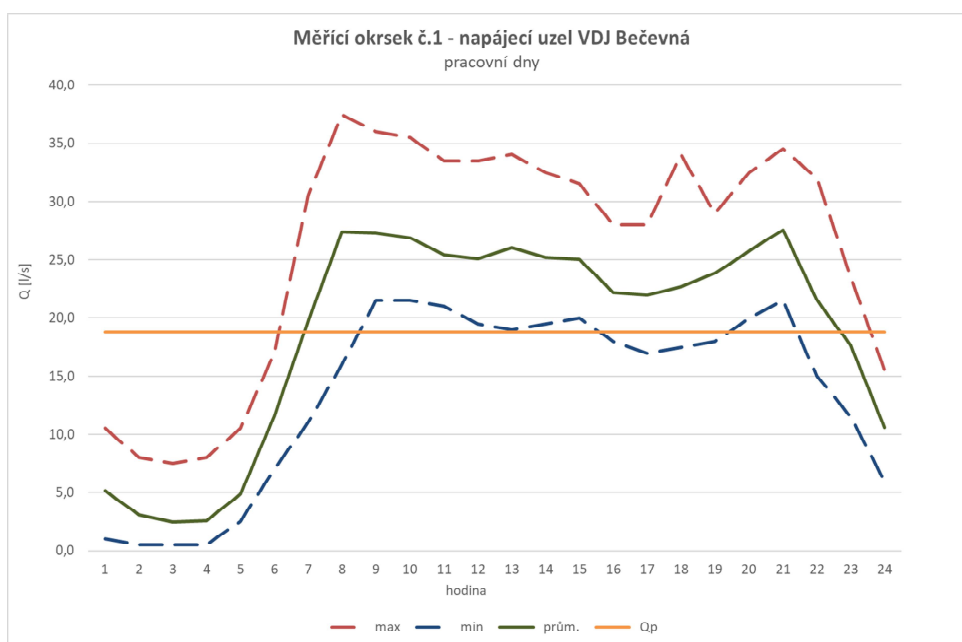
Na Obr. 27 až Obr. 42 jsou znázorněny křivky spotřeby vody pro tyto okrsky v pracovní a nepracovní dny.

V Tab. 21 až Tab. 28 jsou uvedeny výsledky analýzy průtoků pro vybrané měřicí okrsky. V těchto tabulkách jsou uvedeny minimální průtoky, které byly použity pro potřeby dekompozice MNP (viz kapitola 3.6).

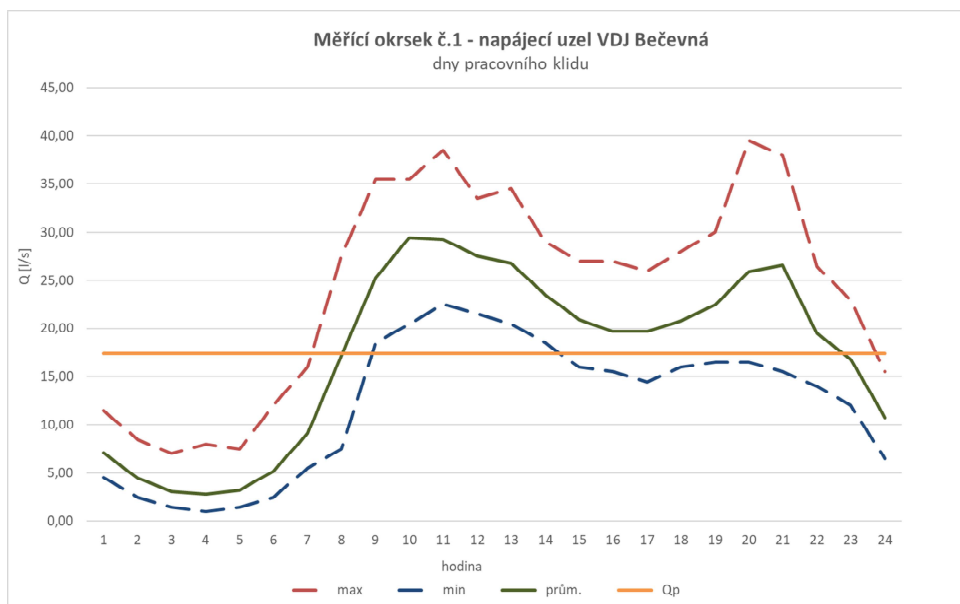
MO 1 – napájecí úzel VDJ Vsetín Bečevná – TP 180

Tab. 21 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 1 – TP 180

Měřicí okrsk č.1 - napájecí uzel VDJ Bečevná				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	18,81	17,40	18,37
Q_m	[l/s]	22,31	21,56	22,31
	[m ³ /d]	1927,8	1863,0	1927,8
Q_h	[l/s]	37,50	39,50	39,50
Q_{min}	[l/s]	0,50	1,00	0,50
% Q_p	[%]	0,11	0,24	0,11
k_h	[-]	1,68	1,83	1,77
k_d	[-]	1,19	1,24	1,21



Obr. 27 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 180

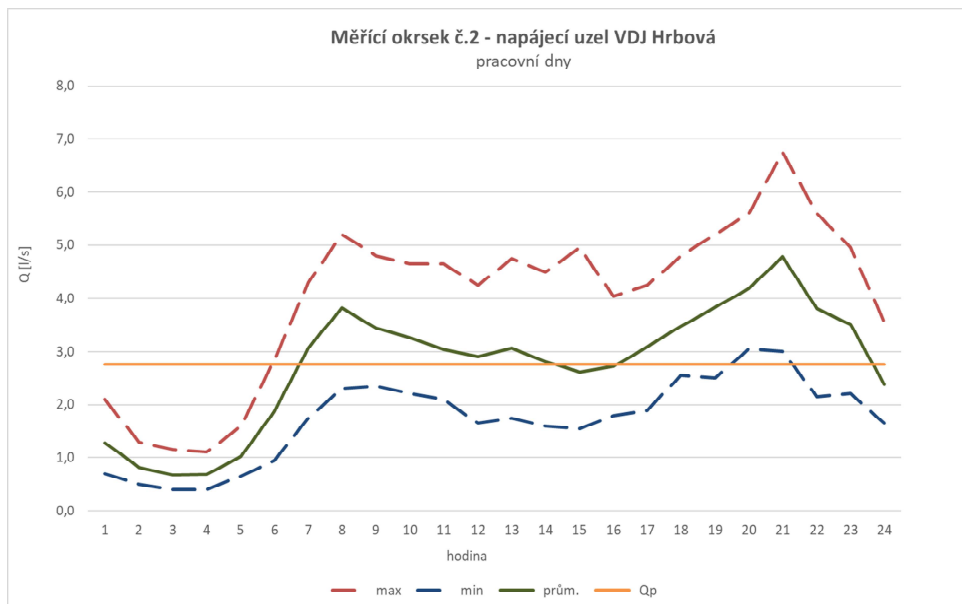


Obr. 28 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 180

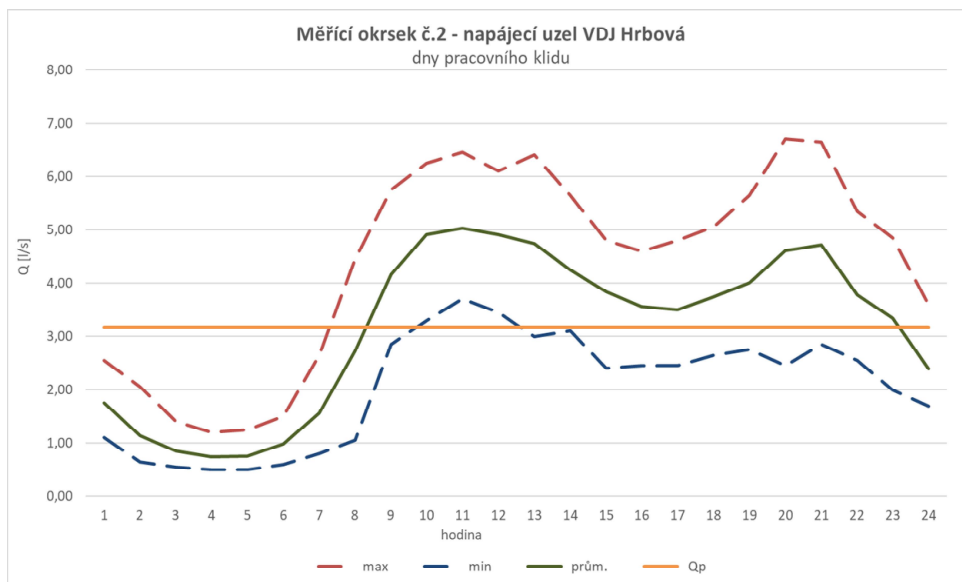
MO 2 – napájecí uzel VDJ Hrbová – TP 20, 71, 76, 152

Tab. 22 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 2 – TP 20, 71, 76, 152

Měřicí okrskek č.2 - napájecí uzel VDJ Hrbová				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	2.76	3.17	2.89
Q_m	[l/s]	3.19	3.49	3.49
	[m ³ /d]	275.2	301.3	301.3
Q_h	[l/s]	6.75	6.70	6.75
Q_{min}	[l/s]	0.40	0.50	0.40
% Q_p	[%]	0.60	0.66	0.58
k_h	[-]	2.12	1.92	1.94
k_d	[-]	1.16	1.10	1.21



Obr. 29 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 20, 71, 76, 152

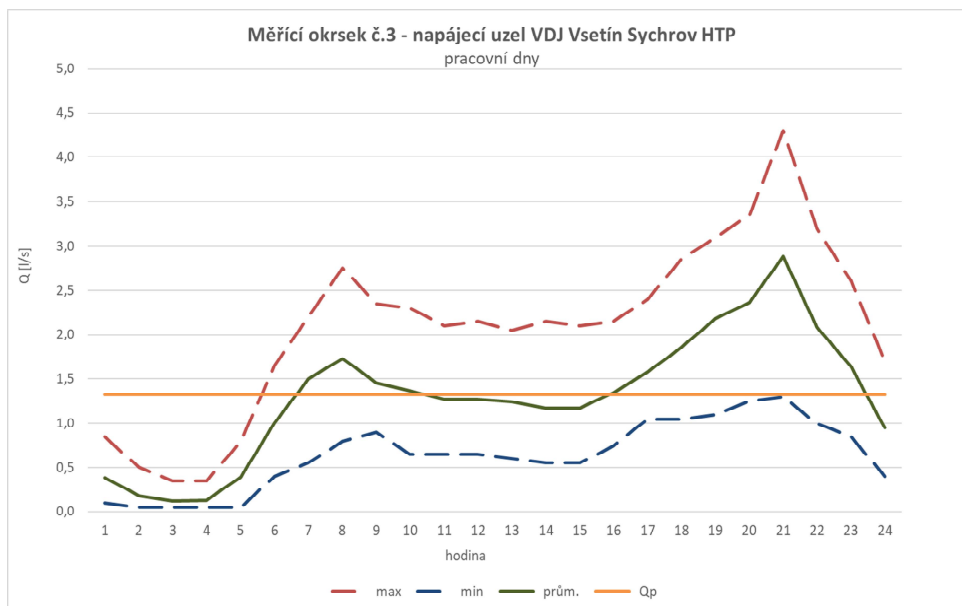


Obr. 30 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 20, 71, 76, 152

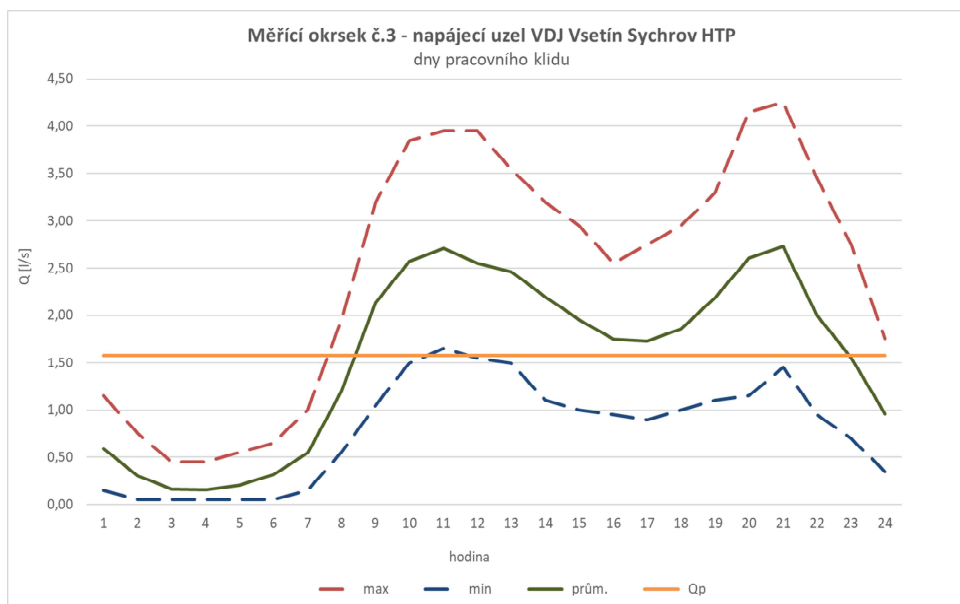
MO 3 – napájecí úzel VDJ Vsetín Sychrov HTP – TP 55, 151

Tab. 23 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 3 – TP 55, 151

Měřicí okrskek č.3 - napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	1.33	1.58	1.41
Q_m	[l/s]	1.53	1.92	1.92
	[m ³ /d]	132.1	165.6	165.6
Q_h	[l/s]	4.30	4.25	4.30
Q_{min}	[l/s]	0.05	0.05	0.05
% Q_p	[%]	0.16	0.13	0.15
k_h	[-]	2.81	2.22	2.24
k_d	[-]	1.15	1.21	1.36



Obr. 31 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 55, 151

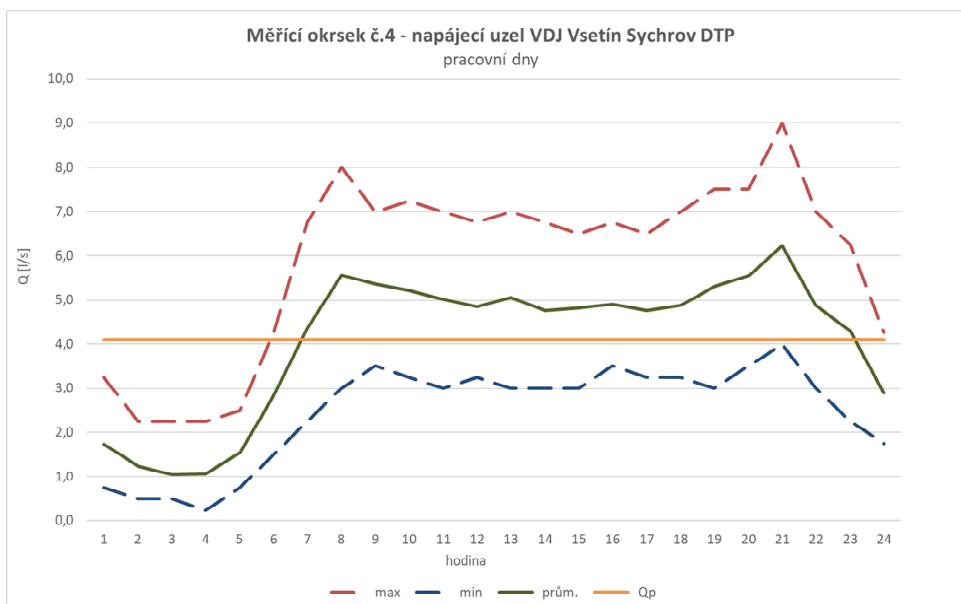


Obr. 32 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 55,
151

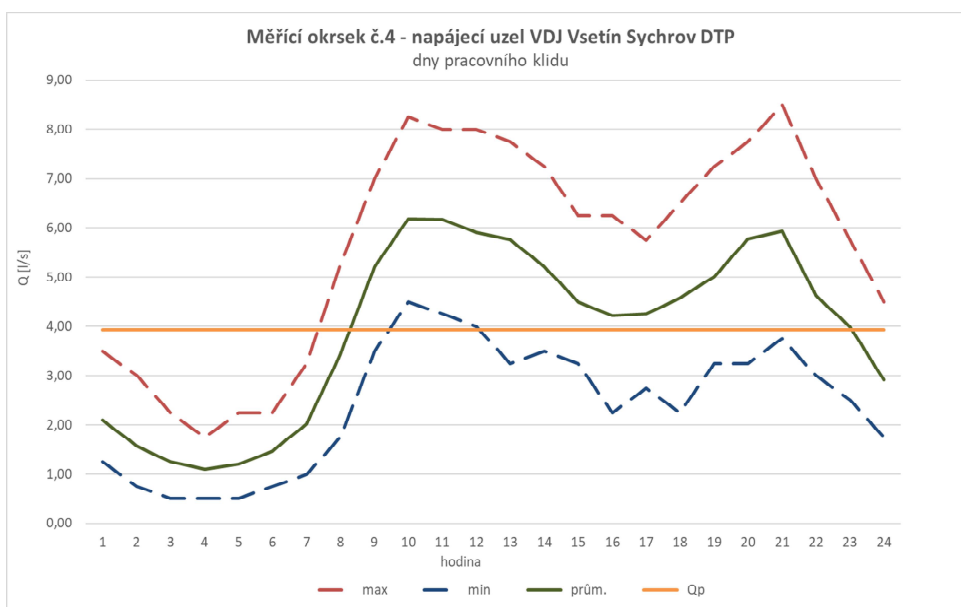
MO 4 - napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP – TP 99, 198

Tab. 24 Analýza spotřeby vody v měřícím okrsku č. 4 – TP 99, 198

Měřící okrskek č.4 - napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	4.09	3.94	4.05
Q_m	[l/s] [m ³ /d]	5.07 438.3	4.78 413.1	5.07 438.3
Q_h	[l/s]	9.00	8.50	9.00
Q_{min}	[l/s]	0.25	0.50	0.25
% Q_p	[%]	0.25	0.53	0.26
k_h	[-]	1.77	1.78	1.77
k_d	[-]	1.24	1.21	1.25



Obr. 33 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 99, 198

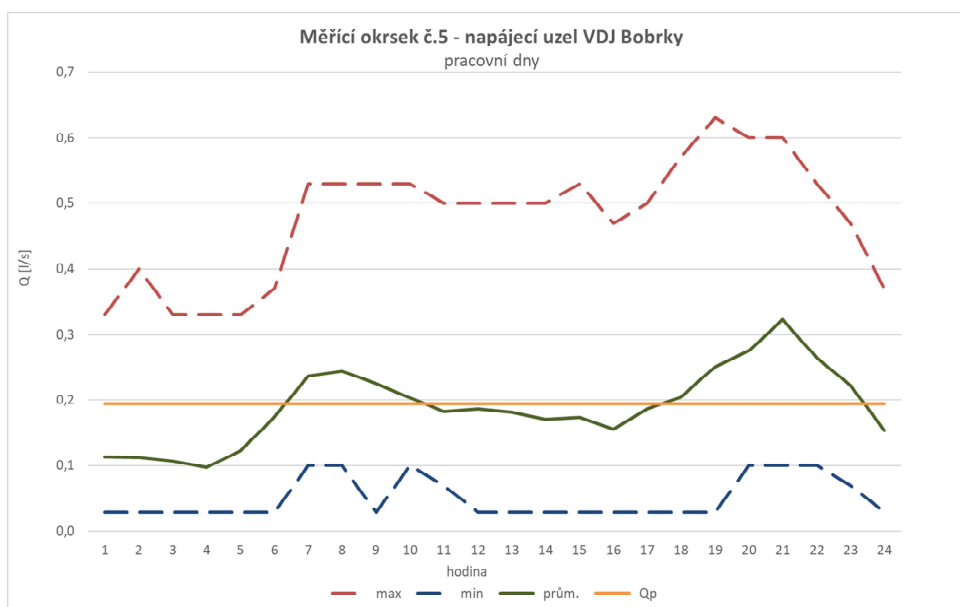


Obr. 34 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 99, 198

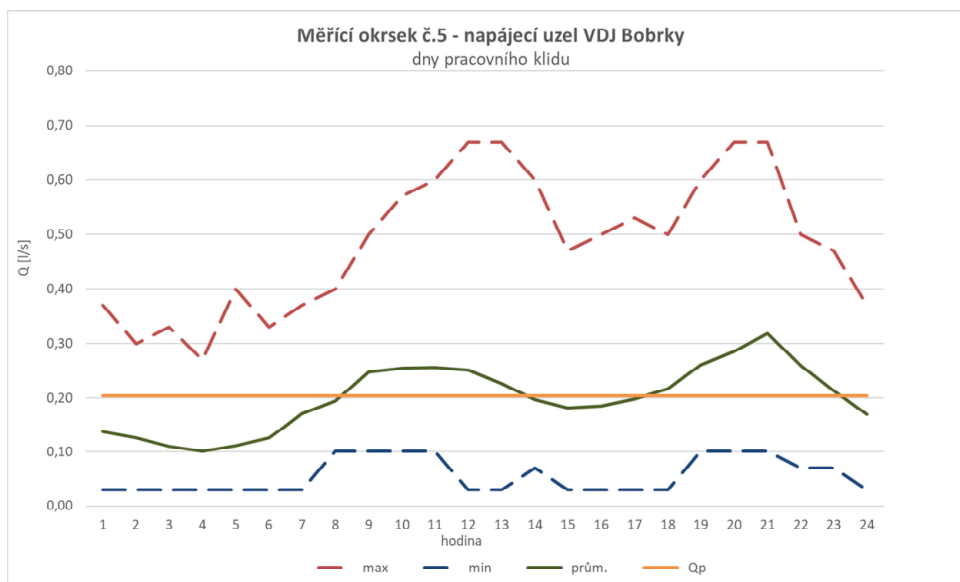
MO 5 - napájecí uzel VDJ Bobrky – TP 100

Tab. 25 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 5 – TP 100

Měřicí okrsek č.5 - napájecí uzel VDJ Bobrky		pracovní dny		
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	0.19	0.20	0.20
Q_m	[l/s] [m ³ /d]	0.36 30.9	0.37 32.2	0.37 32.2
Q_h	[l/s]	0.63	0.67	0.67
Q_{min}	[l/s]	0.03	0.03	0.03
% Q_p	[%]	0.65	0.61	0.63
K_h	[-]	1.76	1.80	1.80
K_d	[-]	1.84	1.83	1.89



Obr. 35 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 100

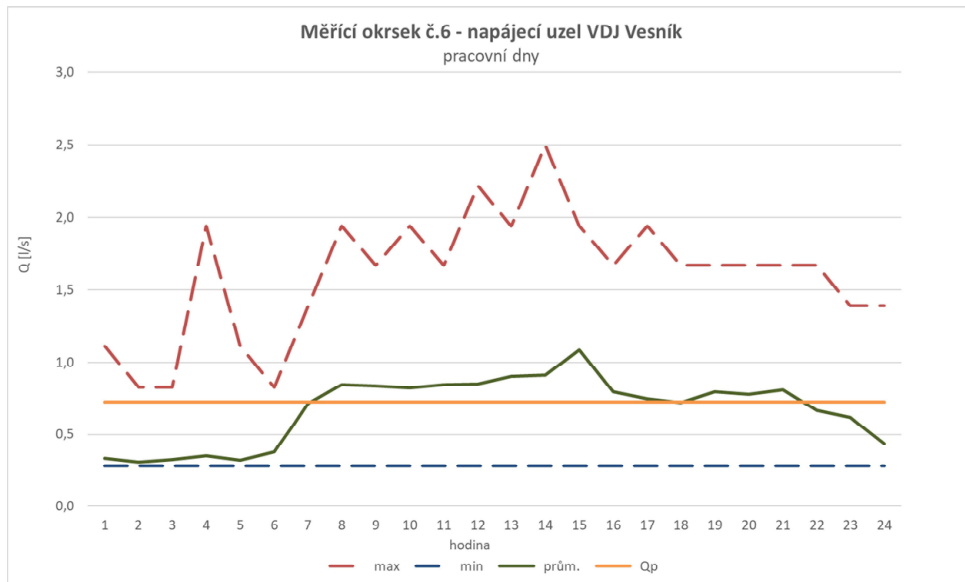


Obr. 36 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 100

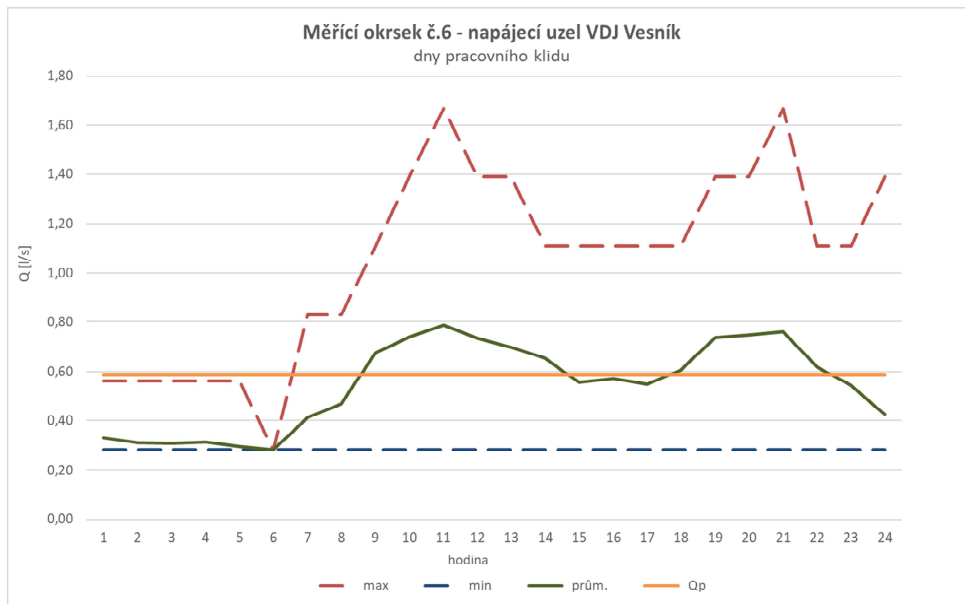
MO 6 - napájecí uzel VDJ Vesník – TP 148

Tab. 26 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 6 – TP 148

Měřicí okrsek č.6 - napájecí uzel VDJ Vesník				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q_p	[l/s]	0.73	0.59	0.68
Q_m	[l/s]	1.02	0.80	1.02
	[m ³ /d]	88.1	69.0	88.1
Q_h	[l/s]	2.50	1.67	2.50
Q_{min}	[l/s]	0.28	0.28	0.28
% Q_p	[%]	1.61	1.99	1.71
k_h	[-]	2.45	2.09	2.45
k_d	[-]	1.41	1.37	1.50



Obr. 37 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 148

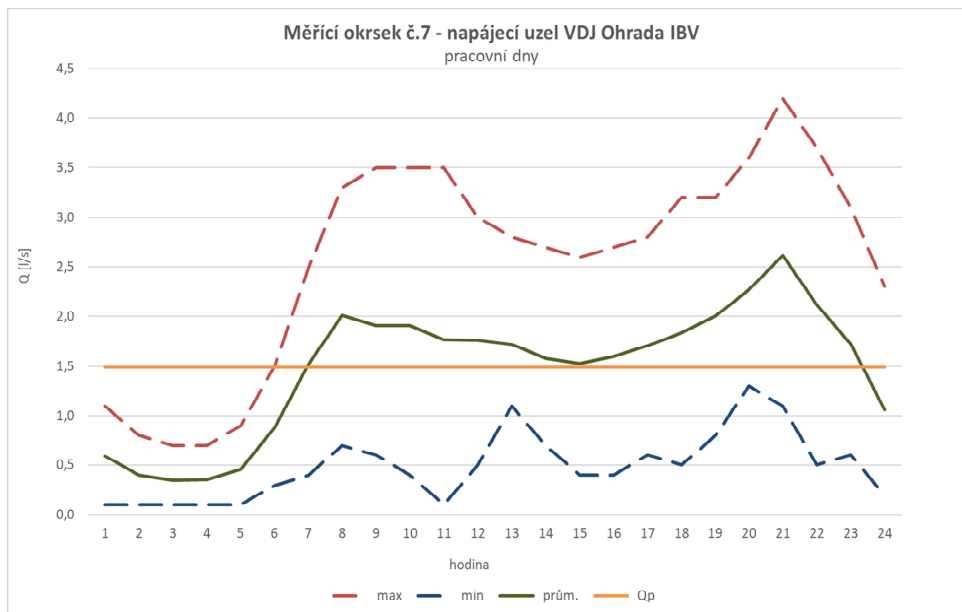


Obr. 38 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 148

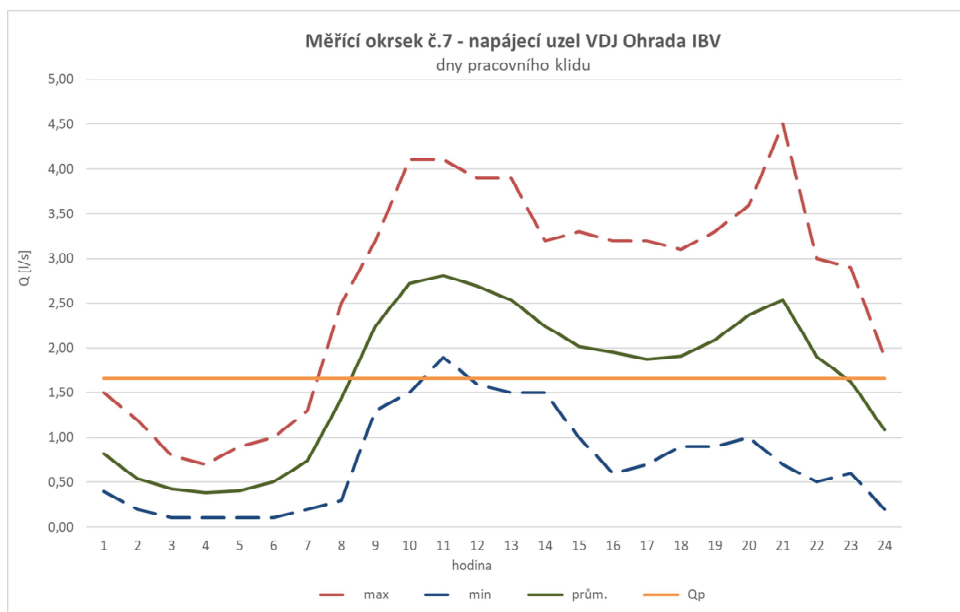
MO 7 - napájecí uzel VDJ Ohrada IBV – TP 150

Tab. 27 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 7 – TP 150

Měřicí okrsek č.7 - napájecí uzel VDJ Ohrada IBV		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
		Q_p	[l/s]	1.49
Q_m	[l/s] [m ³ /d]	2.07	2.18	2.18
Q_h	[l/s]	178.6	188.3	188.3
Q_{min}	[l/s]	4.20	4.50	4.50
% Q_p	[-]	0.10	0.10	0.10
k_h	[-]	0.28	0.25	0.27
k_d	[-]	2.03	2.07	2.07
		1.39	1.31	1.41



Obr. 39 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 150

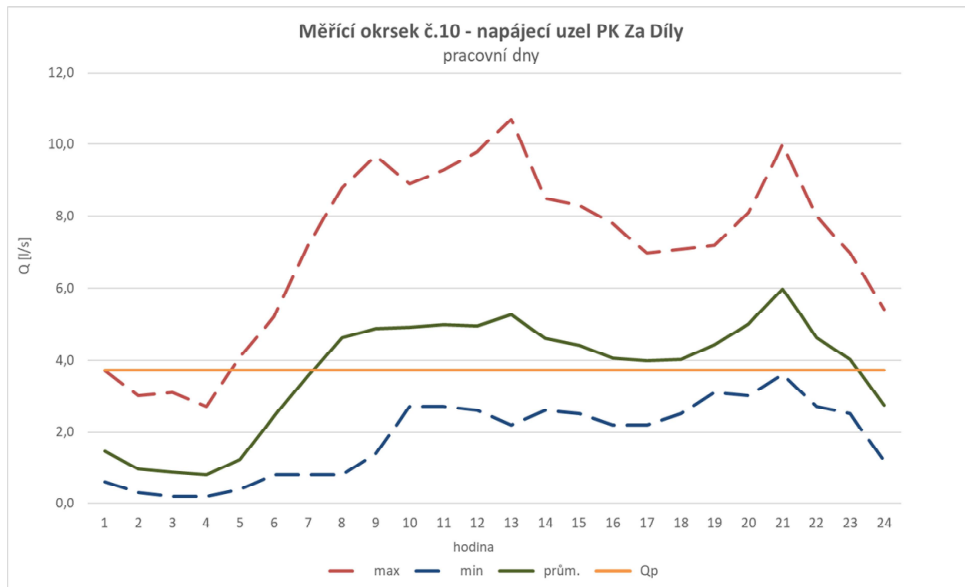


Obr. 40 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 150

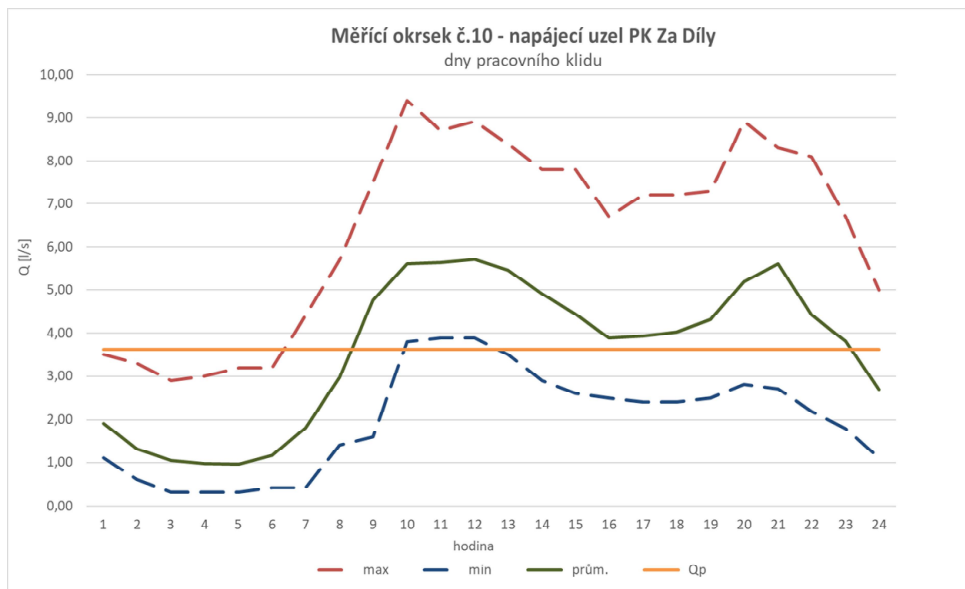
MO 10 - napájecí uzel PK Za Díly – TP 98

Tab. 28 Analýza spotřeby vody v měřícím okrsku č. 10 – TP 98

Měřící okrskek č.10 - napájecí uzel PK Za Díly				
		pracovní dny	dny pracovního klidu	všechny dny
Q _p	[l/s]	3,71	3,62	3,68
Q _m	[l/s] [m ³ /d]	4,82 416,2	4,68 404,3	4,82 416,2
Q _h	[l/s]	10,70	9,40	10,70
Q _{min}	[l/s]	0,20	0,30	0,20
% Q _p	[%]	0,22	0,35	0,23
k _h	[-]	2,22	2,01	2,22
k _d	[-]	1,30	1,29	1,31



Obr. 41 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 98



Obr. 42 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 98

3.4.1 Přehled MNP

Pro dekompozici MNP byly použity hodnoty průtoků ze všech dní, které jsou uvedeny v Tab. 29. V pracovních dnech jsou hodnoty minimálního nočního průtoku zpravidla o něco menší než ve dnech pracovního klidu.

Z uvedených dat je dále patrné, že ve většině spotřebišť nastává období minimálních nočních průtoků dřív v pracovních dnech než ve dnech nepracovních, a to většinou o 1 hodinu, případně je doba výskytu MNP stejná. Tento fakt je následkem toho, že větší % odběratelů je ve dnech pracovního klidu aktivní déle, a v souvislosti s tímto jevem nastává ve dnech pracovního klidu večerní špička odběru zpravidla později než v pracovních dnech (tento jev je patrný z křivek spotřeby vody).

Tab. 29 Přehled minimálních průtoků v zájmových měřicích okrscích

MO	charakter MO	pracovní dny		dny prac. klidu		všechny dny	
		Q_{\min} [l·s ⁻¹]	období výskytu	Q_{\min} [l·s ⁻¹]	období výskytu	Q_{\min} [l·s ⁻¹]	období výskytu
MO 1	smíšená měst.zást.	0,50	2:00 - 3:00	1,00	3:00 - 4:00	0,50	3:00 - 4:00
MO 2	individuální zást.	0,40	3:00 - 4:00	0,50	3:00 - 4:00	0,40	3:00 - 4:00
MO 3	sídlištní zást.	0,05	3:00 - 4:00	0,05	2:00 - 3:00	0,10	3:00 - 4:00
MO 4	smíšená měst. zást.	0,25	3:00 - 4:00	0,50	3:00 - 4:00	0,30	3:00 - 4:00
MO 5	vod. malých obcí	0,03	3:00 - 4:00	0,03	3:00 - 4:00	0,03	3:00 - 4:00
MO 6	vod. malých obcí	0,28	5:00 - 6:00	0,28	5:00 - 6:00	0,28	5:00 - 6:00
MO 7	vod. malých obcí	0,10	3:00 - 4:00	0,10	3:00 - 4:00	0,10	3:00 - 4:00
MO 10	individuální zást.	0,20	3:00 - 4:00	0,30	3:00 - 4:00	0,20	3:00 - 4:00

3.4.2 Vyhodnocení spotřeby vody a stanovení MNP

Průběhy křivek spotřeby vody v jednotlivých měřicích okrscích odpovídají svým průběhem běžné spotřebě vody vzhledem k charakteru spotřebišť.

Vyčištěním surových vstupních dat podle pravidla 3σ byla data zbavena mimořádně vysokých a mimořádně nízkých hodnot průtoků. Z těchto dat byly sestaveny křivky spotřeby vody v jednotlivých měřicích okrscích včetně obalových křivek. U některých měřicích okrsků (konkrétně MO 5 a MO 6) je patrné, že obalové křivky nemají vyhlazený tvar, jsou skokovité nebo mají tvar přímky. Důvodem tohoto jevu je malá přesnost měřicích zařízení.

V Tab. 30 jsou uvedeny 4 hodnoty minimálních nočních průtoků. Q_{\min} je minimální noční průtok z dat po vyčištění, $Q_{\min,prům}$ je průměrná hodnota minimálního nočního průtoku (nejmenší průměrný průtok během dne), $Q_{\min,sur}$ je hodnota minimálního nočního průtoku ze surových dat (před vyčištěním dle pravidla 3σ), $Q_{\min,ILI=1}$ je teoretická hodnota minimálního nočního průtoku, pokud by byl index ztrát infrastruktury $ILI = 1,0$. Hodnota $ILI = 1,0$ vypovídá o tom, že daná vodovodní síť je velice dobře provozována a je v dobrém stavu.

Tab. 30 Přehled MNP v závislosti na zdroji dat

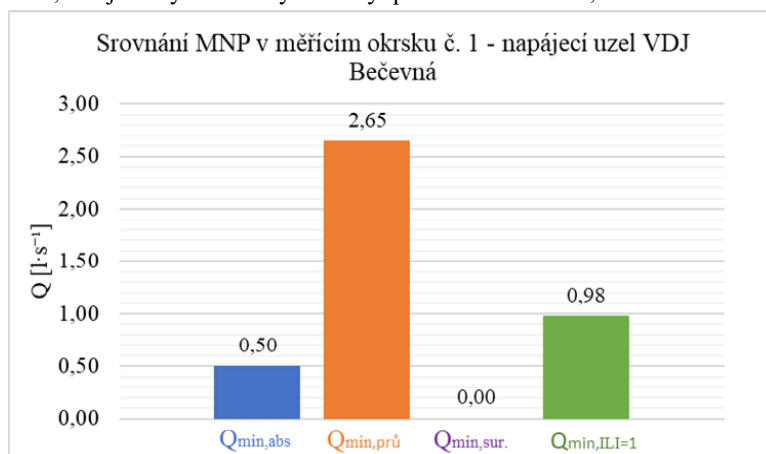
MO	charakter měřicího okrsku	Q_{min} [l·s ⁻¹]	$Q_{min,prům}$ [l·s ⁻¹]	$Q_{min,sur.}$ [l·s ⁻¹]	$Q_{min,ILI=1}$ [l·s ⁻¹]
MO 1	smíšená městská zástavba	0,50	2,65	0,00	0,98
MO 2	individuální zástavba	0,40	0,70	0,00	0,25
MO 3	sídlištní zástavba	0,10	0,13	0,00	0,04
MO 4	smíšená městská zástavba	0,30	1,08	0,00	0,20
MO 5	vodovody malých obcí	0,03	0,10	0,00	0,09
MO 6	vodovody malých obcí	0,28	0,31	0,00	0,17
MO 7	vodovody malých obcí	0,10	0,36	0,00	0,11
MO 10	individuální zástavba	0,20	0,85	0,00	0,22

Dá se říct, že $Q_{min,ILI=1}$ je ideální hodnota minimálního nočního průtoků. Taková hodnota průtoků by nastala v dobře provozované síti, která je velmi dobrém technickém stavu. Pokud hodnota Q_{min} není zatížena chybou měření průtokoměru (nebo je chyba měření menší, než je maximální dovolená chyba MPE) můžeme konstatovat, že Q_{min} je reálná hodnota MNP. Mezi $Q_{min,ILI=1}$ a Q_{min} by tedy neměl být velký rozdíl. Pokud je ale $Q_{min,ILI=1}$ výrazně větší než Q_{min} – při stanovování Q_{min} došlo k chybě nebo je okresek zásobován dalším zdrojem, který nebyl při analýze průtoků uvažován.

Ve většině měřicích okrscích jsou si hodnoty Q_{min} a $Q_{min,ILI=1}$ blízké. To svědčí o tom, že vodovodní síť je v opravdu dobrém technickém stavu a osazené průtokoměry měří přesně.

3.4.3 Vyhodnocení spotřeby vody MO1 – napájecí uzel Bečevná

Měřicí okresek č. 1 je tvořen tlakovým pásmem TP 180 a tvoří centrum města. Podle výsledků srovnání MNP v Tab. 30 je hodnota naměřeného minimálního nočního průtoků Q_{min} téměř dvakrát menší, než jaká by teoreticky měla být při hodnotě $ILI = 1,0$.



Obr. 43 Srovnání MNP v měřicím okrsku č. 1

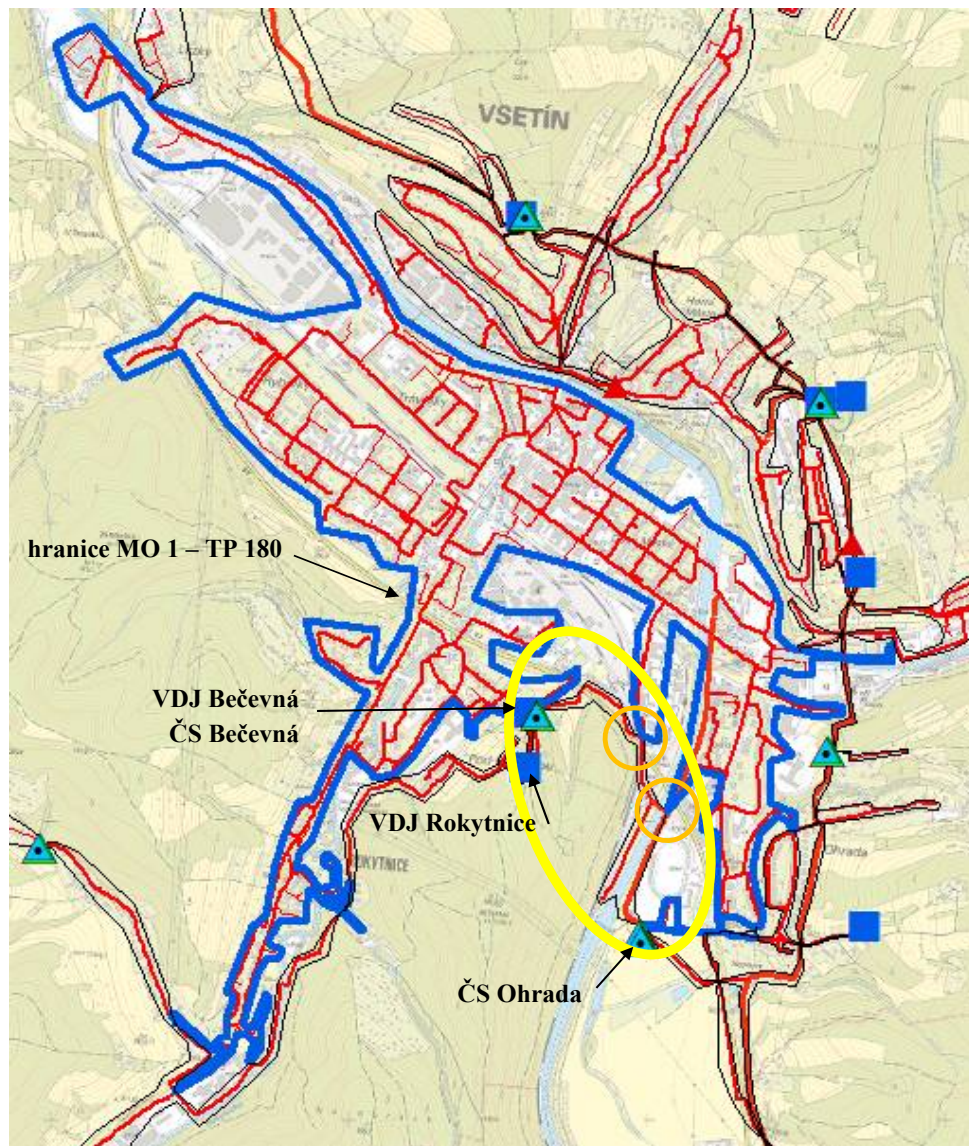
Vzhledem k charakteru tohoto měřicího okrsku, jeho velikosti, počtu vodovodních přípojek, předpokládaného počtu zásobovaných obyvatel a velkému množství velkoodběratelů lze konstatovat, že hodnota naměřeného minimálního nočního průtoku $0,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ je příliš malá a není to způsobeno chybou při statistickém zpracování dat. Nabízí se vysvětlení, že do měřicího okrsku se voda dostává zkratovým proudem, tedy i jinak než jen odtokem z vodojemu Bečevná.

Této možnosti nasvědčují i výsledky dekompozice MNP (viz Tab. 33 v kapitole 3.6), podle kterých je sice očekávaná noční spotřeba mírně vyšší než naměřený minimální odtok z vodojemu do spotřebišť, ale pokud se do výpočtu zahrnou i jisté ztráty, které na síti vznikají (úniky netěsnostmi potrubí, skryté ztráty na přípojkách apod.) je celková noční spotřeba vody (respektive množství vody, které by síť mělo protéct) větší než naměřený MNP.

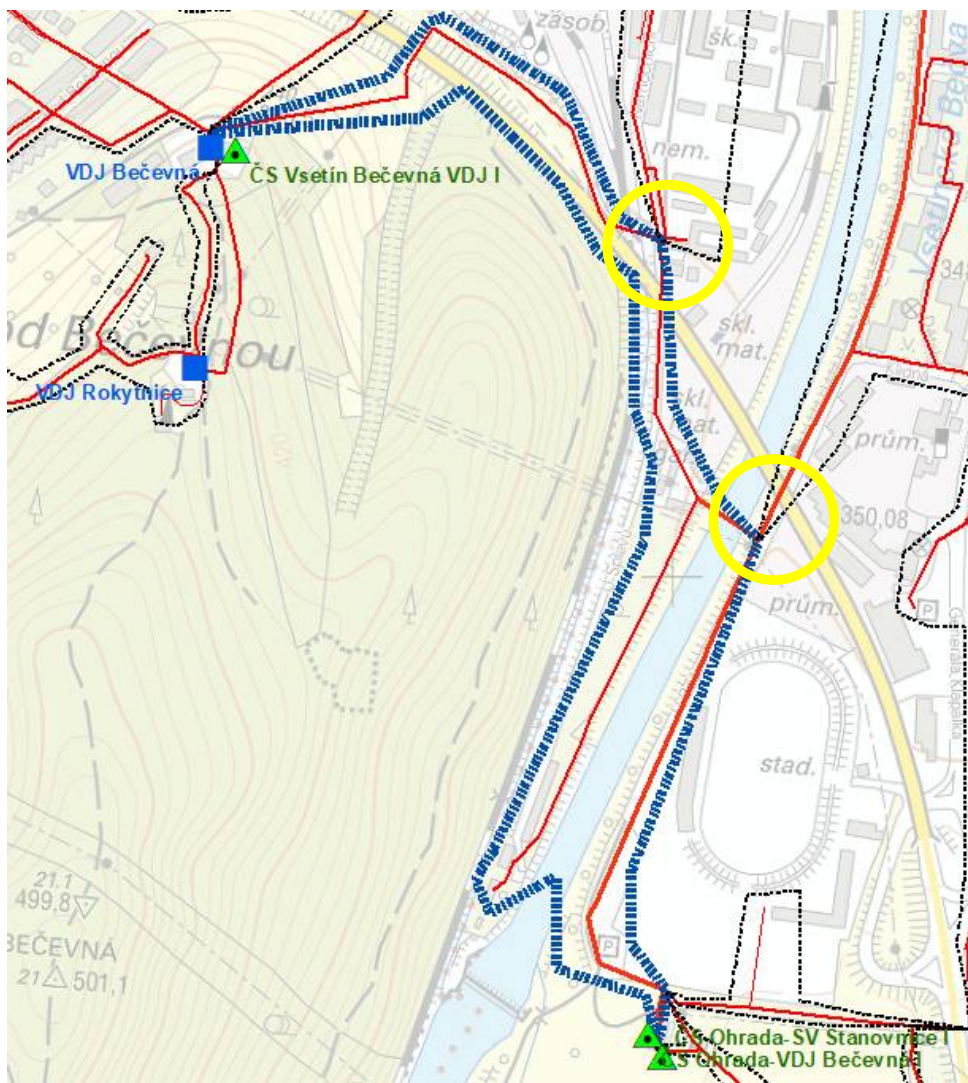
Teorii zkratového proudu potvrzují i výsledky analýzy spotřeby vody z ČS Vsetín Ohrada a ČS VDJ Bečevná. Analýza spotřeby vody byla na těchto objektech zpracována v rámci *Hydraulické analýzy vodovodní sítě města Vsetín*. Při porovnání odtoků z ČS Vsetín Ohrada a odtoků z VDJ Bečevná a z ČS VDJ Bečevná, která čerpá vodu do vodojemu Rokytnice, bylo zjištěno, že na výtlačku z ČS Vsetín Ohrada do VDJ Bečevná dochází buď k chybě měření, velkým ztrátám vody nebo je potrubí výtlačku propojeno jinak, než bylo v rámci zpracování analýzy předpokládáno. Podle měřených odtoků ze všech 3 zainteresovaných objektů, které jsou uvedeny v 0 je patrné, že denně do VDJ Bečevná z ČS Vsetín Ohrada nedoteče 420 m^3 vody. Příčinou vzniku tohoto deficitu jsou pravděpodobně nedovírající ventily. Na Obr. 45 je detail výtlačného řadu mezi ČS Ohrada a vodojemem Bečevná a žlutě je zde vyznačeno umístění uzavíracích armatur, které od sebe odděluje TP 180 a výtlačný řad do vodojemu Bečevná.

Tab. 31 Ztráty na výtlačku do VDJ Bečevná

Název objektu	Q_p		
	$[\text{l}\cdot\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\cdot\text{den}^{-1}]$	$[\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}]$
ČS Vsetín Ohrada	26,81	2 316	846 059
ČS VDJ Bečevná	3,43	296	108 243
VDJ Bečevná	18,52	1 600	584 447
DEFICIT	4,86	420	153 369



Obr. 44 Měřící okrsek č.1 – napájecí uzel VDJ Bečevná, TP 180



Obr. 45 Výtlak ČS Ohrada – VDJ Bečevná

3.5 DEKOMPOZICE MNP

Pro všech 8 zkoumaných měřicích okrsků byla provedena dekompozice MNP na jeho jednotlivé složky. [35]

Jako vstupní hodnoty byly zadány charakteristiky měřicího okrsku:

- délka vodovodního řádu [km],
- počet vodovodních přípojek,
- počet bytových jednotek,
- počet zásobovaných obyvatel,
- průměrný provozní tlak v měřicím okrsku [m v.sl.],

- naměřený minimální noční průtok [$l \cdot s^{-1}$].

Dalšími vstupními údaji byly doporučené hodnoty objemu skrytých ztrát, tyto hodnoty byly zadány na základě informací ze zdroje [35] a slouží pro výpočet objemu skrytých úniků a běžné noční spotřeby domácností. Jsou to:

- skryté ztráty na vodovodním potrubí,
- skryté ztráty na přípojkách,
- skryté ztráty na vnitřním vodovodu,
- % aktivních obyvatel během noci,
- specifický průtok pro obyvatelstvo.

3.5.1 Výpočet běžné noční spotřeby

Běžná noční spotřeba se stanovuje na základě určitých norem a předpokladů, které byly odvozeny z mnohaletých zkušeností a mezinárodního výzkumu.

Celková běžná noční spotřeba Q_{NS} je složena ze 3 složek:

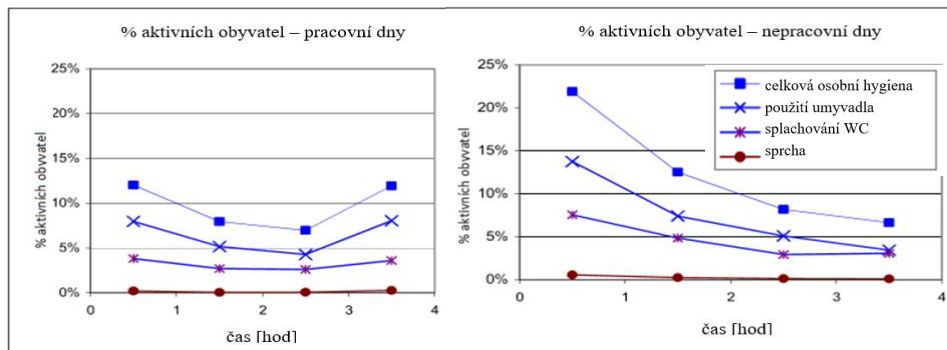
- $Q_{NS,D}$ – běžná noční spotřeba domácností,
- $Q_{NS,OO}$ – běžná noční spotřeba ostatních odběratelů,
- $Q_{NS,VO}$ – běžná noční spotřeba velkoodběratelů.

Běžná noční spotřeba pro domácnosti – $Q_{NS,D}$

Množství vody odebrané domácnostmi během období MNP vychází z množství aktivních obyvatel během tohoto období.

Hodnota % aktivních obyvatel je závislá na tom, jestli se jedná o pracovní nebo nepracovní dny, a dále závisí na činnosti. Na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** vpravo je zobrazena závislost % aktivních obyvatel (svislá osa) na čase (vodorovná osa) v pracovních dnech a vlevo o víkendech. Z obrázku je patrné že o víkendech je % aktivních obyvatel vyšší – větší část populace zůstává déle vzhůru, což ovlivňuje i čas jejich osobní hygieny. Grafy zobrazují křivky (odshora) – celková osobní hygiena, použití umyvadla, splachování toalet, sprchování. [36]

Literatura uvádí, že během celého dne, a tedy i v noci, je aktivních 3–10 % obyvatelstva, a průměrně tedy cca 6 %. [35]



Obr. 46 % aktivních obyvatel v pracovních (vlevo) a v nepracovních dnech (vpravo) [36]

Běžná noční spotřeba pro domácnosti se stanoví pomocí vztahu:

$$Q_{NS,D} = \frac{PO \cdot \%AO \cdot q_{SPEC,NS}}{1000} \quad (3.1)$$

kde	$Q_{NS,D}$	běžná noční spotřeba pro domácnosti [$m^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]
	PO	počet zásobovaných obyvatel
	%AO	procento aktivních obyvatel v období MNP [%]
	$q_{SPEC,NS}$	specifický průtok pro obyvatelstvo v období MNP [$l \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$]

Hodnota specifického průtoky pro obyvatelstvo vychází ze skutečnosti, že většina vody, která je ze sítě odebírána je použita na spláchnutí WC. Potřeba vody na jedno spláchnutí je 5–12 l. Určení této spotřeby vody nemusí úplně korespondovat s realitou, ale tento jednoduchý výpočet nám dává alespoň přibližný přehled o tom, jaké průtoky se v daném měřicím okrsku mohou vyskytovat. Pokud je hodnota nočních průtoků dlouhodobě výrazně větší, je to známka úniků vody z potrubí. Pro kontrolu, jestli se nejedná například o plýtvání vodou spotřebiteli nebo černý odběr nám může pomoci porovnání s průtoky odpadních vod ve splaškové kanalizaci.

Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele – $Q_{NS,oo}$

Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele vychází z občanské vybavenosti. Stanovení této spotřeby není tak snadné jako u spotřeby domácností, protože úzce závisí na typu provozovaného podniku. Z praktického hlediska je nesmyslné, aby se u větších měřicích okrsků, které mají charakter městské smíšené zástavby, a tudíž je zde velké množství drobných podniků, zaznamenávala noční spotřeba vody ve všech těchto podnicích. Z tohoto důvodu jsou jednotliví spotřebitelé rozděleni do kategorií A–E podle přibližně shodné hodnoty jejich skutečného odběru. Ve předposledním sloupci v Tab. 32 je uvedena průměrná spotřeba vody aktivních podniků, v posledním sloupci (úplně vpravo) je tato hodnota vztažena na veškeré zkoumané podniky (aktivní i neaktivní).

Pokud máme v měřicím okrsku nějaké ostatní odběratele, u kterých víme, že je u nich možný noční odběr (vysokoškolské koleje, hotely, ČOV, policejní nebo požární stanice, sanatoria) pro výpočet používáme hodnoty ze sloupce „Průměrná spotřeba pro aktivní“. [35]

U odběratelů, u kterých se nepředpokládá účast na spotřebě vody během období minimálního nočního průtoky je uvažována spotřeba $0 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$.

Tab. 32 Průměrné hodnoty nočních průtoků pro různé drobné odběratele [35]

Kategorie		Počet testovaných celkem	Počet aktivních během noci	Průměrná spotřeba pro aktivní [l.příp. ⁻¹ .h ⁻¹]	Průměrná spotřeba pro všechny [l.příp. ⁻¹ .h ⁻¹]
A	Požární/policejní stanice, banky, kostely, zahrady, úpravny vody, ČOV	123	16	7,0	0,9
B	Obchody, kanceláře, prádelny, garáže, čerpací stanice, farmy, ...	2013	606	20,5	6,2
C	Hotely, koleje, kavárny, restaurace, ubytovny	505	244	26,0	12,6
D	Nemocnice, továrny, veřejné WC, staveniště	205	79	53,0	20,5
E	Domovy důchodců, menší doly a lom, sanatoria	33	25	80,0	60,6

Běžná noční spotřeba pro velkodběratele – $Q_{NS,VO}$

Za velkodběratele je považován takový odběratel, jehož spotřeba je větší než 500 l·hod⁻¹. Spotřeba vody během noci těmito velkodběrateli je měřena individuálně, protože tito odběratelé mohou mít významný vliv na analýzu minimálních nočních průtoků. Do této kategorie spadají například letiště, velké hotely, koupaliště, pivovary a podobně. [35]

Celková běžná noční spotřeba – Q_{NS}

Celková běžná noční spotřeba se stanoví jako součet spotřeby vody pro domácnosti, ostatní odběratele a velkodběratele:

$$Q_{NS} = Q_{NS,D} + Q_{NS,OO} + Q_{NS,VO} \quad (3.2)$$

kde Q_{NS} celková běžná noční spotřeba [m³·hod⁻¹], [l·s⁻¹]
 $Q_{NS,D}$ běžná noční spotřeba domácností [m³·hod⁻¹], [l·s⁻¹]
 $Q_{NS,OO}$ běžná noční spotřeba ostatních odběratelů [m³·hod⁻¹], [l·s⁻¹]
 $Q_{NS,VO}$ běžná noční spotřeba velkodběratelů [m³·hod⁻¹], [l·s⁻¹]

3.5.2 Výpočet skrytých úniků

Za skryté úniky považujeme především úniky vody ze spojů vodovodního potrubí, a to jak samotných trub, tak i armatur a tvarovek. Může se jednat také o drobné praskliny v potrubí. Rozsah a celkový objem těchto úniků závisí na provozním tlaku a na technickém stavu sítě. Hydrostatický a hydrodynamický tlak má velký vliv na poruchovost sítě – hlavně absolutní hodnoty tlaku. Stavem infrastruktury se rozumí stáří potrubí, armatur, tvarovek a také kvalita údržby a způsob provozování.

Pro potřeby posouzení minimálních nočních průtoků je nejvhodnější, aby všechny vstupní parametry byly určeny za provozního tlaku 50 m v.sl., protože pro tuto hodnotu tlaku byly

stanoveny intervaly hodnot dílčích složek skrytých úniků. A vzhledem k tomu, že se v síti mohou vyskytovat i jiné tlaky, než je hodnota 50 m v. sl. je potřeba vstupní parametry upravit, podle konceptu FAVAD. [35]

Rozlišujeme a počítáme 3 druhy skrytých úniků:

- $Q_{SU,VOD}$ – skryté úniky na vodovodních řadech,
- $Q_{SU,PRIP}$ – skryté úniky na přípojkách,
- $Q_{SU,VV}$ – skryté úniky na vnitřním vodovodu.

Skryté úniky na vodovodních řadech

Tyto úniky vznikají při netěsnostech spojů potrubí a při přítomnosti trhlin nebo otvorů v potrubí řadu. Velikost úniků je závislá na technickém stavu sítě a také na hodnotě provozního tlaku.

Skrytý únik na vodovodních řadech se vypočítá dle vztahu:

$$Q_{SU,VOD} = \frac{L \cdot q_{JSU,VOD}}{1000} \quad (3.3)$$

kde	$Q_{SU,VOD}$	skryté úniky na vodovodní síti [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$], [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]
	L	délka vodovodní sítě [km]
	$q_{JSU,VOD}$	jednotkový skrytý únik na km řadu [$\text{l} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$]

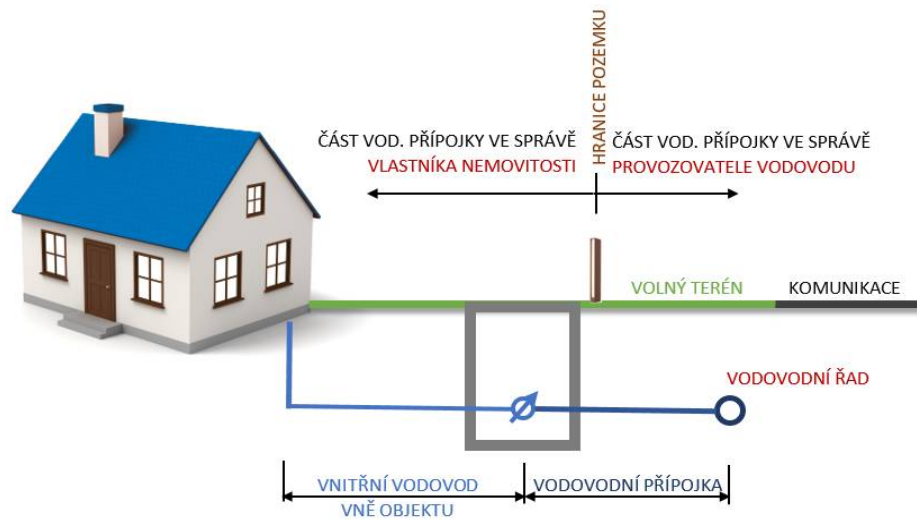
Hodnota jednotkového skrytého úniku na 1 km řadu vodovodní sítě v průměrném technickém stavu se volí z intervalu 20–60 $\text{l} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$, a vychází se z toho, že průměrná hodnota je 40 $\text{l} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$ s možným rozsahem $\pm 50\%$. [35]

Skryté úniky na vodovodních přípojkách

Pokud nemáme informace o počtu přípojek, vycházíme z předpokladu, že každá nemovitost má pouze jednu přípojku.

Za vodovodní přípojku se podle zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu považuje úsek potrubí od odbočení z vodovodního řadu k vodoměru. Potrubí včetně všech armatur a tvarovek od vodoměru až po výtokové armatury v nemovitosti je považováno za vnitřní vodovod.

Úniky na vodovodních přípojkách mohou být způsobeny špatným provedením napojení na vodovodní řad, opotřebením i stárí materiálu. Úniky na vodovodních přípojkách mohou být v některých případech hlavní složkou ztrát vody. Jednotkový skrytý únik na přípojku se pohybuje v intervalu 1,5–4,5 $\text{l} \cdot \text{příp.}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$. [35]



Obr. 47 Schéma napojení nemovitosti na vodovodní řad

Skrytý únik na vodovodních přípojkách se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{SU,PRIP} = \frac{PP \cdot q_{JSU,PRIP}}{1000} \quad (3.4)$$

kde $Q_{SU,PRIP}$ skryté úniky na vodovodních přípojkách [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
 PP počet přípojek [ks]
 $q_{JSU,PRIP}$ jednotkový skrytý únik na vodovodní přípojku [$l \cdot příp^{-1} \cdot hod^{-1}$]

Skryté úniky na vnitřních vodovodech

Těmito úniky jsou myšleny úniky vody na potrubí, spojích, tvarovkách a armaturách uvnitř i vně budovy za vodoměrem, tedy na straně spotřebitele. Hodnota skrytého úniku na bytovou jednotku se pohybuje v intervalu 0,5–1,5 $l \cdot příp^{-1} \cdot hod^{-1}$. Tato hodnota je velice závislá na technickém stavu jak vnější části vodovodu, tak i vnitřních rozvodů. Ztráty na vnitřním vodovodu sice nejsou součástí vody nefakturované, jsou ale složkou minimálního nočního průtoku. [35]

Skryté ztráty na vnitřních vodovodech se vypočítají ze vztahu:

$$Q_{SU,VV} = \frac{BJ \cdot q_{JSU,BJ}}{1000} \quad (3.5)$$

kde $Q_{SU,VV}$ skryté úniky na vnitřních vodovodech [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
 BJ počet bytových jednotek [ks]
 $q_{JSU,BJ}$ jednotkový skrytý únik na bytovou jednotku [$l \cdot bj^{-1} \cdot hod^{-1}$]

Celkové skryté úniky - Q_{SU}

Prvním krokem pro určení celkového skrytého úniku je suma dílčích složek.

$$Q_{SU} = Q_{SU,VOD} + Q_{SU,PRIP} + Q_{SU,VV} \quad (3.6)$$

kde	$Q_{SU,SU}$	celkové skryté úniky [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	$Q_{SU,VOD}$	skryté úniky na vodovodních řadech [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	$Q_{SU,PRIP}$	skryté úniky na vodovodních přípojkách [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	$Q_{SU,VV}$	skryté úniky na vnitřních vodovodech [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]

Takto stanovená hodnota je velikost úniku při provozním tlaku 50 m v.sl., aby byla určena skutečná hodnota úniku, musí se využít konceptu FAVAD a získané hodnoty ztrát se musí upravit pro skutečný průměrný provozní tlak v síti, a to podle vzorce: [35]

$$SU_1 = SU_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N^1} \quad (3.7)$$

kde	SU_0	suma skrytých úniků při tlaku 50 m v. sl. [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$] neboli Q_{SU}
	SU_1	suma skrytých úniků při průměrném provozním tlaku [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	P_0	výchozí tlak [m v. sl.]
	P_1	průměrný provozní tlak [m v. sl.]
	N^1	opravný součinitel tlaku

3.5.3 Ztráty způsobené poruchami potrubí

Je-li stanovena úroveň běžné noční spotřeby Q_{NS} a skrytých úniků SU lze přibližně stanovit množství ztrát způsobené poruchami/haváriemi na potrubí Q_{POR} . Odečtením hodnoty běžné noční spotřeby a hodnoty skrytých úniků od skutečně změřeného minimálního nočního průtoků získáme množství ztrát způsobených nenahlášenými úniky (poruchami/haváriemi). Pro výpočet používáme jednotky [$m^3 \cdot hod^{-1}$] nebo [$l \cdot s^{-1}$].

$$Q_{POR} = MNP - Q_{NS} - Q_{SU} \quad (3.8)$$

kde	Q_{POR}	ztráty způsobené poruchami [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	MNP	Minimální noční průtok [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	Q_{NS}	Celková běžná noční spotřeba [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]
	Q_{SU}	Celkové skryté úniky [$m^3 \cdot hod^{-1}$], [$l \cdot s^{-1}$]

3.6 VYHODNOCENÍ MNP VE SPOTŘEBIŠTI VSETÍN

V následujících kapitolách jsou uvedeny výsledky dekompozice minimálních nočních průtoků a vypočítané ukazatele ztrát vody pro jednotlivé měřicí okrsky.

V Tab. 33 až Tab. 40 jsou uvedeny přehledy výsledků dekompozice MNP v jednotlivých okrscích.

Tab. 33 Dekompozice MNP pro MO 1 – napájecí uzel VDJ Bečevná

MO 1 napájecí uzel VDJ Bečevná			
VSTUPNÍ ÚDAJE			
MNP	Naměřený minimální noční průtok		0,50 l·s ⁻¹
q _{JSU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		20,00 l·km ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{JSU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		1,00 l·příp ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{JSU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,05 l·bj ⁻¹ ·hod ⁻¹
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci		3,0 %
q _{SPEC,NS}	Specifický průtok pro obyvatelstvo		5,00 l·os ⁻¹ ·hod ⁻¹
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY			
Q _{NS,D}	Běžná noční spotřeba domácnosti		1,359 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,OO}	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé		0,185 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,VO}	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé		0,000 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS}	Běžná noční spotřeba celkem		1,544 m ³ ·hod ⁻¹
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT			
Q _{SU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		0,691 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,883 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,305 m ³ ·hod ⁻¹
SU ₀	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.		1,879 m ³ ·hod ⁻¹
N ¹	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD		1,0 -
SU ₁	Celkové skryté ztráty při tlaku 51,43 m v.sl.		1,933 m ³ ·hod ⁻¹
SUMARIZACE			
Q _{SU}	Celkový skrytý noční únik	1,933 m ³ ·hod ⁻¹ =	0,537 l·s ⁻¹
Q _{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	1,544 m ³ ·hod ⁻¹ =	0,429 l·s ⁻¹
NS	Celková noční spotřeba	3,477 m ³ ·hod ⁻¹ =	0,966 l·s ⁻¹
MNP	Naměřený minimální noční průtok	1,800 m ³ ·hod ⁻¹ =	0,500 l·s ⁻¹
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik	-1,677 m³·hod⁻¹ =	-0,466 l·s⁻¹

Tab. 34 Dekompozice MNP pro MO 2 – napájecí uzel VDJ Hrbová

MO 2 napájecí uzel VDJ Hrbová			
VSTUPNÍ ÚDAJE			
MNP	Naměřený minimální noční průtok		0,40 l·s ⁻¹
q _{JSU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		20,00 l·km ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{JSU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		1,50 l·příp ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{JSU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,50 l·bj ⁻¹ ·hod ⁻¹
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci		3,00 %
q _{SPEC,NS}	Specifický průtok pro obyvatelstvo		5,00 l·os ⁻¹ ·hod ⁻¹
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY			
Q _{NS,D}	Běžná noční spotřeba domácnosti		0,385 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,OO}	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé		0,000 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,VO}	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé		0,000 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS}	Běžná noční spotřeba celkem		0,385 m ³ ·hod ⁻¹
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT			
Q _{SU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		0,196 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,375 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,699 m ³ ·hod ⁻¹
SU ₀	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.		1,270 m ³ ·hod ⁻¹
N ¹	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD		1,5 -
SU ₁	Celkové skryté ztráty při tlaku	43,42 m v.sl.	1,028 m ³ ·hod ⁻¹
SUMARIZACE			
Q _{SU}	Celkový skrytý noční únik	1,028 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,285 l·s ⁻¹
Q _{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,385 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,107 l·s ⁻¹
NS	Celková noční spotřeba	1,413 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,392 l·s ⁻¹
MNP	Naměřený minimální noční průtok	1,440 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,400 l·s ⁻¹
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik	0,027 m³·hod⁻¹	= 0,008 l·s⁻¹

Tab. 35 Dekompozice MNP pro MO 3 – napájecí uzel VDJ Sychrov HTP

MO 3 napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP			
VSTUPNÍ ÚDAJE			
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,05	$l \cdot s^{-1}$
$q_{JSU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu	15,00	$l \cdot km^{-1} \cdot hod^{-1}$
$q_{JSU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách	1,00	$l \cdot příp^{-1} \cdot hod^{-1}$
$q_{JSU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech	0,01	$l \cdot bj^{-1} \cdot hod^{-1}$
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci	1,5	%
$q_{SPEC,NS}$	Specifický průtok pro obyvatelstvo	5,00	$l \cdot os^{-1} \cdot hod^{-1}$
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY			
$Q_{NS,D}$	Běžná noční spotřeba domácnosti	0,056	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{NS,OO}$	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé	0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{NS,VO}$	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé	0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$
Q_{NS}	Běžná noční spotřeba celkem	0,056	$m^3 \cdot hod^{-1}$
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT			
$Q_{SU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu	0,042	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{SU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách	0,072	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{SU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech	0,025	$m^3 \cdot hod^{-1}$
SU_0	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.	0,140	$m^3 \cdot hod^{-1}$
N^1	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD	1,5	-
SU_1	Celkové skryté ztráty při tlaku 43,46 m v.sl.	0,113	$m^3 \cdot hod^{-1}$
SUMARIZACE			
Q_{SU}	Celkový skrytý noční únik	0,113	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,031 l \cdot s^{-1}$
Q_{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,056	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,015 l \cdot s^{-1}$
NS	Celková noční spotřeba	0,169	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,047 l \cdot s^{-1}$
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,180	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,050 l \cdot s^{-1}$
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik	0,011	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,003 l \cdot s^{-1}$

Tab. 36 Dekompozice MNP pro MO 4 – napájecí uzel VDJ Sychrov DTP

MO 4 napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov DTP				
VSTUPNÍ ÚDAJE				
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,25	$l \cdot s^{-1}$	
$q_{JSU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu	20,00	$l \cdot km^{-1} \cdot hod^{-1}$	
$q_{JSU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách	1,50	$l \cdot příp^{-1} \cdot hod^{-1}$	
$q_{JSU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech	0,05	$l \cdot bj^{-1} \cdot hod^{-1}$	
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci	3,0	%	
$q_{SPEC,NS}$	Specifický průtok pro obyvatelstvo	5,00	$l \cdot os^{-1} \cdot hod^{-1}$	
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY				
$Q_{NS,D}$	Běžná noční spotřeba domácnosti	0,280	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
$Q_{NS,OO}$	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé	0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
$Q_{NS,VO}$	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé	0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
Q_{NS}	Běžná noční spotřeba celkem	0,280	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT				
$Q_{SU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu	0,142	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
$Q_{SU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách	0,273	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
$Q_{SU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech	0,057	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
SU_0	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.	0,472	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
N^1	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD	1,5	-	
SU_1	Celkové skryté ztráty při tlaku 48,69 m v.sl.	0,453	$m^3 \cdot hod^{-1}$	
SUMARIZACE				
Q_{SU}	Celkový skrytý noční únik	0,453	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,126$	$l \cdot s^{-1}$
Q_{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,280	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,078$	$l \cdot s^{-1}$
NS	Celková noční spotřeba	0,733	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,204$	$l \cdot s^{-1}$
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,900	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,250$	$l \cdot s^{-1}$
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik	0,167	$m^3 \cdot hod^{-1} = 0,046$	$l \cdot s^{-1}$

Tab. 37 Dekompozice MNP pro MO 5 – napájecí uzel VDJ Bobrky

MO 5 napájecí uzel VDJ Bobrky			
VSTUPNÍ ÚDAJE			
MNP	Naměřený minimální noční průtok		0,03 l·s ⁻¹
q _{SU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		10,00 l·km ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{SU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,20 l·příp ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{SU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,05 l·bj ⁻¹ ·hod ⁻¹
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci		1,5 %
q _{SPEC,NS}	Specifický průtok pro obyvatelstvo		5,00 l·os ⁻¹ ·hod ⁻¹
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY			
Q _{NS,D}	Běžná noční spotřeba domácnosti		0,020 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,OO}	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé		0,000 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,VO}	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé		0,000 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS}	Běžná noční spotřeba celkem		0,020 m ³ ·hod ⁻¹
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT			
Q _{SU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		0,059 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,030 m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,004 m ³ ·hod ⁻¹
SU ₀	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.		0,093 m ³ ·hod ⁻¹
N ¹	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD		1,5 -
SU ₁	Celkové skryté ztráty při tlaku	46,45 m v.sl.	0,083 m ³ ·hod ⁻¹
SUMARIZACE			
Q _{SU}	Celkový skrytý noční únik	0,083 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,023 l·s ⁻¹
Q _{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,020 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,005 l·s ⁻¹
NS	Celková noční spotřeba	0,103 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,029 l·s ⁻¹
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,108 m ³ ·hod ⁻¹	= 0,030 l·s ⁻¹
Q _{POR}	Potencionální poruchový únik	0,005 m³·hod⁻¹	= 0,001 l·s⁻¹

Tab. 38 Dekompozice MNP pro MO 6 – napájecí uzel VDJ Vesník

MO 6 napájecí uzel VDJ Vesník				
VSTUPNÍ ÚDAJE				
MNP	Naměřený minimální noční průtok		0,28	l·s ⁻¹
q _{SU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		25,00	l·km ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{SU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		1,50	l·příp ⁻¹ ·hod ⁻¹
q _{SU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,50	l·bj ⁻¹ ·hod ⁻¹
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci		3,0	%
q _{SPEC,NS}	Specifický průtok pro obyvatelstvo		5,00	l·os ⁻¹ ·hod ⁻¹
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY				
Q _{NS,D}	Běžná noční spotřeba domácnosti		0,059	m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,OO}	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé		0,000	m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS,VO}	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé		0,000	m ³ ·hod ⁻¹
Q _{NS}	Běžná noční spotřeba celkem		0,059	m ³ ·hod ⁻¹
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT				
Q _{SU,VOD}	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		0,183	m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,PŘÍP}	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,281	m ³ ·hod ⁻¹
Q _{SU,VV}	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,065	m ³ ·hod ⁻¹
SU ₀	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.		0,530	m ³ ·hod ⁻¹
N ¹	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD		1,5	-
SU ₁	Celkové skryté ztráty při tlaku	60,76 m v.sl.	0,710	m ³ ·hod ⁻¹
SUMARIZACE				
Q _{SU}	Celkový skrytý noční únik	0,710	m ³ ·hod ⁻¹ =	0,197 l·s ⁻¹
Q _{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,059	m ³ ·hod ⁻¹ =	0,016 l·s ⁻¹
NS	Celková noční spotřeba	0,768	m ³ ·hod ⁻¹ =	0,213 l·s ⁻¹
MNP	Naměřený minimální noční průtok	1,008	m ³ ·hod ⁻¹ =	0,280 l·s ⁻¹
Q _{POR}	Potencionální poruchový únik	0,240	m³·hod⁻¹ =	0,067 l·s⁻¹

Tab. 39 Dekompozice MNP pro MO 7 – napájecí uzel VDJ Ohrada IBV

MO 7 napájecí uzel VDJ Ohrada IBV				
VSTUPNÍ ÚDAJE				
MNP	Naměřený minimální noční průtok		0,10	$l \cdot s^{-1}$
$q_{SU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		15,00	$l \cdot km^{-1} \cdot hod^{-1}$
$q_{SU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		1,00	$l \cdot příp^{-1} \cdot hod^{-1}$
$q_{SU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,05	$l \cdot bj^{-1} \cdot hod^{-1}$
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci		2,5	%
$q_{SPEC,NS}$	Specifický průtok pro obyvatelstvo		5,00	$l \cdot os^{-1} \cdot hod^{-1}$
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY				
$Q_{NS,D}$	Běžná noční spotřeba domácnosti		0,145	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{NS,OO}$	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé		0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{NS,VO}$	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé		0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$
Q_{NS}	Běžná noční spotřeba celkem		0,145	$m^3 \cdot hod^{-1}$
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT				
$Q_{SU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		0,067	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{SU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,113	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{SU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,006	$m^3 \cdot hod^{-1}$
SU_0	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.		0,186	$m^3 \cdot hod^{-1}$
N^1	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD		1,5	-
SU_1	Celkové skryté ztráty při tlaku	52,24 m v.sl.	0,199	$m^3 \cdot hod^{-1}$
SUMARIZACE				
Q_{SU}	Celkový skrytý noční únik	0,199	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,055 $l \cdot s^{-1}$
Q_{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,145	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,040 $l \cdot s^{-1}$
NS	Celková noční spotřeba	0,344	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,096 $l \cdot s^{-1}$
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,360	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,100 $l \cdot s^{-1}$
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik	0,016	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,004 $l \cdot s^{-1}$

Tab. 40 Dekompozice MNP pro MO 10 – napájecí uzel PK Za Díly

MO 10 napájecí uzel PK Za Díly				
VSTUPNÍ ÚDAJE				
MNP	Naměřený minimální noční průtok		0,20	$l \cdot s^{-1}$
$q_{SU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		15,00	$l \cdot km^{-1} \cdot hod^{-1}$
$q_{SU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		1,00	$l \cdot příp^{-1} \cdot hod^{-1}$
$q_{SU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,05	$l \cdot bj^{-1} \cdot hod^{-1}$
% AO	Aktivní procento obyvatel během noci		2,0	%
$q_{SPEC,NS}$	Specifický průtok pro obyvatelstvo		5,00	$l \cdot os^{-1} \cdot hod^{-1}$
VÝPOČET BĚŽNÉ NOČNÍ SPOTŘEBY				
$Q_{NS,D}$	Běžná noční spotřeba domácnosti		0,285	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{NS,OO}$	Běžná noční spotřeba ostatní odběratelé		0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{NS,VO}$	Běžná noční spotřeba velkoodběratelé		0,000	$m^3 \cdot hod^{-1}$
Q_{NS}	Běžná noční spotřeba celkem		0,285	$m^3 \cdot hod^{-1}$
VÝPOČET SKRYTÝCH ZTRÁT				
$Q_{SU,VOD}$	Skryté ztráty na veřejném vodovodu		0,163	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{SU,PŘÍP}$	Skryté ztráty na vodovodních přípojkách		0,277	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{SU,VV}$	Skryté ztráty na vnitřních vodovodech		0,067	$m^3 \cdot hod^{-1}$
SU_0	Celkové skryté ztráty při tlaku 50 m v. sl.		0,507	$m^3 \cdot hod^{-1}$
N^1	Opravný faktor tlaku N1 dle konceptu FAVAD		1,5	-
SU_1	Celkové skryté ztráty při tlaku	44,64 m v.sl.	0,428	$m^3 \cdot hod^{-1}$
SUMARIZACE				
Q_{SU}	Celkový skrytý noční únik	0,428	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,119 $l \cdot s^{-1}$
Q_{NS}	Celková očekávaná noční spotřeba	0,285	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,079 $l \cdot s^{-1}$
NS	Celková noční spotřeba	0,713	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,198 $l \cdot s^{-1}$
MNP	Naměřený minimální noční průtok	0,720	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,200 $l \cdot s^{-1}$
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik	0,007	$m^3 \cdot hod^{-1} =$	0,002 $l \cdot s^{-1}$

3.6.1 Výsledky dekompozice MNP ve spotřebišti Vsetín

Výsledkem dekompozice MNP je hodnota potencionálního poruchového průtoku. Je to velikost skutečných ztrát, které vznikají při haváriích. Toto množství vody se stanoví jako rozdíl naměřeného MNP a součtu skutečné spotřeby a celkových skrytých ztrát, jejichž vzniku se nedá předejít.

Ve zkoumaných okrscích nabývá hodnota potencionálního poruchové průtoku Q_{POR} velice malých hodnot. Ve většině případů je menší než $0,05 \text{ l.s}^{-1}$. Oprava úniků o velikosti $<0,1 \text{ l.s}^{-1}$ se podle zdroje [18] z důvodu špatné ekonomické návratnosti investice neoplatí odstraňovat. Podle tohoto kritéria můžeme konstatovat, že vodovodní síť města Vsetín je velmi dobrém technickém stavu a nedochází na ní k významným únikům vody.

Potencionální poruchový únik z MO 1 – napájecí uzel Bečevná dosahuje záporných hodnot. To znamená, že množství vody, které ze systému při poruše uniká je větší než množství vody, které tímto okrskem protéká. Tento jev není možný. Výsledky dekompozice MNP pro tento měřící okrsek nejsou správné, protože naměřená hodnota odtoku z vodojemu Bečevná a množství vody, které skutečně protéká trubní sítí, se neshodují. Průtok trubní sítí je „nadlepšen“ o zkratový proud z výtlačného řadu ČS Ohrada – VDJ Bečevná.

V Tab. 41 jsou potencionální poruchové úniky Q_{POR} pomocí faktoru NDF převedeny na denní a následně roční objem ztrát v jednotkách $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$. Toto množství vody, které se ročně z vodovodní sítě ztratí v podobě poruch bylo vynásobeno cenou vodného, která pro rok 2016 byla $45,66 \text{ Kč} \cdot \text{Kč} \cdot \text{m}^{-3}$ včetně 15% DPH.

Tab. 41 Roční objem ztrát

MO	Q_{POR} [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]	N1	CF	NDF [$\text{hod} \cdot \text{den}^{-1}$]	Q_{POR} [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]	Q_{POR} [$\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$]	ZTRÁTY [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$]
MO 1	-1,677	1,00	1,00	23,38	-	-	-
MO 2	0,027	1,50	1,00	23,75	0,65	235,92	10 772 Kč
MO 3	0,011	1,50	1,00	23,82	0,27	97,55	4 454 Kč
MO 4	0,167	1,50	1,00	23,86	3,98	1 451,14	66 259 Kč
MO 5	0,005	1,50	1,00	23,99	0,12	45,48	2 077 Kč
MO 6	0,240	1,50	1,00	24,00	5,76	2 100,61	95 914 Kč
MO 7	0,016	1,50	1,00	23,86	0,38	137,86	6 295 Kč
MO 10	0,007	1,50	1,00	23,87	0,18	64,47	2 944 Kč
				celkem	11,32	4 133,03	188 714 Kč

Podle hodnot uvedených ve sloupci ZTRÁTY (vpravo) můžeme konstatovat, že ztráty vody v uvedených měřících okrscích při poruchách nezpůsobují významné finanční problémy. Svědčí to o tom, že vodovodní síť je velice dobře provozována a poruchy na síti jsou identifikovány a opravovány velice rychle.

3.7 HODNOTY UKAZATELŮ ZTRÁT SPOTŘEBIŠTĚ VSETÍN

Pro stanovení ukazatelů ztrát vody bylo nejdříve nutné stanovit vstupní bilanční údaje. V tomto kroku vzniká jistá nepřesnost dat, protože pro analýzu průtoků a dekompozici MNP byla použita data z období od 1.1.2016 do 31.12.2016. Ukazatelé ztrát jsou ale stanoveny z bilančních údajů za rok 2015. Důvodem, proč nebyla použita data ze stejného roku je ten, že v době započetí stanovování ukazatelů ztrát nebyly vstupní bilanční údaje pro rok 2016 k dispozici.

Tab. 42 Vstupní bilanční údaje 2015

VSTUPNÍ BILANČNÍ ÚDAJE ZA ROK 2015			
VVR	Voda vyrobená k realizaci	1 247 238	m ³ ·rok ⁻¹
VFC	Voda fakturovaná celkem	1 124 272	m ³ ·rok ⁻¹
VNF	Voda nefakturovaná	122 966	m ³ ·rok ⁻¹
VS	Vlastní spotřeba	71 300	m ³ ·rok ⁻¹
ZV	Ztráty vody	51 666	m ³ ·rok ⁻¹

V Tab. 43 jsou uvedeny ukazatelé ztrát pro celou vodovodní síť města Vsetín (tj. pro všech 15 měřících okrsků souhrnně). Hodnoty ukazatelů vypovídají o tom, že vodovodní síť je ve velice dobrém technickém stavu. Pokud provedeme srovnání ukazatele % VNF stanovené pro vodovodní síť města Vsetín s hodnotami tohoto ukazatele stanoveného pro celou Českou republiku pro rok 2015 (% VNF = 16,8 %) a pro veškerou vodovodní síť, která je provozována společností VaK Vsetín, a. s. v téže roce (% VNF = 12,9 %), hodnota tohoto ukazatele pro vodovodní síť města Vsetín je menší než obě výše zmíněné hodnoty.

Tab. 43 Ukazatelé ztrát vody pro celou vodovodní síť Vsetín

UKAZATELE ZTRÁT PRO SPOTŘEBIŠTĚ VSETÍN ZA ROK 2015			
% VNF	% vody nefakturované	9,9	%
JÚVNF	Jednotkový únik vody nefakturované	1 009	m ³ ·km ⁻¹ ·rok ⁻¹
VNFP	Voda nefakturovaná na přípojku	131,4	l·příp ⁻¹ ·den ⁻¹
ILI	Index ztrát infrastruktury	1,21	-
	TNZ Teoreticky nevyhnutelné ztráty	42 716	m ³ ·rok ⁻¹
EIZ	Ekonomický index ztrát	0,30	-
	EI Ekonomický index	1,00	-
	IZ Index ztrát	0,30	-

Aby bylo možné stanovit ukazatele i pro jednotlivé měřící okrsky, bylo nutné pro tyto okrsky nejdříve stanovit hodnoty VVR, VNF a ZV. Jelikož VaK Vsetín, a. s. nevede podrobné záznamy a spotřebě vody v jednotlivých tlakových pásmech, bylo nutné tyto údaje stanovit následovně. Voda vyrobená k realizaci (VVR) byla stanovena z průměrné denní spotřeby vody (Q_p) v daném měřícím okrsku, voda nefakturovaná (VNF) a ztráty vody (ZV) byly

do jednotlivých okrsků rozděleny podle počtu přípojek v daném okrsku. Druhou možností rozdělení VNF a ZV do měřicích okrsků je podle hustoty vodovodní sítě.

V tomto případě byla pro potřeby výpočtů ukazatelů ztrát použita první metoda (rozdělení dle počtu přípojek), a to proto, že největší podíl na celkovém objemu ztrát mívají ztráty na přípojkách (respektive v místě napojení přípojky na řad). Z tohoto důvodu je také hodnota ukazatele VNFP pro všechny měřicí okrsky stejná.

Tab. 44 Přehled ukazatelů ztrát v jednotlivých měřicích okrscích

	MO 1	MO 2	MO 3	MO 4	MO 5	MO 6	MO 7	MO 10
VSTUPNÍ BILANČNÍ ÚDAJE								
VVR [m ³ /rok]	579 316	91 139	43 520	91 139	5 992	19 552	48 565	115 737
VNF [m ³ /rok]	55 523	17 338	1 961	12 797	4 180	6 244	6 141	11 610
ZV [m ³ /rok]	23 329	7 285	824	5 377	1 756	2 623	2 580	4 878
UKAZATELE ZTRÁT								
% VNF	9,6	19,0	4,4	10,0	66,3	29,1	12,6	10,0
JÚVNF [m ³ ·km ⁻¹ ·rok ⁻¹]	1 737,3	1 833,3	334,6	1 244,0	653,1	725,1	1 113,3	1 101,2
VNFP [l·příp ⁻¹ ·den ⁻¹]	131,4	131,4	131,4	131,4	131,4	131,4	131,4	131,4
ILI [-]	0,8	1,0	0,6	0,8	0,6	0,5	0,7	0,7
EIZ [-]	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Q _{POR} [l·s ⁻¹]	-0,466	0,008	0,003	0,046	0,001	0,067	0,004	0,002

Tab. 44 obsahuje souhrnný přehled všech ukazatelů vody a také hodnotu potenciálního poruchového úniku pro všechny zkoumané měřicí okrsky.

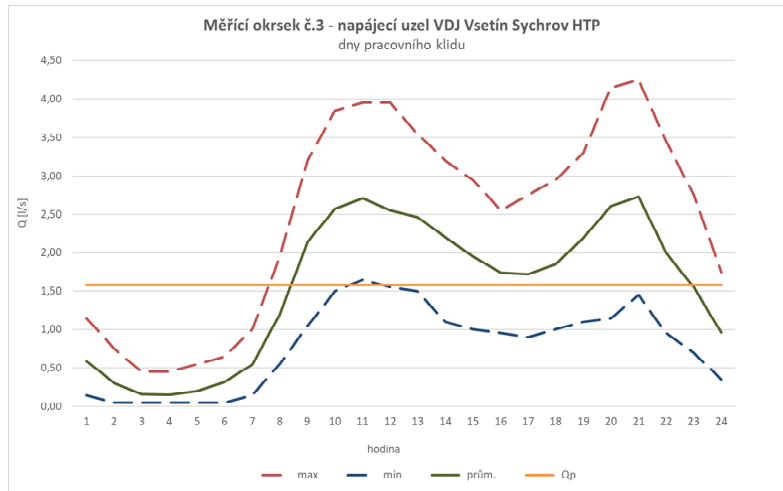
Pro vyhodnocení ukazatelů ztrát neexistují žádné hodnoty, které by tvořili hranici mezi akceptovatelnou a neakceptovatelnou velikostí ztrát. Při hodnocení ukazatelů vycházíme z průměrných hodnot stanovených během předchozích výzkumů. Pomocí nám může také finanční vyjádření velikosti ztrát.

Hodnoty většiny ukazatelů dosahují nízkých hodnot. Výjimku tvoří % VNF pro měřicí okrsek č. 5 – napájecí uzel VDJ Bobrky, kde tento ukazatel dosahuje hodnoty 66 %, nicméně ostatní ukazatelé tohoto okrsku jsou jedny z nejnižších a potenciální poruchový únik je menší než 0,05 l·s⁻¹. Tato skutečnost je důkazem toho, že by se měly stanovovat všechny ukazatele ztrát včetně hodnoty potenciálního poruchového průtoků. V tomto měřicím okrsku zřejmě dochází k negativnímu ovlivnění hodnoty % VNF nevhodným rozdělením VNF, kdy tomuto malému měřicímu okrsku byl přiřazen příliš velký podíl vody nefakturované.

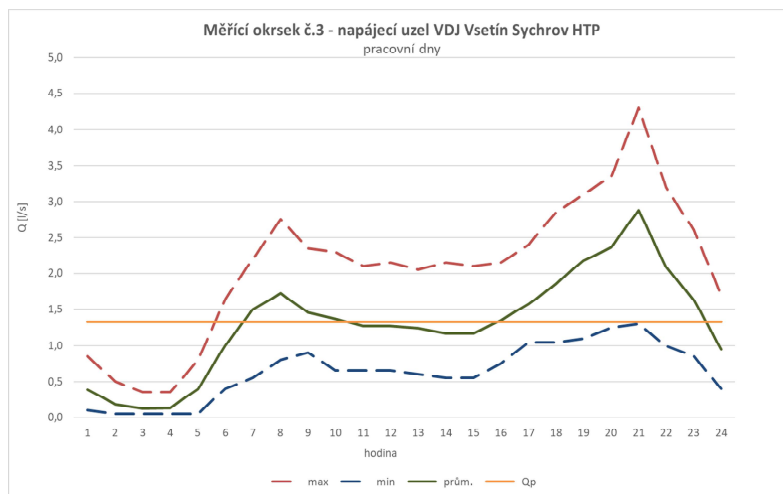
Diskutabilní jsou také hodnoty ukazatelů v měřicím okrsku č. 1 – napájecí uzel VDJ Bečevná, kde jsou hodnoty % VNF ovlivněny nesprávným množstvím VVR, které bylo stanoveno z průměrné denní spotřeby, ve které ale není zahrnut vliv zkratového proudu z výtlaku ČS Ohrada – VDJ Bečevná.

4 DISKUZE

Nedílnou součástí analýzy spotřeby vody v měřicích okrscích bylo stanovení koeficientů hodinové nerovnoměrnosti spotřeby vody. Obecně platí, že hodnota tohoto koeficientu je vyšší, pokud má spotřebiště charakter sídlištní zástavby. Jeho hodnoty se pohybují v rozmezí intervalu 1,5–2,5. Hodnota tohoto koeficientu se mění ale také v závislosti na tom, jestli se jedná o pracovní den nebo den pracovního klidu. Na následujících obrázcích jsou vykresleny průběhy spotřeby vody v měřicím okrsku č. 3 – napájecí uzel VDJ Vsetín Sychrov HTP. Jedná se o okrsek se zástavbou sídlištního charakteru.

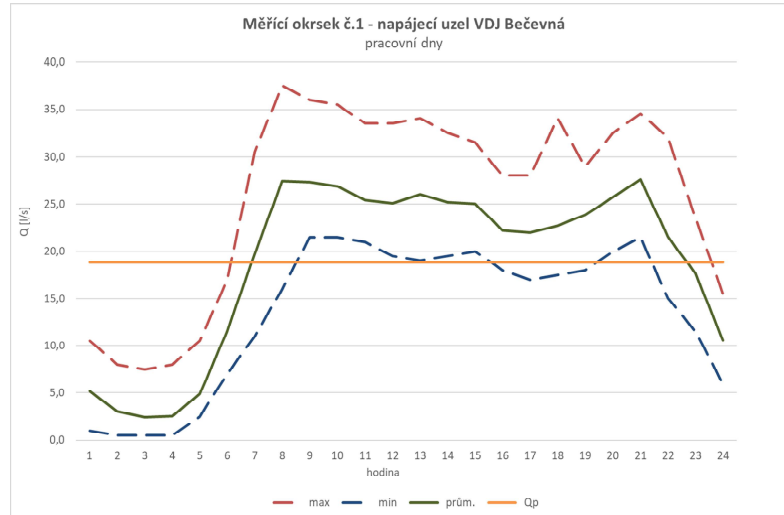


Obr. 48 Časový průběh spotřeby vody v MO 3 ve dnech pracovního klidu



Obr. 49 Časový průběh spotřeby vody v MO 3 v pracovních dnech

Pro pracovní dny je hodnota $k_h = 2,8$ a pro nepracovní dny $k_h = 2,2$. Zároveň je vidět, že ve dnech pracovního klidu ranní špička odběru nastává později než v pracovních dnech, a navíc je výrazná podobně jako noční špička spotřeby vody. Oproti tomu v pracovních dnech je ranní špička mírnější než ta večerní. Tento jev je způsoben tím, že lidé v pracovních dnech ráno nezůstávají doma, jdou do zaměstnání, které mají mimo tento měřicí okrskek (jelikož se jedná o okrskek tvořen výhradně sídlištní zástavbou, kde nejsou žádné průmyslové podniky nebo firmy, které by zaměstnávaly výrazné množství lidí).



Obr. 50 Časový průběh spotřeby vody v MO 1 v pracovních dnech

Měřicí okrskek č. 1 – napájecí uzel VDJ Bečevná také nemá běžný tvar křivky spotřeby vody. Spotřeba vody v tomto měřicím okrsku je v pracovních dnech bez výrazných změn v průběhu. Příčinou tohoto jevu je fakt, že se jedná o centrum města, o okrskek charakteru smíšené městské zástavby, kde je soustředěno velké množství velkoodběratelů a ostatních odběratelů (průmyslových podniků, staveb občanské vybavenosti a firem zaměstnávající velké množství lidí).

Při rozkladu MNP podle metodiky popsané v této práci nastává největší problém při stanovování velikosti skrytých ztrát a skutečné spotřeby vody. Literatura uvádí doporučené intervaly hodnot jednotkových skrytých úniků, jejich volba je ale velice subjektivní a závisí na odhadu řešitele, vyžaduje také velice dobrou znalost vodovodní sítě. Tyto doporučené intervaly hodnot byly navíc stanoveny na základě celosvětového testování, které probíhalo před několika lety a konkrétně Česká republika nebyla do tohoto výzkumu zapojena. Způsob provozování a údržby sítě není ve všech zemích stejný. Bylo by proto nasnadě provést podobné testování i v ČR. V úvahu by se samozřejmě musel vzít technický stav sítě, tlakové poměry, stáří infrastruktury, charakter spotřebiště a podobně.

Skutečná noční spotřeba je v této metodice založena na odhadu % obyvatelstva v daném okrsku, které je v období výskytu MNP aktivních, a na předpokladu, že voda, která je v tomto období ze sítě odebírána je použita primárně na splachování toalet. Stejně jako při stanovování jednotkových skrytých ztrát i % aktivního obyvatelstva bylo stanoveno v rámci výzkumu, do kterého Česká republika nebyla zapojena. Při stanovování % aktivního obyvatelstva v daném MO je nutné vzít v úvahu složení společnosti a typ zástavby. Spotřeba vody mezi 01:00 a 04:00 (tj. v období nejčastějšího výskytu MNP) v nočním clubu bude jiná než spotřeba vody v domově pro seniory.

Při vyhodnocování ukazatelů ztrát je obecně velice důležité správně rozdělit hodnotu vody nefakturované mezi jednotlivé okrsky. V příslušné kapitole byly popsány 2 metody, a to metoda rozdělení na základě počtu vodovodních přípojek a rozdělení na základě hustoty délky sítě. Ani jedna z uvedených metod není ideální. Protože takto rozdělená hodnota VNF nemusí souhlasit se skutečností. Řešením správného rozdělení VNF je ve využití smart meteringu, při němž bude navíc eliminován vznik chyby lidského faktoru při ručním odečtu domácích vodoměrů. Dá se předpokládat, že v průběhu několika následujících let budou všechny vodoměry umožňovat dálkový odečet. Víze přesného stanovení VNF spočívá v tom, že vodoměry spadajícího do stejného tlakového pásma budou obsahovat identifikační kód na jehož základě bude provozovatel vědět, do kterého měřicího okrsku náleží. Po ukončení doby odečtu vodoměrů bude provozovatel znát skutečnou hodnotu vody fakturované celkem (VFC) a zároveň bude znát celkové množství vody vyrobené k realizaci (VVR) pro daný měřicí okrsek. Vzájemných odečtením VFC od VVR získá přesnou údaj o množství vody nefakturované.

5 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na problematiku minimálních nočních průtoků. Cílem teoretické části práce byla rešerše poznatků o minimálních nočních průtocích a ukazatelích ztrát vody, o metodách jejich hodnocení, měření a jejich uplatnění ve vodárenské praxi. Cílem praktické části práce byla aplikace těchto teoretických poznatků na skutečnou vodovodní síť.

V první kapitole teoretické části práce byly definovány základní pojmy z oblasti ztrát vody. Byla zde uvedena problematika rozdělení ztrát ve vodovodní síti podle IWA a byly zde charakterizovány všechny ukazatele ztrát vody, které jsou používány v české vodárenské praxi. Pro vybrané vodárenské společnosti byly tyto ukazatele ztrát stanoveny. Dále zde byly popsány dvě metodiky přístupu ke stanovování objemu skutečných ztrát. V další kapitole teoretické části práce byla řešena problematika minimálních nočních průtoků, jejich rozdělení, způsoby stanovení a následně byl popsán postup pro jejich vyhodnocení. Součástí této kapitoly bylo také shrnutí poznatků a doporučení pro navrhování měřicích okrsků.

Praktická část práce byla zaměřena na vyhodnocení minimálních nočních průtoků a stanovení ukazatelů ztrát vodovodní sítě města Vsetín, kterou provozuje společnost Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s. Součástí této kapitoly byla stručná charakteristika spotřebiště zahrnující technické údaje o síti, popis způsobu dopravy vody od zdroje do vodojemů a výčet tlakových pásem a měřicích okrsků celé sítě. V rámci této diplomové práce bylo řešeno 8 vybraných měřicích okrsků. Pro zpracování této kapitoly byly jako podklad použity výsledky Hydraulické analýzy vodovodní sítě města Vsetín zpracované v období březen–listopad 2017. Vyhodnocení MNP v sobě zahrnovalo analýzu spotřeby, ze které byly stanoveny minimální noční průtoky, které byly následně rozloženy na jednotlivé složky.

Při analýze spotřeby vody bylo zjištěno, že na výtlaku mezi ČS Ohrada a vodojemem Bečevná dochází denně ke ztrátám vody v průměrném objemu 420 m^3 . Tento výtlak je propojen s vodovodním potrubím tlakového pásma TP 180 (tj. měřicí okrsek č. 1) zahrnující centrum města Vsetín. Výtlačný řad a rozvodné řady tlakového pásma TP 180 jsou od sebe odděleny uzavíracími armaturami, které ale pravděpodobně nedovírají, což má za následek to, že do TP 180 tak zkratově vniká voda skrz tyto netěsnící armatury. TP 180 tak není zásobováno jen odtokem z vodojemu Bečevná, ale také právě skrz tyto netěsnící uzavěry. Tuto možnost potvrdily i analýzy spotřeby vody v tomto měřicím okrsku. Minimální noční průtok (měřen na odtoku z vodojemu Bečevná) pro tento okrsek dosahuje hodnoty $0,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Taková hodnota MNP je pro tlakové pásmo takového rozsahu nesmyslně nízká.

Další částí této kapitoly byla teorie dekompozice minimálního nočního průtoku, podle které byly minimální noční průtoky vybraných měřicích okrsků rozkládány na jednotlivé složky. Výsledkem této kapitoly bylo stanovení potenciálního poruchového průtoku v daném měřicím okrsku.

Na závěr této kapitoly byly stanoveny ukazatelé ztrát pro řešené měřicí okrsky a také souhrnně pro celou vodovodní síť města Vsetín.

Z výsledků analýzy ztrát vody lze usoudit, že vodovodní síť města Vsetín je ve velmi dobrém technickém stavu. Ve zkoumaných měřících okrscích nedochází k výrazným únikům vody, které by bylo potřeba nutně eliminovat, a vodovodní síť je velice dobře provozována.

Součástí této diplomové práce je jedna grafická příloha, která zobrazuje přehlednou situaci vodovodní sítě včetně zaznačení všech měřících okrsků.

Byly splněny všechny zadané cíle, které jsou popsány v úvodní části a v zadání diplomové práce. Výsledky analýzy minimálního nočního průtoku vodovodní sítě města Vsetín budou prezentovány provozovateli této sítě – společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] WEINZETLOVÁ JUNGOVÁ, Ivana. Výjezdní setkání s novináři v Olomouci. *SDRUŽENÍ OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ* [online]. Praha [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.sovak.cz/clanky/vyjezdni-setkani-s-novinari-v-olomouci>
- [2] VLASÁK, Oldřich. *Zásobování obyvatel pitnou vodou v ČR*. [přednáška]. Praha: H2O.Voda., 7.12. 2017. [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: http://events.mafra.cz/actions/pdf?file_name=515fd632a483a3d4119638dec53cd398-59.pdf
- [3] RACLAVSKÝ, Jaroslav, Ladislav TUHOVČÁK a Stanislav MALANÍK. *Rekonstrukce vodohospodářských sítí*. Studijní opora. Brno, 2006.
- [4] MORRISON, John, Stephen TOOMS a Dewi ROGERS. *DMA Management Guidance Notes*. Version 1. IWA, February 2007.
- [5] *Vyhledávání tras podzemních sítí a lokalizace poruch na vodovodech* [online]. In: . s. 10 [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: www.vodarenska.cz/file/614_2_1/
- [6] *Performance indicators for water supply services*. 2nd ed. London: IWA Publ., 2005. ISBN 1843390515.
- [7] TUHOVČÁK, L. *Vybrané statě z vodárenství. (přednáška Ztráty vody)* Brno: VUT Brno, Fakulta Stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, 2017
- [8] TUHOVČÁK, Ladislav. *Metodika hodnocení technického stavu vodovodních sítí: Methodology of technical audit of water distribution network: teze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2010, 37 s. ISBN 978-80-214-4200-9.
- [9] Water Leakage Monitoring & Reduction. *METASPHERE* [online]. United Kingdom [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.metaspHERE.co.uk/water-leakage-monitoring-reduction/>
- [10] *Unavoidable Annual Real Losses & Infrastructure Leakage Index*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2017-10-12]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/concepts/uarl-and-ili/>
- [11] SARDINHA, José et al. *Active Water Loss Control: EPAL Technical Editions* [online]. s. 96 [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/epal/technical-editions/active-water-loss-control.pdf?sfvrsn=6>
- [12] VERMERSCH, Michel, Fatima CARTEADO, Alex RIZZO, Edgar JOHNSON, Francisco ARREGUI a Allan LAMBERT. *Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning* [online]. In: . s. 77 [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2016/09/AL-Guidance-Note-Final-15th-Sep-2016.pdf>
- [13] "Top-Down" Approach. *WaterLoss* [online]. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: http://waterloss.com.ba/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=71&lang=en

- [14] "Bottom-Up" Approach. *WaterLoss* [online]. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: http://waterloss.com.ba/index.php?option=com_content&view=article&id=32&Itemid=55&lang=en
- [15] Rui Han, Jun Liu, Spectral Clustering and Genetic Algorithm for Design of District Metered Areas in Water Distribution Systems, In *Procedia Engineering*, Volume 186, 2017, Pages 152-159, ISSN 1877-7058, Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.221>
- [16] Látal, M., Tesářík, I., Zeman, R.: *Vybrané statě z vodárenství*, VUT Brno, 1989
- [17] ZVEJŠKA, Tomáš. *Domovní vodoměry*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.
- [18] TUHOVČÁK, L. *Vybrané statě z vodárenství. (přednáška Technické prostředky pro lokalizaci skrytých úniků)* Brno: VUT Brno, Fakulta Stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, 2017
- [19] Výměna vodoměrů. Dálkový odečet, aneb jak to funguje v praxi [online]. 2012 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.vymenavodomeru.cz/index.php?p=126>
- [20] ULTICAL 21. Dálkové odečítání vodoměrů [online]. 2013 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.multical21.cz/cz/d%C3%A1lkov%C3%A9-ode%C4%8D%C3%ADt%C3%A1n%C3%AD-vodom%C4%9Br%C5%AF.aspx>
- [21] Minsén – Your ideal supplier of wireless water/gas/electricity meters. In: *METERING & SMART ENERGY INTERNATIONAL* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.metering.com/minsen-your-ideal-supplier-of-wireless-water-gas-electricity-meters/>
- [22] *Night-Day Factor NDF*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/night-day-factor-ndf/>
- [23] *FAVAD and N1 Update*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/favad-and-n1update/>
- [24] Dálkový odečet, aneb jak to funguje v praxi. *Výměna vodoměrů* [online]. [cit. 2017-12-06]. Dostupné z: <https://www.vymenavodomeru.cz/dalkovy-odecet-aneb-jak-to-funguje-v-praxi>
- [25] FANTOZZI, Marco a Allan LAMBERT. *Legitimate Night Use component of Minimum Night Flows Initiative*. In: *Water Loss 2010, Brazil* [online]. Dostupné z: <http://www.acquacon.com.br/waterloss2010/presentations/day9/08h30fantozzidia09sala2.pdf>
- [26] FANTOZZI, M.; LAMBERT, A. *Residential Night Consumption–Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability*. *Water Loss*, 2012.
- [27] LIEMBERGER, R. Bottom-Up Water Balance Model. [obrázek] [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <https://handysalim.files.wordpress.com/2011/06/bottom-up-water-balance4.jpg>.
- [28] *Fixed and Variable Area Discharges Update*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/favad-and-n1update/>

- [29] LAMBERT, Alan, Marco FANTOZZI a Mark SHEPHERD. FAVAD Pressure & Leakage: How Does Pressure Influence N1? In: *Water Leakage and Pressure Management* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2017/07/FAVAD-Pressure-Leakage-N1-Lambert-et-al-14.07.17.pdf>
- [30] LAMBERT, Lambert, Fantozzi FANTOZZI a Shepherd SHEPHERD. CCWi2017: F100 'Pressure: Leak Flow Rates Using FAVAD: An Improved Fast-Track Practitioner's Approach' [online]. B.m.: figshare. 1. září 2017. Dostupné z: doi:10.15131/shef.data.5365078.v1
- [31] Vsetín. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vset%C3%ADn>
- [32] Výroba a dodávka pitné vody. *Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.* [online]. Vsetín [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.vakvs.cz/pitna-voda/vyroba-a-dodavka-pitne-vody/>
- [33] KORABÍK, Michal a Dušan LIBOSVÁR. Prameniště Vsetín - Ohrada: Obnova technologického zařízení. In: *Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: www.smv.cz/index.php?cmd=document&id=1019
- [34] Zásobování měst a obcí pitnou vodou, základní vodní zdroje a čistírny odpadních vod provozované společností Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s. In: *Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.* [online]. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: http://www.vakvs.cz/userfiles/pavel-matula/files/Pitna_voda/Schema_zasobovani/schema_zasobovani.pdf
- [35] MCKENZIE, Ronnie. *Development of a standardized approach to evaluate burst and background losses in water distribution systems in South Africa*. [Pretoria: Water Research Commission, 1999. ISBN 18-684-5490-8.
- [36] FANTOZZI, M.; LAMBERT, A. *Residential Night Consumption—Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability*. Water Loss, 2012.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výkonnosti kategorie ILI [10].....	11
Tab. 2 Hodnoty ekonomického indexu EI.....	12
Tab. 3 Vyhodnocení ekonomického indexu ztrát.....	13
Tab. 4 Srovnání hodnot ukazatelů ztrát vybraných provozovatelů vodovodů v ČR v roce 2016	13
Tab. 5 Vývoj hodnot ztrát ukazatelů vody společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s. .	13
Tab. 6 Charakteristika měřicího okrsku dle hustoty zástavby [7]	23
Tab. 7 Přibližné hodnoty N1 a podmínky platnosti těchto hodnot	32
Tab. 8 Celková délka potrubí ve vybraných MO podle DN.....	39
Tab. 9 Celková délka potrubí ve vybraných MO podle materiálu.....	40
Tab. 10 Vybrané měřicí okrsky spotřebišť Vsetín.....	41
Tab. 11 Souhrnné údaje o jednotlivých měřicích okrcích.....	42
Tab. 12 Charakteristika měřicího okrsku č.1	43
Tab. 13 Charakteristika měřicího okrsku č.2	44
Tab. 14 Charakteristika měřicího okrsku č.3	44
Tab. 15 Charakteristika měřicího okrsku č.4.....	45
Tab. 16 Charakteristika měřicího okrsku č.5	46
Tab. 17 Charakteristika měřicího okrsku č.6.....	46
Tab. 18 Charakteristika měřicího okrsku č.7	47
Tab. 19 Charakteristika měřicího okrsku č.10.....	48
Tab. 20 Přehled spotřeby vody v jednotlivých MO – výsledky analýzy spotřeby vody	50
Tab. 21 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 1 – TP 180.....	51
Tab. 22 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 2 – TP 20, 71, 76, 152.....	52
Tab. 23 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 3 – TP 55, 151.....	54
Tab. 24 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 4 – TP 99, 198.....	55
Tab. 25 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 5 – TP 100.....	57
Tab. 26 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 6 – TP 148.....	58
Tab. 27 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 7 – TP 150.....	60
Tab. 28 Analýza spotřeby vody v měřicím okrsku č. 10 – TP 98.....	61
Tab. 29 Přehled minimálních průtoků v zájmových měřicích okrcích	63
Tab. 30 Přehled MNP v závislosti na zdroji dat	64
Tab. 31 Ztráty na výtlačku do VDJ Bečevná.....	65
Tab. 32 Průměrné hodnoty nočních průtoků pro různé drobné odběratele [35].....	70
Tab. 33 Dekompozice MNP pro MO 1 – napájecí uzel VDJ Bečevná.....	74
Tab. 34 Dekompozice MNP pro MO 2 – napájecí uzel VDJ Hřbová	75
Tab. 35 Dekompozice MNP pro MO 3 – napájecí uzel VDJ Sychrov HTP	76
Tab. 36 Dekompozice MNP pro MO 4 – napájecí uzel VDJ Sychrov DTP	77
Tab. 37 Dekompozice MNP pro MO 5 – napájecí uzel VDJ Bobrky	78
Tab. 38 Dekompozice MNP pro MO 6 – napájecí uzel VDJ Vesník	79
Tab. 39 Dekompozice MNP pro MO 7 – napájecí uzel VDJ Ohrada IBV.....	80

Tab. 40 Dekompozice MNP pro MO 10 – napájecí uzel PK Za Díly	81
Tab. 41 Roční objem ztrát.....	82
Tab. 42 Vstupní bilanční údaje 2015	83
Tab. 43 Ukazatelé ztrát vody pro celou vodovodní síť Vsetín	83
Tab. 44 Přehled ukazatelů ztrát v jednotlivých měřicích okresech	84

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Bilance ztrát vody dle IWA [6]	7
Obr. 2 Závislost teoreticky nevyhnutelných ztrát (TNZ) na počtu přípojek na 1 km řadu	10
Obr. 3 TNZ a SZ [9]	11
Obr. 4 Vývoj hodnot % VNF společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.	14
Obr. 5 Vývoj hodnot JÚVNF společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.	14
Obr. 6 Vývoj hodnot VNFP společnosti Vodovody a kanalizace Vsetín, a. s.	15
Obr. 7 Metodika „Top-Down“	16
Obr. 8 Schématické rozdělení MNP na dílčí složky.....	20
Obr. 9 Typické uspořádání DMA [4]	21
Obr. 10 Vodoměrná šachta spotřebiště Vsetín, TP 99 regulátor Sychrov DTP – indukční průtokoměr za redukčním ventilem, bez napojení na datalogger.....	25
Obr. 11 Příklad dálkového odečtu vodoměru [21]	26
Obr. 12 1. stupeň rozkladu MNP [25]	27
Obr. 13 2. stupeň rozkladu MNP [25]	28
Obr. 14 3. stupeň rozkladu MNP [25]	29
Obr. 15 4. úroveň rozkladu MNP [25].....	30
Obr. 16 Rozdíly mezi skrytým, nenahlášeným a nahlášeným únikem [25]	30
Obr. 17 Průběh změny velikosti složek ztrát v závislosti na tlaku [27]	31
Obr. 18 Závislost hodnoty CF na N1 a poměru tlaků [23]	33
Obr. 19 Závislost hodnoty NDF na N1 a poměru tlaků [23].....	34
Obr. 20 Situace širších vztahu – poloha města na území České republiky	35
Obr. 21 Situace širších vztahu – město Vsetín, Zlínský kraj.....	36
Obr. 22 Schéma zásobování vodou v okrese Vsetín, Zlín, Přerov [34].....	37
Obr. 23 Přehledné schéma vodovodní sítě Vsetín	38
Obr. 24 Zastoupení dimenzí potrubí v celé vodovodní síti	39
Obr. 25 Zastoupení materiálu potrubí v celé vodovodní síti	40
Obr. 26 Proces analýzy spotřeby vody	49
Obr. 27 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 180	51
Obr. 28 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 180.....	52
Obr. 29 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 20, 71, 76, 152	53
Obr. 30 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 20, 71, 76, 152	53
Obr. 31 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 55, 151	54
Obr. 32 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 55, 151	55
Obr. 33 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 99, 198	56
Obr. 34 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 99, 198	56
Obr. 35 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 100	57
Obr. 36 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 100.....	58
Obr. 37 Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 148	59

Obr. 38	Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 148.....	59
Obr. 39	Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 150	60
Obr. 40	Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 150.....	61
Obr. 41	Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v pracovním dni – TP 98	62
Obr. 42	Časový průběh odběru vody z vodovodní sítě v den pracovního klidu – TP 98.....	62
Obr. 43	Srovnání MNP v měřicím okrsku č. 1	64
Obr. 44	Měřicí okrsek č.1 – napájecí uzel VDJ Bečevná, TP 180	66
Obr. 45	Výtlačk ČS Ohrada – VDJ Bečevná	67
Obr. 46	% aktivních obyvatel v pracovních (vlevo) a v nepracovních dnech (vpravo) [36] ..	68
Obr. 47	Schéma napojení nemovitosti na vodovodní řad.....	72
Obr. 48	Časový průběh spotřeby vody v MO 3 ve dnech pracovního klidu	86
Obr. 49	Časový průběh spotřeby vody v MO 3 v pracovních dnech	86
Obr. 50	Časový průběh spotřeby vody v MO 1 v pracovních dnech	87

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

% AO	Procento aktivních obyvatel [%]
% VNF	Procento vody nefakturované [%]
ANU	Assessed Night Use – odhadnutá noční spotřeba
ATS	Automatická tlaková stanice
AZP	Average Zone Pressure – průměrný provozní tlak
BJ	Počet bytových jednotek [ks]
BL	Undetectable Background Leakage – nezjistitelné skryté úniky
BLM	Background Leakage on mains – nezjistitelné skryté úniky na vodovodu
BLS	Background Leakage on service connection – nezjistitelné skryté úniky na přípojce
C	Charakter měřicího okrsku [-]
CARL	Current Annual Real Losses
CF	Correction Factor – opravný faktor
CNL	Customer Night Leakage – ztráty na vnitřním vodovodu
CNLI	Customer Night Leakage Inside Buildings – ztráty na vnitřním vod. uvnitř budovy
CNLO	Customer Night Leakage Outside Buildings – ztráty na vnitřním vod. mimo budovu
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČS	Čerpací stanice
DL	Daily Leakage – denní únik [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]
DL	Detectable Burst Leakage – zjistitelné úniky
DLR	Detectable Reported Bursts Leakage, not yet repaired – nahlášené neoprav.poruchy
DLU	Detectable Unreported Bursts Leakage – nenahlášené poruchy
DMA	District Meter Area – měřicí okrsek
DN	Dimenze potrubí
DP	Delivery Point – místo předání vody
DPH	Daň z přidané hodnoty
EI	Ekonomický index [-]
EIZ	Ekonomický index ztrát [-]
ENU	Exceptional Night Use – mimořádný noční odběr
FAVAD	Fixed and Variable Area Discharges
GIS	Geografický informační systém
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
ILI	Infrastructure Leakage Index – Index ztrát infrastruktury [-]
IWA	International Water Association
IZ	Index ztrát [-]
JÚ	Jímací území
JÚVNF	Jednotkový únik vody nefakturované [$\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]
k_d	Koeficient denní nerovnoměrnosti spotřeby vody [-]
k_h	Koeficient hodinové nerovnoměrnosti spotřeby vody [-]
K_i	Koeficient přepočtu délky pro potrubí o DN _i

KÚ	Katastrální území
L	Délka vodovodní sítě [m], [km]
L_1, L_0	Hodnoty úniku
LIT	Litina
$L_{přep.}$	Přepočítaná délka potrubí o DN 150 [km]
L_{skut, DN_i}	Skutečná délka potrubí o DN _i [km]
MNF	Minimum Night Flow – minimální noční průtok
MNP	Minimální noční průtok
MO	Měřicí okrsek
N_1	Opravný součinitel [-]
NC	Night Consumption – noční spotřeba
NDF	Night-Day Factor – tzv. denní faktor [hod·den ⁻¹]
NLR	Night Leakage Rate – noční únik v období MNP [m ³ ·hod ⁻¹]
NS	Noční spotřeba
NU	Night Use – skutečná noční spotřeba
OC	Ocel
P_1, P_0	odnoty tlaku [m v.sl.]
PE	Polyethylen
PK	Přerušovací komora
PO	Počet obyvatel v okrsku
PVC	Polyvinylchlorid
Q_h	Maximální hodinová spotřeba vody [l·s ⁻¹]
$q_{JSU, BJ}$	Skrytý únik na bytovou jednotku [l·bj ⁻¹ ·hod ⁻¹]
$q_{JSU, PRIP}$	Skrytý únik pro vodovodní přípojku [l·příp ⁻¹ ·hod ⁻¹]
$q_{JSU, VOD}$	Jednotkový skrytý únik na km řadu [l·km ⁻¹ ·hod ⁻¹]
Q_m	Maximální denní spotřeba vody [m ³ ·den ⁻¹]
Q_{min}	Minimální noční průtok z dat po vyčištění [l·s ⁻¹]
$Q_{min, ILI=1}$	Teoretický minimální noční průtok, když ILI = 1,0 [l·s ⁻¹]
$Q_{min, prům}$	Průměrný minimální noční průtok z dat po vyčištění [l·s ⁻¹]
$Q_{min, sur.}$	Minimální noční průtok ze surových dat (před vyčištěním) [l·s ⁻¹]
$Q_{NS, VO}$	Běžná noční spotřeba velkoodběratelů [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
Q_{NS}	Celková běžná noční spotřeba [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
$Q_{NS, D}$	Běžná noční spotřeba domácností [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
$Q_{NS, OO}$	Běžná noční spotřeba ostatních odběratelů [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
Q_p	Průměrná denní spotřeba vody [l·s ⁻¹]
Q_{PO}	Úniky způsobené poruchami potrubí
Q_{POR}	Potencionální poruchový únik – ztráty způsobené poruchami [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
$q_{SPEC, NS}$	Specifický průtok pro obyvatelstvo v období MNP [l·os ⁻¹ ·hod ⁻¹]
$Q_{SU, VV}$	Skryté úniky na vnitřních vodovodech [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
Q_{SU}	Celkové kryté úniky [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
$Q_{SU, PRIP}$	Skryté úniky na vodovodních přípojkách [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]

Q _{SU,VOD}	Skryté úniky na vodovodní síti [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
RV	Regulační ventil
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition – dispečerské řízení a sběr dat
SU ₀	Suma skrytých úniků při tlaku 50 m v. sl. [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
SU ₁	Suma skrytých úniků při průměrném provozním tlaku [m ³ ·hod ⁻¹], [l·s ⁻¹]
SZ	Skutečné ztráty [l·příp. ⁻¹ ·den ⁻¹]
TNZ	Teoreticky nevyhnutelné ztráty [l·příp. ⁻¹ ·den ⁻¹]
TP	Tlakové pásmo
UARL	Unaboidable Annual Real Losses
UNL	Utility Night Leakage – ztráty na veřejném vodovodu
ÚV	Úpravna vody
VDJ	Vodojem
VNF	Voda nefakturovaná [m ³ ·rok ⁻¹]
VNFP	Voda nefakturovaná na přípojku [l·příp. ⁻¹ ·den. ⁻¹]
VS	Vlastní spotřeba [m ³ ·rok ⁻¹]
VVR	Voda vyrobená k realizaci [m ³ ·rok ⁻¹]
ZV	Ztráty vody [m ³ ·rok ⁻¹]

SEZNAM PŘÍLOH

1. Přehledná situace vodovodní sítě Vsetín

SUMMARY

This diploma thesis was focused on the issue of minimum night flow in water supply system. The aim of the theoretical part was the research of the knowledge about the MNF and indicators of water losses, methods of their evaluation, measurement and their application in water treatment. The aim of the practical part of the thesis was to apply these theoretical knowledge to the Vsetín's water supply system.

The first chapter of the theoretical part defines the basic terminology of water losses issues. The distribution of losses in the water network according to IWA was presented and all water losses indicators used in the Czech water industry were characterized here. For selected water companies, these indicators have been determined. In addition, there were described „Bottom-Up“ approach and „Top-Down“ approach which are used to determining the volume of real losses. The issue of MNF described in this chapter includes: distribution MNF to individual components, methods of determination and approach for their evaluation. Part of this chapter was also a summary of the knowledges and recommendations for designing DMAs.

The practical part was focused on the assessment of the minimum night flow and the determination of water losses indicators of Vsetín's water supply system, which is operated by VaK Vsetín, a. s. Part of this chapter was a brief characteristic of the water distribution system. In this diploma thesis 8 selected DMAs were solved. In this chapter were used results of Hydraulic analysis Vsetín's water supply system that was processed in March–November 2017. The assessment of MNFs included a consumption analysis from which the MNFs were determined.

The results of this chapter are determinations of the potential failure flows in selected DMAs. In addition, the water losses indicators for the DMAs and also for the whole Vsetín's water supply were determined.

From the results of the water losses analysis it can be concluded that the Vsetín's water supply system is in very good technical condition. There are no significant water leakages in the surveyed DMAs that need to be eliminated and the water supply system is very well managed.