



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

HODNOCENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ VE VODÁRENSKÝCH SYSTÉMECH

ASSESSMENT OF MINIMAL NIGHT-FLOWS IN THE WATER SUPPLY SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ ZVEJŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.



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

| | |
|--------------------------------|---|
| Diplomant | Bc. Tomáš Zvejška |
| Název | Hodnocení minimálních noční průtoků ve vodárenských systémech |
| Vedoucí diplomové práce | Ing. Jan Ručka, Ph.D. |
| Datum diplomové práce | zadání 31. 3. 2015 |
| Datum diplomové práce | odevzdání 15. 1. 2016 |
| V Brně dne 31. 3. 2015 | |

.....
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 průtoků 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

Diplomová práce bude zaměřena na problematiku měření a hodnocení minimálních nočních průtoků v systémech zásobování pitnou vodou. V úvodní části bude provedena rešerše zahraniční literatury se zaměřením na nejnovější trendy v oblasti ztrát vody. Pozornost bude zaměřena na vliv přesnosti měření a způsob vyhodnocení získaných dat. V rámci laboratorního pokusu student ověří citlivost vodárenského vodoměru DN100 při nízkých průtocích. Na základě získaných poznatků bude sestaven návrh metodiky pro vyhodnocení minimálních nočních průtoků.

Struktura bakalářské/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 se zabývá problematikou minimálních nočních průtoků. V úvodní části práce byly shrnuty poznatky o minimálních nočních průtocích, především z jakých jednotlivých složek je tento průtok složen, jaké parametry ho ovlivňují a používané metodiky pro jeho hodnocení. V praktické části práce byly tyto poznatky aplikovány na skutečný vodovodní systém obce Hrádek u Sušice. Součástí práce bylo také určení chyby měření starého vodoměru, který byl dříve instalován na odtoku z vodojemu Hrádek. Chyby měření byly určeny pro průtoky blízké ke skutečně naměřenému minimálnímu nočnímu průtoku ve vodovodní síti Hrádek u Sušice.

Klíčová slova

Minimální noční průtok, ztráty vody, noční úniky vody, noční spotřeba, vodárenský systém

Abstract

This Diploma thesis deals with minimum night flows issue. Basic findings about minimum night flows were summarized in the introductory part of thesis. Findings like the minimum night flow components, affecting parameters and used methodologies for assessment of minimal night flows. In the practical part of this thesis was this knowledge applied to real water distribution system in the municipality Hrádek u Sušice. The part of this thesis was also determinate the measurement accuracy of used water meter, which was formerly installed at the outlet in the Hrádek water tank. Measurement errors was determinate for the flow values, that are close to the real measured minimum night flow data in the water distribution system in municipality Hrádek u Sušice.

Keywords

Minimal night flow, water loss, night leakage, night consumption, water distribution system

ZVEJŠKA, Tomáš. *Hodnocení minimálních nočních průtoků ve vodárenských systémech*. Brno, 2016. 65 s. 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 zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2016

.....
podpis autora
Bc. Tomáš Zvejška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

OBSAH

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | Úvod | - 9 - |
| 1.1 | <i>Cíle práce</i> | - 9 - |
| 1.2 | <i>Přínos práce</i> | - 9 - |
| 2 | Minimální noční průtoky | - 10 - |
| 2.1 | <i>Interpretace minimálních nočních průtoků</i> | - 10 - |
| 2.2 | <i>Terminologie používaná pro analýzu minimálního nočního průtoku</i> | - 11 - |
| 2.2.1 | Slovníček pojmů | - 11 - |
| 2.2.2 | Definice termínů | - 12 - |
| 2.2.3 | Místo dodávky vody | - 13 - |
| 2.2.4 | Terminologie jednotlivých složek minimálního nočního průtoku | - 14 - |
| 3 | Ztráty vody | - 21 - |
| 3.1 | <i>Úvod</i> | - 21 - |
| 3.2 | <i>Základní ukazatelé ztrát vody</i> | - 22 - |
| 3.2.1 | Procento vody nefakturované | - 22 - |
| 3.2.2 | Jednotkový únik | - 22 - |
| 3.2.3 | Voda nefakturovaná na přípojku | - 22 - |
| 3.2.4 | Index ztrát infrastruktury (ILI) | - 23 - |
| 3.2.5 | Ekonomický index ztrát | - 25 - |
| 4 | Měření minimálních nočních průtoků | - 27 - |
| 4.1 | <i>Měřicí okrsky</i> | - 28 - |
| 4.1.1 | Navhování měřících okrsků | - 28 - |
| 4.2 | <i>Měřicí technika</i> | - 30 - |
| | Doporučená měřicí technika | - 30 - |
| | Dálkové odečty | - 31 - |
| 5 | Hodnocení minimálních nočních průtoků | - 32 - |
| 5.1 | <i>Běžná noční spotřeba</i> | - 33 - |
| 5.1.1 | Běžná noční spotřeba pro domácnosti | - 33 - |
| 5.1.2 | Běžná noční spotřeba pro ostatní drobné odběratele | - 34 - |
| 5.1.3 | Běžná noční spotřeba pro velkoodběratele | - 35 - |
| 5.2 | <i>Skryté úniky</i> | - 35 - |
| 5.2.1 | Skryté úniky na vodovodní síti | - 35 - |
| 5.2.2 | Skryté úniky na vodovodní přípojce | - 36 - |
| 5.2.3 | Skryté úniky na vnitřním vodovodu | - 36 - |
| 5.3 | <i>Ztráty způsobené poruchami potrubí</i> | - 36 - |
| 6 | Využití měření minimálních nočních průtoků pro správu úniků | - 37 - |
| 7 | Případová studie vodovodu Hrádek u Sušice | - 39 - |
| 7.1 | <i>Popis lokality a vodárenského systému</i> | - 39 - |
| 7.1.1 | Občanská vybavenost: | - 39 - |
| 7.1.2 | Základní ukazatele vodovodu | - 39 - |

| | | |
|----------|--|---------------|
| 7.1.3 | Průtoky na vodovodní síti | - 40 - |
| 7.1.4 | Analýza spotřeba vody | - 40 - |
| 7.2 | <i>Vyhodnocení minimálního nočního průtoku</i> | - 41 - |
| | Výpočet běžné noční spotřeby | - 44 - |
| | Výpočet skrytých úniků | - 46 - |
| | Rekapitulace a vyhodnocení minimálního nočního průtoku | - 47 - |
| 7.3 | <i>Laboratorní test přesnosti starého vodoměru</i> | - 49 - |
| 7.3.1 | Popis testovaného měřidla | - 49 - |
| 7.3.2 | Popis pokusu a zvolená metodika | - 49 - |
| 7.3.3 | Referenční podmínky | - 50 - |
| 7.3.4 | Schéma měřící kolony | - 50 - |
| 7.3.5 | Postup měření | - 51 - |
| 7.3.6 | Vyhodnocení měření | - 51 - |
| 7.3.7 | Výsledky měření | - 52 - |
| 7.3.8 | Vyhodnocení měření a závěr | - 52 - |
| 7.4 | <i>Citlivostní analýza</i> | - 53 - |
| 7.4.1 | Definice proměnných | - 53 - |
| 7.4.2 | Citlivostní analýza změnou proměnných | - 54 - |
| 7.4.1 | Vyhodnocení citlivostní analýzy | - 56 - |
| 8 | Závěr | - 57 - |
| | Použitá literatura | - 58 - |
| | Seznam tabulek | - 60 - |
| | Seznam obrázků | - 61 - |
| | Seznam grafů | - 62 - |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů | - 63 - |
| | Summary | - 65 - |

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá problematikou minimálních nočních průtoků. Minimální noční průtoky jsou užitečným posuzovacím parametrem pro ohodnocení úrovně ztrát vody ve vodárenských systémech. Ztráty vody jsou problém v globálním měřítku a snižování jejich množství by mělo být jedním z hlavních úkolů vodárenských společností a to nejen z důvodu snižování množství vody nefakturované a tím i zvyšování zisku, ale také z důvodu nedostatku vody. Během teplých letních období, kdy neprší i několik týdnů, mnohdy dochází k vyčerpání pitné vody z vodojemů a to hlavně u vodovodů malých obcí, které nemají dostatečné místní zdroje a musí hledat rezervy. Z vodojemu může během noci uniknout velké množství vody. V noci, kdy se spotřeba voda pohybuje na svém minimu, dochází k nárůstu tlaku v síti a tím i nárůstu velikost úniků vody ze sítě. Právě v tomto nočním období můžeme velice dobře určit, zdali na vodovodní síti dochází k výrazným únikům, které by bylo třeba eliminovat a to díky informacím o nočních průtocích. Někdy i pouhým pohledem na naměřená data o průtocích vody během noci nám může pomoci odpovědět na otázku, je-li třeba se pustit do hledání úniků na síti.

1.1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo sjednocení poznatků v oblasti problematiky minimálních nočních průtoků a jejich praktická aplikace na skutečnou vodovodní síť. Teoretická část diplomové práce se zaměřuje především na popis a dekompozici minimálního nočního průtoky. Z jakých složek je minimální noční průtok složen a jaké parametry tyto složky ovlivňují, jak se minimální noční průtoky měří a jakým způsobem mohou být naměřená data užitečná pro správu úniků a snižování ztrát vody.

Za pomoci poznatků z teoretické části diplomové práce byla metodika aplikována na skutečnou vodovodní síť v obci Hrádek u Sušice v rámci praktické části diplomové práce. V rámci praktické části byla také provedena zkouška přesnosti vodoměru Prema Meinecke. Tento vodoměr byl dříve osazen na odtoku z vodojemu na vodovodní síti Hrádek, než byl nahrazen vodoměrem novým. Z důvodu množství proměnných, které vstupují do výpočtu při dekompozici minimálního nočního průtoky, byla provedena také citlivostní analýza, jejichž výsledky by měli poukázat na proměnné, které mají největší dopad na výsledek dekompozice.

1.2 PŘÍNOS PRÁCE

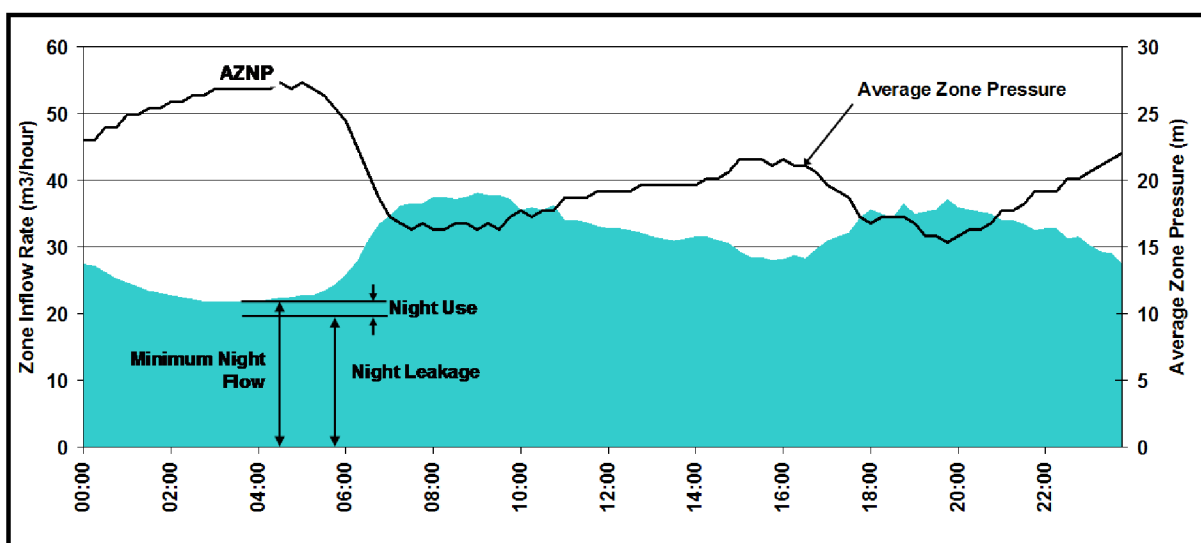
Výsledky praktické části diplomové práce budou zajisté přínosem pro samotnou obec Hrádek u Sušice. Díky výsledkům analýzy minimálního nočního průtoky si můžeme udělat přibližnou představu o technickém stavu vodovodní sítě a ztrátách vody. Poznatky shrnuté v teoretické části mohou však mít přínos i pro celý obor vodního hospodářství v České republice. Zde formulované poznatky mohou být aplikovány na libovolný vodárenský systém, máme-li dostatek vstupních informací a dat. Popsaná metoda je nenáročná, ale její výsledky jsou nesmírně užitečné. Výsledky analýzy minimálních nočních průtoků mohou sloužit k určování množství ztrát vody během noci, nebo mohou sloužit například i jako aktivní kontrola úniků a tedy i jako nástroj pro snižování ztrát vody.

2 MINIMÁLNÍ NOČNÍ PRŮTOKY

2.1 INTERPRETACE MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ

Minimální noční průtok vtékající do pásma je jedním z nejdůležitějších a nejužitečnějších ukazatelů pro posuzování potencionálních úniků vody uvnitř pásma. Minimální noční průtoky se určují a posuzují pro jednotlivá tlaková pásma nebo takzvané měřicí okrsky (District Metered Areas - DMA). V mnoha obecných případech je minimální noční průtok takový průtok, který vtéká do určitého pásma/měřicího okrsku během noci, kdy je většina legitimní spotřeby vody na svém minimu. Období minimálního nočního průtoky nastává obvykle mezi druhou až čtvrtou hodinnou ranní a činí přibližně 0,8 - 1,5% průměrné denní spotřeby. [25] Během tohoto období je často (ne však vždy) možné dobře odhadnout pravděpodobnou úroveň legitimní noční spotřeby stejně jako skrytých úniků, tedy úniků, které nejsme schopni nijak eliminovat. Velmi často je také možné identifikovat mnohé problémy na síti prostým monitoringem minimálních nočních průtoků. [1][4][8]

Na obrázku 2.1 je zobrazena ukázka dvacet čtyř hodinového průtoku do měřicího okrsku a průměrného provozního tlaku v okrsku, který je zásobován gravitačně. Během brzkých ranních hodin, v tomto případě mezi druhou až čtvrtou hodinnou ranní je noční spotřeba na svém minimu a dochází k největším únikům z důvodu navýšení tlaku v síti. Z tohoto obrázku je patrné, že minimální noční průtok je složen ze dvou hlavních složek, a sice noční spotřeby a ztrát vody během noci.



Obrázek 2.1 Vývoj spotřeby vody během dne^[26]

2.2 TERMINOLOGIE POUŽÍVANÁ PRO ANALÝZU MINIMÁLHO NOČNÍHO PRŮTOKU

Minimální noční průtok je složen z dílčích složek. Terminologie pro jednotlivé složky minimálního nočního průtoku je podle podrobnosti rozdělena do pěti úrovní. Přičemž I. úroveň popsán nejjednodušeji a V. úroveň je popsán nejpodrobněji. [2]

- I. Úroveň podrobnosti
- II. Úroveň podrobnosti
- III. Úroveň podrobnosti
- IV. Úroveň podrobnosti
- V. Úroveň podrobnosti

Je třeba podotknout, že tato terminologie byla mezinárodně přijata a mnoho zemí světa ji aktivně využívá (leč v různých modifikacích), nicméně stále neexistuje žádná podobná standartní jednotná mezinárodní terminologie pro určování jednotlivých složek minimálního nočního průtoku. To může být způsobeno tím, že v mnoha zemích světa jsou reálné ztráty odhadovány pouze z vodní bilance, neexistují zde tedy žádné měřicí okrsky a noční průtoky nejsou měřeny ani zaznamenávány.

2.2.1 Slovníček pojmů

Pro potřeby této práce byla zavedena jednotná terminologie cizích výrazů, aby nedocházelo k jejich zaměňování a případným nesrovnalostem.

| Anglický výraz | Zkratka | Český překlad |
|---|----------------|--------------------------------|
| Minimum Night Flow | MNF | Minimální noční průtok |
| Night Consumption | NC | Noční spotřeba |
| Utility Night Leakage | UNL | Ztráty na veřejném vodovodu |
| Night Use | NU | Skutečná spotřeba |
| Customer Night Leakage | CNL | Ztráty na vnitřním vodovodu |
| Exceptional Night Use | ENU | Mimořádný noční odběr |
| Assessed Night Use | ANU | Odhadnutá noční spotřeba |
| Utility Night Leakage Inside Buildings | CNLI | Ztráty uvnitř budovy |
| Utility Night Leakage Outside Buildings | CNLO | Ztráty mimo budovy |
| Detectable Burst Leakage | DBL | Zjistitelný poruchový únik |
| Undetectable Background Leakage | UBL | Nezjistitelný skrytý únik |
| Unreported Detectable Bursts | DLU | Nenahlášené poruchy |
| Detectable Reported Bursts | DLR | Nahlášené poruchy (neopravené) |
| Background Leakage On Service Conns | BLS | Skryté ztráty na vod. přípojce |
| Background Leakage On Mains | BLM | Skryté ztráty na vodovodu |

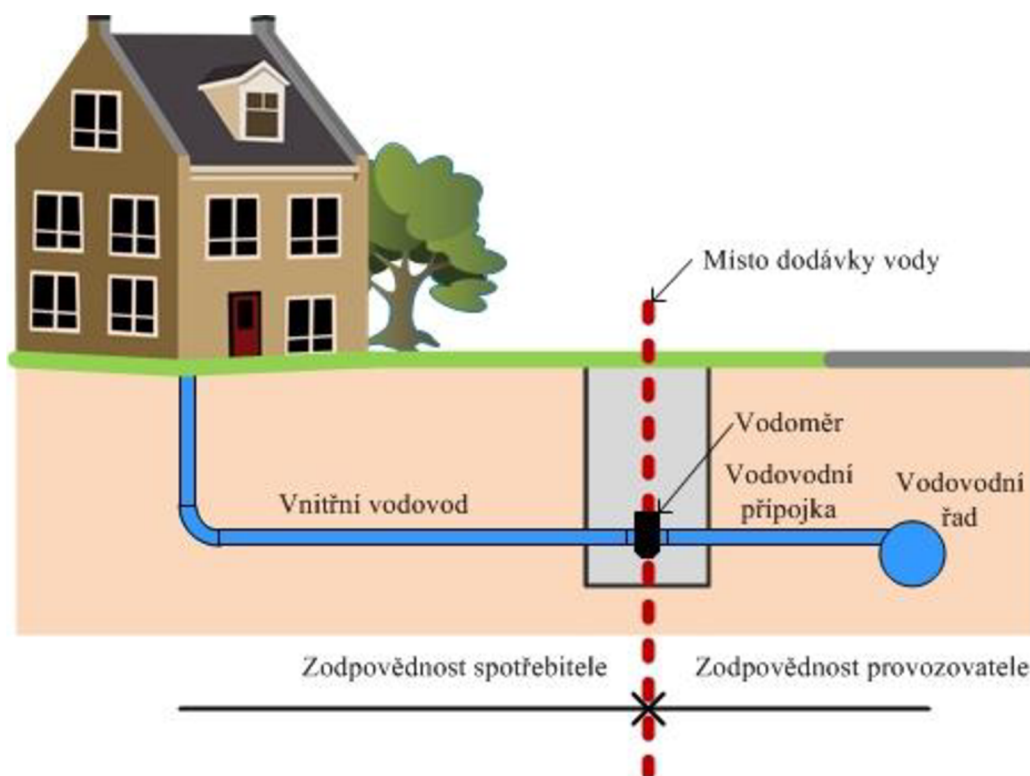
2.2.2 Definice termínů

- **Minimální noční průtok** Pravidelně opakující se hodnota průtoku, který vtéká do zóny nebo měřicího okrsku za časovou jednotku; měřený během období s nejnižší spotřebou.
- **Noční spotřeba** Celkové množství vody doručené k místu dodávky vody odběratele; zahrnuje skutečnou noční spotřebu a ztráty vody na vnitřním vodovodu.
- **Ztráta na veřejném vodovodu** Ztráty na všech potrubí sítě až k místu dodávky vody
- **Skutečný odběr** Množství vody skutečně odebrané a užitý spotřebitelem; nezahrnuje ztráty vody
- **Ztráty na vnitřním vodovodu** Součet veškerých ztrát na potrubí spotřebitele, tedy na potrubí za místem dodávky vody
- **Mimořádný noční odběr** Součet jednotlivých odběrů nad stanovenou prahovou hodnotou průtoku
- **Odhadnutá noční spotřeba** Očekávaná hodnota nočního průtoků s vyloučením jakýchkoliv poruch; součet všech jednotlivých malých odběrů menších než stanovená prahová hodnota průtoků
- **Zjistitelný únik** Únik zjistitelný běžnými metodami pro lokalizaci úniků, jde především o poruchy a havárie; průtoky $> 0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
- **Nezjistitelný skrytý únik** Únik nezjistitelný běžnými metodami pro lokalizaci úniků, vyskytují se na každém vodárenském systému a probíhají nepřetržitě; průtoky $< 0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$

2.2.3 Místo dodávky vody

Jelikož se některý z úniků může vyskytovat na potrubí spotřebitele a jeho vnitřní instalaci, je nutné rozdělit ztráty vody během noci na „Ztráty na veřejném vodovodu“ a „Ztráty na vnitřním vodovodu“. Z tohoto důvodu je třeba definovat takzvané „Místo dodávky vody“ na vodovodní přípojce, za kterým bude jakýkoli únik součástí spotřebované vody spotřebitele a tedy i vody fakturované.

Nejvhodnější místo na vodovodní přípojce pro umístění takového místa je v bodě, kde vlastnictví a zodpovědnost za přípojku přechází v provozovatele, popřípadě majitele vodovodní sítě na spotřebitele. V ideálním případě by měl být fakturační vodoměr spotřebitele umístěn v tomto místě, ale v mnoha případech je z různých důvodů fakturační vodoměr umístěn v určité vzdálenosti za místem dodávky vody. [2]

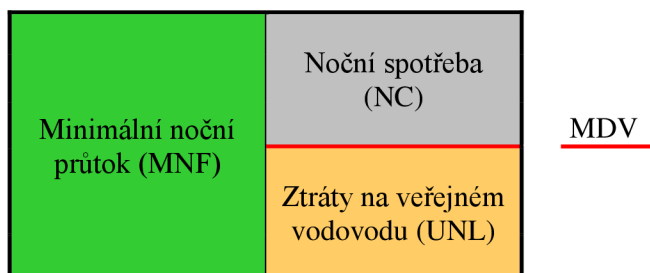


Obrázek 2.2 Místo dodávky vody

2.2.4 Terminologie jednotlivých složek minimálního nočního průtoku

I. Úroveň podrobnosti – základní složky minimálního nočního průtoku

Nejjednodušeji je popsána I. Úroveň podrobnosti. Červená čára vyznačuje místo dodávky vody (MDV). Všechny složky nad touto čarou jsou vztaženy k přípojce na straně spotřebitele, tedy vnitřnímu vodovodu a všechny složky pod touto čarou se vztahují k veřejné vodovodní síti.



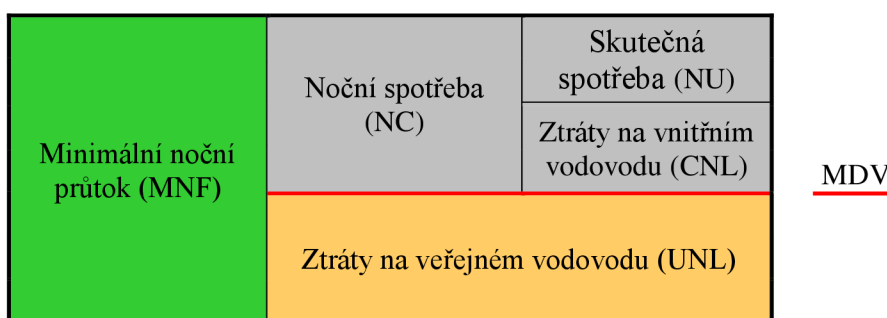
Obrázek 2.3 Složky I. Úrovně podrobnosti

V tomto případě jsou noční ztráty na veřejném vodovodu (Utility Night Leakage - UNL) odvozeny pomocí odečtení odhadované noční spotřeby (Night Consumption - NC) od naměřeného minimálního nočního průtoku (MNF). Ačkoli jsou minimální noční průtoky většinou měřeny a uváděny v litrech za sekundu, pro analýzu jednotlivých složek minimálního nočního průtoku je možné je uvádět také v m³ za hodinu.

$$\text{Ztráty na veřejném vodovodu (UNL)} = \text{MNF} - \text{NC} [\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (2.1)$$

II. Úroveň podrobnosti

Ve druhé úrovni podrobnosti je noční spotřeba rozdělena do dvou složek, a sice na skutečnou spotřebu (Night Use - NU) a ztráty vody na vnitřním vodovodu (Customer Night Leakage - CNL).



Obrázek 2.4 Složky II. Úrovně podrobnosti

III. Úroveň podrobnosti

Ve třetí úrovni podrobnosti jsou skutečná spotřeba, ztráty na přípojce a ztráty na veřejném vodovodu rozděleny každý do dvou hlavních složek, jak je zobrazeno na obrázku 2.5. Ztráty na veřejném vodovodu jsou odvozeny odečtením noční spotřeby od minimálního nočního průtoku. Noční spotřeba se skládá ze skutečné spotřeby a ztrát vody na vnitřním vodovodu.

| | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----|
| Minimální noční průtok | Noční spotřeba | Skutečná spotřeba | Mimořádný noční odběr | MDV |
| | | | Odhadnutá noční spotřeba | |
| | | Ztráty na vnitřním vodovodu | Uvnitř budov | |
| | | | Mimo budovy | |
| | Ztráty na veřejném vodovodu | Zjistitelný únik | | |
| | | Nezjistitelný skrytý únik | | |

Obrázek 2.5 Složky III. Úrovně podrobnosti

Skutečná spotřeba je rozdělena:

- **Mimořádný noční odběr** – součet jednotlivých odběrů nad stanovenou prahovou hodnotou průtoku, běžně mezi $0,1$ a $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$
- **Odhadnutá noční spotřeba** – součet všech jednotlivých malých odběrů menších než stanovená prahová hodnota průtoku; běžné odběry z kohoutků, splachování wc apod.

Ztráty na vnitřním vodovodu jsou rozděleny na ztráty:

- **Uvnitř budov** – součet všech úniků uvnitř budovy; toalety, kohoutky, vnitřní rozvody; (obvykle malé úniky)
- **Mimo budovu** - součet všech úniků mimo budovu

Ztráty na veřejném vodovodu jsou rozděleny:

- **Zjistitelný únik** – únik viditelný nebo neviditelný, ale zjistitelný běžnými metodami pro lokalizaci úniků
- **Nezjistitelný skrytý únik** – únik neviditelný a nezjistitelný běžnými metodami pro lokalizaci úniků

Stanovování noční spotřeby může být provedeno pomocí analyzování zaznamenaných měření během noci na měřidlech pro domácnosti a ostatní odběratele. Tyto záznamy jsou analyzovány a poté je spotřeba vyjádřena jako průměrná spotřeba „pro bytovou jednotku“, „na přípojku“ nebo „na osobu“ podle toho, která z jednotek je nejvhodnější pro danou situaci. Nicméně při velkém počtu vodovodních přípojek je takovéto měření a analyzování náročné. Z tohoto důvodu může být noční spotřeba stanovena za pomoci odhadu aktivního procenta obyvatelstva během noci.

Jednotlivé složky noční spotřeby nejsou fixní, ale velice proměnné, ať už systematicky nebo náhodně v závislosti na ročním období, dnu v týdnu, času během dne nebo době trvání měření nočního průtoku. Vzhledem k situačním rozdílům v mezinárodním měřítku a v rozdílech v používaných jednotkách není překvapením, že nebyl zaveden žádný jednotný mezinárodní standartní postup pro stanovení noční spotřeby. [2][3]

IV. Úroveň podrobnosti

Terminologie složek IV. Úrovně podrobnosti je zobrazena na obrázku č. 2.6.

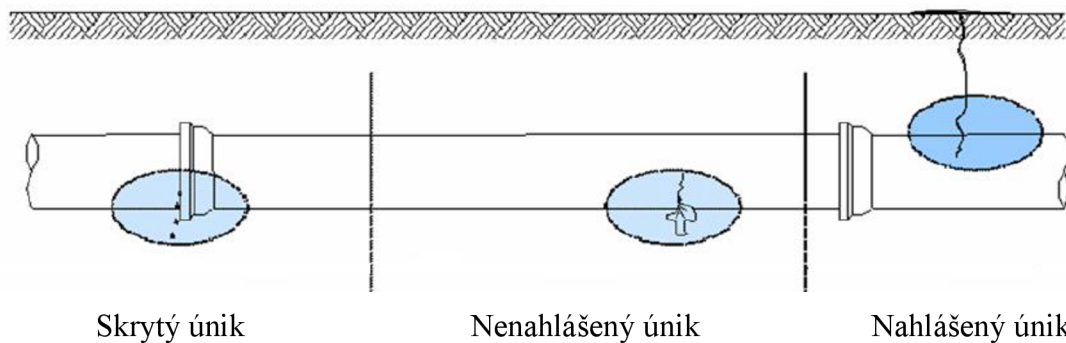
| | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------|-----|
| Minimální noční průtok | Noční spotřeba | Skutečná spotřeba | Mimořádný noční odběr | Vodovod | MDV |
| | | | | Domácnosti | |
| | | | | Ostatní | |
| | | Stanovená noční spotřeba | Domácnosti | | |
| | | | Ostatní | | |
| | | | | | |
| | Ztráty na vnitřním vodovodu | Uvnitř budov | Toalety, kohoutky, vnitřní instalace | | |
| | | Mimo budovy | Potrubí a střešní nádrže | | |
| | Ztráty na veřejném vodovodu | Zjistitelný únik | Nenahlášené poruchy | | |
| | | | Nahlášené poruchy (neopravené) | | |
| Nezjistitelný skrytý únik | | Na přípojce | | | |
| | | Na vodovodu | | | |

Obrázek 2.6 Složky IV. Úrovně podrobnosti

Mimořádný noční odběr je rozdělen na vlastní spotřebu vodovodu, spotřebu pro domácnosti a spotřebu pro ostatní odběratele. Stanovená noční spotřeba je rozdělena na spotřebu pro domácnosti a spotřebu pro ostatní odběratele. Do ostatních odběratelů patří jiní drobní odběratelé i velkoodběratelé.

Zjistitelný únik je rozdělen na poruchy nahlášené, ale stále neopravené a poruchy nenahlášené. Nezjistitelné skryté úniky jsou rozděleny na úniky na vodovodu a úniky na vodovodní přípojce. [2]

Skutečné ztráty na různých částech infrastruktury (na vodovodních řadech, vodovodních přípojkách apod.) se sestávají z několika složek. Těmito složkami jsou skryté úniky ve spojích a armaturách, nenahlášené úniky a nahlášené úniky. Každá z těchto složek má různou frekvenci výskytu, hodnotu průtoku a dobu trvání. Na obrázku 2.7 je zobrazen rozdíl mezi skrytým únikem, nenahlášeným únikem a nahlášeným únikem. Tento koncept lze aplikovat jak na vodovodní řady, tak na vodovodní přípojky.



Obrázek 2.7 Druhy úniků

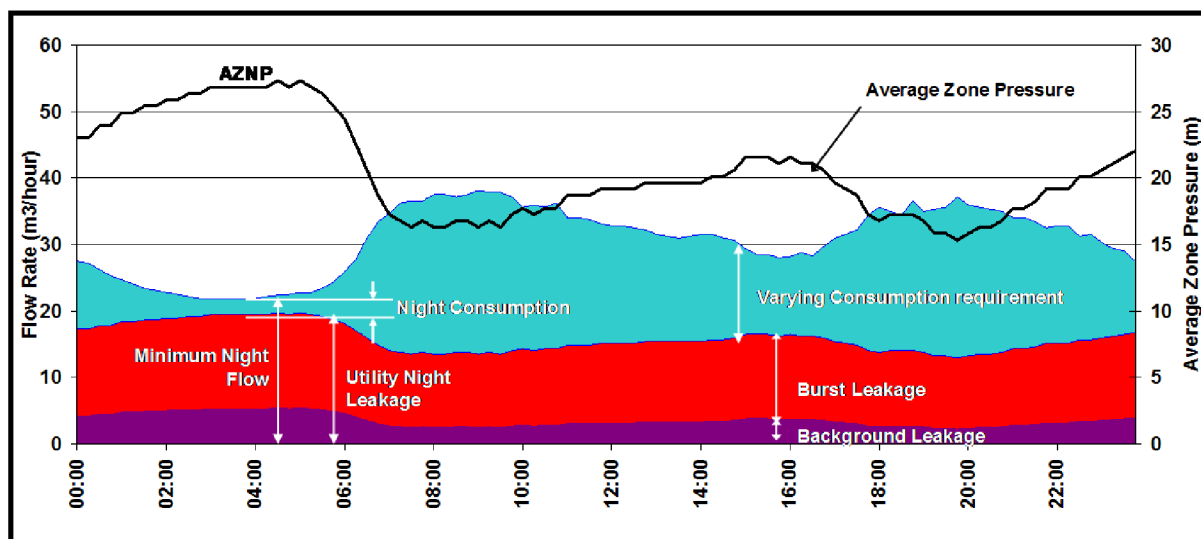
Skrytý únik je nenahlášený a nezjistitelný únik běžnými metodami pro vyhledávání úniků. Pro výpočet množství skutečných ztrát se počítá s tím, že skryté úniky jsou na síti přítomny nepřetržitě. Hledání a opravy takovýchto úniků je ve většině případů neekonomické a z tohoto důvodu jsou na vodovodních sítích akceptovány.

Nenahlášený únik často nedosahuje na povrch terénu, ale je zjistitelný běžnými metodami pro lokalizaci úniků. Nahlášený únik ve většině případů vyvěrá až na povrch terénu a je nahlášený buď obyvateli, nebo pracovníky vodárenské společnosti. [2]

Každý z těchto úniků je možné do určité míry eliminovat. Velikost skrytých úniků je možné zmírnit pomocí redukce tlaku v síti, výměnou potrubí, zmenšením počtu spojů a armatur na síti. Pro zmírnění nenahlášených úniků se používají stejné metody jako u skrytých úniků, je zde však navíc možné provádět aktivní kontrolu úniků a tím zmenšit jejich množství. Nástroji pro zmírnění nahlášených úniků jsou regulace tlaku a optimalizování doby oprav. [5]

V. Úroveň podrobnosti

V páté úrovni podrobnosti je oproti čtvrté úrovni navíc zahrnut vliv tlakových poměrů v síti na jednotlivé složky minimálního nočního průtoku.



Obrázek 2.8 Změny složek ztrát vody na vodovodní síti během dne^[27]

Hodnota tlaku v pásnu se mění během dne v závislosti na velikosti odběrů. Hodnota provozního tlaku ovlivňuje některé úniky více než jiné. U úniků vody z tlakových potrubí je třeba určit, jsou-li tyto úniky skutečně součástí ztrát nebo součástí odběrů. K tomuto účelu doporučuje IWA použití takzvaného FAVAD (Fixed and Variable Area Discharges) konceptu, který popisuje vztah mezi tlakem na síti a velikostí úniku. [2]

Podle FAVAD konceptu se mění velikost úniku (L) v jednotlivých pásmech/okresích rozvodné sítě v závislosti na velikosti tlaku P^{N1} , kdy exponent $N1$ má průměrnou hodnotu 1,15. Může se však pohybovat v rozmezí 0,5 až 2,0 a více. Podle konceptu FAVAD jsou některé druhy úniků takzvané fixní ($N1=0,5$) a jiné úniky, které se značně mění s hodnotou tlaku v síti ($N1 = 1,5$ a více). [6]

Základní FAVAD rovnice (2.2) používaná pro analyzování a předpovídání změn úniků ($L_0 \rightarrow L_1$) za pomoci změny průměrného provozního tlaku v pásnu ($P_0 \rightarrow P_1$).

$$L_1/L_0 = (P_1/P_0)^{N1} \quad (2.2)$$

Poměr mezi průměrnými provozními tlaky v pásnu a správně stanovený exponent $N1$ jsou to, co ovlivňuje spolehlivost předpovědi. Výzkumy z různých zemí ukázaly následující:

- Pro nezjistitelné úniky a praskliny v pružném potrubí, které se zvětšují s narůstajícím tlakem se hodnota $N1$ pohybuje kolem 1,5
- Pro zjistitelné úniky, praskliny a díry v tuhých potrubích se $N1$ blíží hodnotě 0,5
- Pro velké systémy s různými druhy materiálu se hodnota $N1$ pohybuje kolem 1,0 [6]

Průměrné hodnoty $N1$ jsou pro rozsáhlejší sítě většinou velmi stabilní, naopak pro menší sítě značně rozkolísané především v závislosti na typu a velikosti úniku.

Hodnota exponentu $N1$ může být také přesněji stanovena za pomoci následujících empirických vzorců:

A. V případě malých nezjistitelných skrytých úniků:

$$N1 = 1,5 - \left(1 - \frac{0,65}{ILI}\right) \cdot \frac{p}{100}^{[7]} \quad (2.3)$$

B. V případě velkých nezjistitelných skrytých úniků:

$$N1 = 1,5 - \left(1 - 0,667 \cdot \frac{ICF}{ILI}\right) \cdot \frac{p}{100}^{[7]} \quad (2.4)$$

kde ILI index ztrát infrastruktury

p procento zjistitelných úniků

ICF součinitel kondice infrastruktury (poměr mezi aktuálními skrytými nezjistitelnými úniky a nevyhnutelnými skrytými úniky)

Obvyklým výstupem bývá ve většině případů graf (obrázek 2.9), za použití průměrného tlaku v pásnu. Jestliže P_0 a L_0 jsou počáteční tlaková výška a počáteční únik, tak mohou být odhadnuty jiné hodnoty úniku při jiném tlaku (L_1 a P_1) známe-li nebo můžeme-li odhadnout hodnotu exponentu $N1$. [2][7]

Kromě úniků na síti může být také pomocí tohoto konceptu předběžně odhadnuto snížení spotřeby odběrateli (C). V tomto případě předpokládáme, že se spotřeba (C) mění s průměrným tlakem P^{N3} . Nicméně při řešení tohoto případu je nutné rozdělit celkovou

spotřebu na spotřebu „uvnitř budov“ a spotřebu „mimo budovy“. Zavádí se tedy dílčí exponenty N_{3i} pro vnitřní spotřebu a N_{3o} pro vnější spotřebu a to z toho důvodu, že exponent pro vnitřní spotřebu nabývá výrazně menších hodnot než exponent pro spotřebu vnější a to až desetinásobně. Konečný exponent N_3 se poté vypočítá z dílčích exponentů N_{3i} a N_{3o} podle rovnice (2.5).

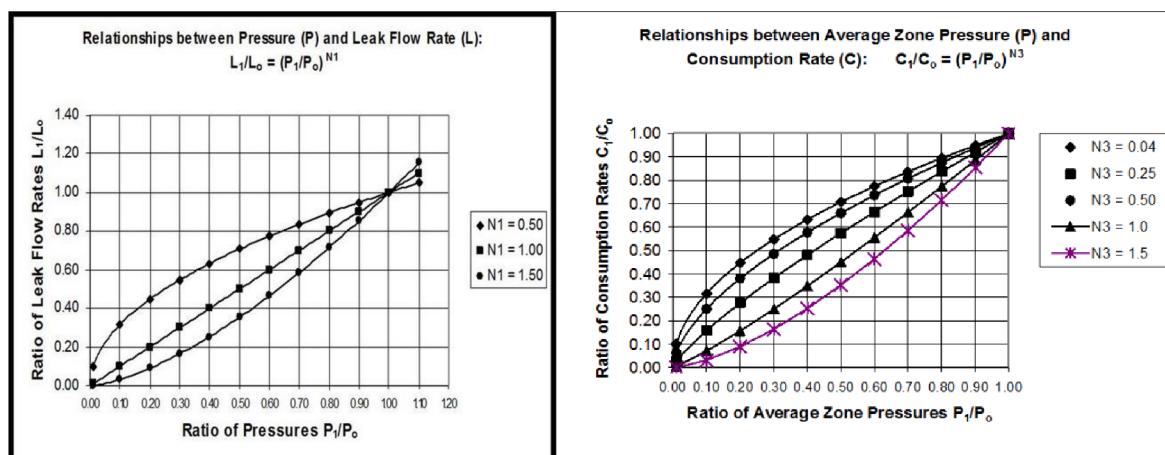
$$N_3 = N_{3i} + (N_{3o} - N_{3i}) \times OC\% \quad (2.5)$$

kde N_{3i}, N_{3o} dílčí exponenty
 $OC\%$ procento spotřeby vody využité mimo budovu

Pomocí následující rovnice (2.6) můžeme tedy odhadnout změnu ve spotřebě ($C_0 \rightarrow C_1$) při změně tlakových poměrů v síti ($P_0 \rightarrow P_1$) známe-li nebo jsme-li schopni odhadnout přibližnou hodnotu exponentu N_3 . N_3 nabývá hodnot od 0,0 až 0,75. [6]

$$C_1/C_0 = (P_1/P_0)^{N_3} \quad (2.6)$$

Obecně lze říci, že složkám minimálního nočního průtoku, které jsou značně ovlivňovány změnami tlakových poměrů v síti, připadají vysoké hodnoty exponentů N_1 a N_3 . Naopak složkám, které jsou tlakovými poměry ovlivňovány méně, připadají nízké hodnoty těchto exponentů. Výstupy předpovědí jak změny úniku, tak i spotřeby jsou zobrazeny na obrázku 2.9. Na obrázku 2.10 jsou uvedeny přibližné hodnoty exponentů N_1 a N_3 pro jednotlivé složky minimálního nočního průtoku.



Obrázek 2.9 Vztah mezi průměrným tlakem v pásnu a velikostí úniku, spotřeby^[7]

| | | Závislé na tlaku? | FAVAD N1/N3 | Zjednodušení |
|--------------------------|---|------------------------------|-----------------------|--------------|
| | | Minimální noční průtok | Mimořádný noční odběr | ANO |
| Stanovená noční spotřeba | Nepatrně | | $0,0 < N3 < 0,1$ | $N3 = 0,04$ |
| Uvnitř budov | ANO, mění se s typem úniku | | $0,0 < N3 < 0,5$ | $N3 = 0,25$ |
| Mimo budovy | ANO, mění se s typem úniku | | $0,0 < N3 < 1,5$ | $N3 = 1,0$ |
| Zjistitelný únik | ANO, dle materiálu | | $0,5 < N1 < 1,5$ | $N1 = 1,0$ |
| | Pevný $N1 = 0,5$ Pružný $N1 = 1,5$ | | | |
| Nejistitelný skrytý únik | ANO, výrazně | $N1 = 1,5$ | $N1 = 1,5$ | |

Obrázek 2.10 Přibližné hodnoty exponentů N1 a N3 pro složky MNP^[2]

3 ZTRÁTY VODY

3.1 ÚVOD

Ztráty vody jsou problémem v globálním měřítku a jedním z nejvíce probíraných otázek ve vodním hospodářství, které vyžadují solidní a efektivní provozní strategii založenou na lepším porozumění toho, co ztráty vody způsobuje a jaké faktory je nejvíce ovlivňují. Ztráty vody nejsou problémem pouze v rozvojových zemích. Množství vody nefakturované se ve vyspělých zemích pohybuje mezi 15 – 35 procenty z celkového množství vody vyrobeného k realizaci. [8] Například v České Republice se ztráty vody pohybují kolem 18%. [29] Kontrolování a snižování úrovně vody nefakturované je tedy jedním z prioritních úkonů provozovatelů a vlastníků vodárenských systémů.

Z celkového množství vody vyrobené k realizaci se ke spotřebiteli dostává pouze její určitá část. Tato skutečnost je zapříčiněna ztrátami vody, ke kterým dochází na každé vodovodní síti. Základní povinností provozovatele vodárenských systémů je sledování a vykazování těchto ztrát. Ztráty vody jsou výborným ukazatelem technického stavu vodárenského systému. IWA (International Water Association) rozděluje vodu vyrobenou k realizaci na registrovanou spotřebu a ztráty vody. Ztráty vody jsou rozděleny na ztráty zdánlivé a ztráty skutečné. Ztráty skutečné jsou ztráty z důvodu netěsnosti potrubí, tvarovek nebo armatur; z důvodu poruch na vodovodních řadech nebo přepady z vodojemů. Ztráty zdánlivé tvoří neměřené odběry a chyby v měření. [9]

| | | | | |
|---|---|---|---|--|
| 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] | |
| | Ztráty vody [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] | |
| | | Skutečné ztráty [m ³ /rok] | Chyby měření [m ³ /rok] | |
| | | | Ztráty vody v distribuční síti | |
| | Ztráty vody ve vodojemech | | | |
| | | Ztráty vody na přípojkách | | |

Obrázek 3.1 Schéma bilančních složek při hodnocení ztrát vody podle IWA

Minimální noční průtoky jsou velmi dobrým ukazatelem pro úniky na vodovodní síti. Proto jsou minimální noční průtoky hojně využívanou metodou pro stanovování skutečných ztrát a jejich složek. Je-li tedy na snadě snižování jak skutečných tak i zdánlivých ztrát, a tím i množství vody nefakturované, je důležité dobře porozumět souvislosti mezi minimálními nočními průtoky a ztrátami vody.

3.2 ZÁKLADNÍ UKAZATELE ZTRÁT VODY

Základními ukazateli ztrát vody jsou:

- Procento vody nefakturované
- Jednotkový únik
- Voda nefakturovaná na přípojku
- Index ztrát infrastruktury

3.2.1 Procento vody nefakturované

Procento vody nefakturované je často používaným ukazatelem ztrát vody v ČR. Jeho stanovení je jednoduché a není nijak náročný na vstupní data. Jeho nevýhodou je nedostatečné vystižení různé skladby a charakteru vodovodní sítě a ukazatel má jen malou vypovídací schopnost o skutečném technickém stavu posuzovaného vodovodu. Objem vody nefakturované je zde vyjádřen jako procentuální část z vody vyrobené k realizaci VVR. [28]

$$VNF = \frac{VNF_{celkem}}{VVR} \cdot 100 [\%] \quad (3.1)$$

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

3.2.2 Jednotkový únik

Jedná se o objem vody nefakturované z posuzovaných vodovodních řadů, uvádí se v jednotkách $m^3 \cdot km^{-1} \cdot rok^{-1}$. Jedná se o přesnější vyjádření ztrát vody než procento vody nefakturované. Nevýhodou je však skutečnost, že musí být známa skladba sítě a ukazatel nezahrnuje vliv tlaku. [28]

3.2.3 Voda nefakturovaná na přípojku

Voda nefakturovaná na přípojku je stanovena z celkového množství vody nefakturované a počtu vodovodních přípojek. V ČR není tento ukazatel příliš používán z důvodu charakteru zástavby, kdy je více bytových jednotek zásobeno z jedné vodovodní přípojky. Tento ukazatel je doporučován IWA. [28]

$$VNFP = \frac{VNF \cdot 10^3}{PP \cdot 365} [l.př^{-1} \cdot den^{-1}] \quad (3.2)$$

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

3.2.4 Index ztrát infrastruktury (ILI)

Neboli Infrastructure Leakage Index je účinný výkonnostní bezrozměrný ukazatel pro posouzení provozu vodárenského systému který říká, jak dobře je systém řízen z pohledu na kontrolu skutečných ztrát při aktuálním provozním tlaku. Porovnává nejlepší možný výkon systému oproti aktuálnímu výkonu. ILI je definován následovně:

$$ILI = \frac{SZ}{TNZ} \quad [-] \quad (3.3)$$

kde ILI index ztrát infrastruktury [-]

SZ skutečné ztráty [l.příp⁻¹.den⁻¹]

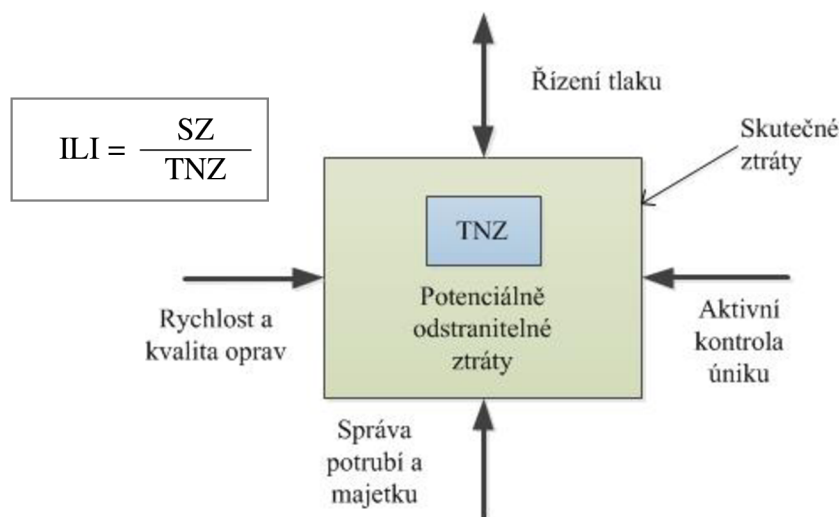
TNZ teoreticky nevyhnutelné ztráty [l.příp⁻¹.den⁻¹]

Skutečné ztráty jsou vody nefakturované bez vlastní spotřeby sítě a udává se v jednotkách l.připojka⁻¹.den⁻¹. Tyto ztráty jsou určovány pomocí roční vodní bilance doporučené IWA. Jde o součet ztrát v distribuční síti, ve vodojemech, na přípojkách.

Teoreticky nevyhnutelné ztráty jsou nejnižší prakticky dosažitelná hodnota ročních reálných ztrát pro výborně udržovaný a výborně provozovaný systém. Teoreticky nevyhnutelné ztráty se udávají v jednotkách l.připojka⁻¹.den⁻¹. [10]

Teoreticky nevyhnutelné ztráty

Je zřejmé, že z vodárenských systémů není možné úplně eliminovat veškeré reálné ztráty. Musí tedy existovat určitá hodnota *teoreticky nevyhnutelných ztrát*, kterých by bylo možné dosáhnout, kdybychom nebyli nijak technicky a ekonomicky omezeni. Pokud jsme schopni určit hodnotu těchto nevyhnutelných ztrát, můžeme zlepšit výkonost daného systému a tedy i snížit množství ztrát skutečných.



Obrázek 3.2. Teoreticky nevyhnutelné ztráty

Pokud od skutečných ztrát odečteme veškeré ztráty, které je možné eliminovat, dostaneme teoreticky nevyhnutelné ztráty. Za pomoci použití čtyř metod pro správu úniků můžeme ovlivňovat množství skutečných ztrát, avšak pouze na hodnotu teoreticky nevyhnutelných ztrát. Klíčové metody pro spravování úniků jsou následující:

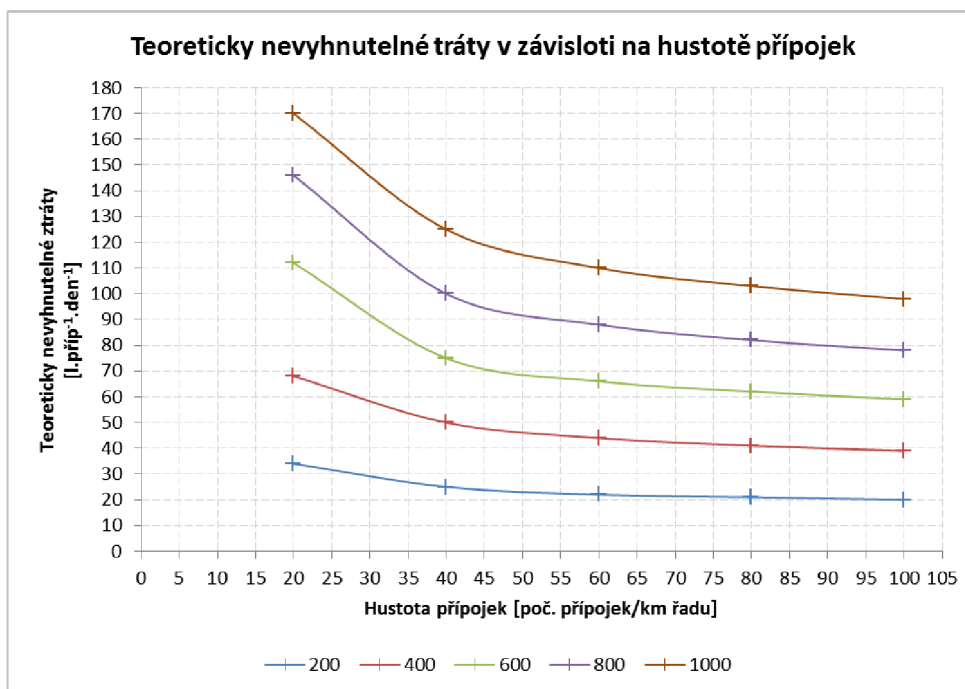
- Řízení tlaku
- Aktivní kontrola úniků
- Správa potrubí a majetku – např. rozvoj, obnova, opravy,...
- Rychlost a kvalita oprav

Přibližnou hodnotu teoreticky nevyhnutelných ztrát je možné určit pomocí vztahu (3.4), který byl vytvořen IWA Water Losses Task Force - Lambert a kol., 1999.

$$TNZ = (18L_m + 0.8N_c + 25L_p) \cdot P \text{ [l.den}^{-1}\text{]} \quad (3.4)$$

kde L_m délka vodovodního řadu [km]
 N_c počet vodovodních přípojek [ks]
 L_p průměrná délka vodovodních přípojek [km]
 P průměrný provozní tlak [m]

Hodnotu teoreticky nevyhnutelných ztrát lze také přibližně odečíst z grafu na obrázku 3.3. V tomto případě se teoreticky nevyhnutelné ztráty určují na základě hustoty přípojek (počet přípojek na km řadu) při daném průměrném provozním tlaku (kPa). Tento graf byl sestaven pomocí výsledků výzkumu (Lambert, 2002), kterého se účastnilo 27 vodárenských systémů z 19 zemí světa.



Obrázek 3.3 Závislost hodnoty nevyhnutelných ztrát na hustotě přípojek a provozním tlaku

Hodnoty ILI

Index ztrát infrastruktury nabývá hodnot 1,0 a více (pozn. Některý výzkumy [např. *INTERPRETING ILIs in SMALL SYSTEMS, Lambert a kol., 2014*] dokazují, že malé jednotné systémy s počtem přípojek 3000 a méně za průměrného provozního tlaku 0,4 MPa se mohou s ILI dostat i pod hodnotu 1,0).

ILI se dělí do čtyř základních výkonnostních kategorií A - D: [11]

- A: $ILI < 2,0$ – Další snižování ztrát je neekonomické
- B: $2,0 < ILI < 4,0$ – Je prostor k dalšímu zlepšování
- C: $4,0 < ILI < 8,0$ – Tolerovatelné pokud je zdroj vody vydatný a levný
- D: $ILI > 8,0$ – Nehospodárné využití zdrojů; svědčí o špatném stavu a provozování systému

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

Omezení ILI

IWA příliš nedoporučuje použití ILI pro systémy, které: [30]

- Mají méně než 3000 přípojek,
- Průměrný provozní tlak je menší než 0,25 MPa,
- Hustota přípojek je menší než 20 přípojek na 1 kilometr vodovodního řadu.

3.2.5 Ekonomický index ztrát

Pro provozovatele vodárenských systémů je nejdůležitější stanovit ekonomicky akceptovatelné hodnoty používaných ukazatelů ztrát vody. Jedná se o takové hodnoty, kdy další snižování hodnot těchto ukazatelů není pro provozovatele ekonomicky efektivní. [12]

$$EIZ = EI \cdot IZ [-] \quad (3.5)$$

kde EI Ekonomický index [-]

IZ Index ztrát [-]

EI – ekonomický index nabývá hodnot:

1,5 – voda pro posuzovaný systém je upravována dvoustupňovou úpravou vody a čerpána minimálně na výšku přesahující 50 m v. sl.

1,0 – voda pro posuzovaný systém je upravována dvoustupňovou úpravou vody, ale dopravována do systému gravitačně, voda pro posuzovaný systém vyžaduje pouze dezinfekci respektive jednoduchou úpravu, ale musí být do systému čerpána

0,5 – voda pro posuzovaný systém vyžaduje pouze dezinfekci resp. jednoduchou úpravu a je do systému dopravována gravitačně [12]

IZ – index ztrát nabývá hodnot:

Index ztrát se stanovuje pro každý hydraulicky samostatný vodárenský systém resp. jeho část (vodovod, tlakové pásmo) v závislosti na použitém ukazateli ztrát vody. [12]

$$IZ = \frac{JUVNF}{3100} \quad (3.6)$$

kde IZ index ztrát [-]

JUVNF jednotkový únik vody nefakturované [$\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]

Při použití ILI se využije vztahu 3.7:

$$IZ = \frac{ILI}{4} \quad (3.7)$$

kde IZ index ztrát [-]

ILI index ztrát infrastruktury [-]

Hodnocení vodovodů podle EIZ

- $EIZ > 1,3$ - jde o vodovod, kde ztráty vody způsobují značné ekonomické provozní ztráty a je žádoucí, aby provozovatel tohoto systému provedl podrobnou analýzu příčin ztrát vody a intenzivně se zaměřil na jejich snižování
- $0,8 < EIZ < 1,3$ - jde o vodovod, kde v důsledku současných ztrát vody nedochází k významným ekonomickým provozním ztrátám
- $EIZ < 0,8$ - jde o vodovodní systém, kde ztráty vody jsou jak po technické tak i ekonomické stránce přijatelné a realizace dalších opatření zaměřená na snižování ztrát by byla ekonomicky neefektivní [12]

4 MĚŘENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ

Na vodárenských systémech jsou instalovány různé druhy měřidel, které slouží k různým účelům. Podle zákona č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve znění zákona č. 119/200 Sb. se jedná o měřidla stanovená a měřidla pracovní.

Měřidla stanovená jsou veškerá měřidla, která s ohledem na význam v obchodně smluvních vztazích podléhají ve smyslu zákona o metrologii pravidelnému ověřování a kalibraci. Jsou to veškeré vodoměry, podle nichž jsou účtovány veškeré platby za množství proteklé vody. Kromě klasických domovních vodoměrů jsou to i vodoměry určené k měření vody předané nebo převzaté a odebírané vody z podzemních nebo povrchových zdrojů, která podléhají zpoplatnění ve smyslu zákona o vodách.

Pracovní měřidla, tak zvané provozní jsou veškerá ostatní měřidla, která slouží pouze interní potřebě provozovatele. Jsou to například vodoměry v úpravnách vod, v čerpacích stanicích a vodojemech. Slouží ke sledování a řízení provozu a k indikaci poruch a úniků vody. Tato měřidla nepodléhají povinnému režimu ověřování a kalibraci. Četnost a rozsah kontrol měřidel je zcela v kompetenci vlastníka nebo provozovatele vodovodní sítě. [13]

Zaznamenávání a vyhodnocování naměřených údajů ať už průtoku nebo tlaku jsou velice důležitým provozním nástrojem k identifikaci poruch na vodovodní síti. Má-li být tento nástroj co nejefektivnější, je potřeba tyto údaje sledovat v rozumných časových intervalech, ideálně však nepřetržitě. Výsledky analýz naměřených údajů mohou odhalit problémy na vodovodní síti, které by mohly býti nepovšimnuty týdny či dokonce měsíce a roky. Žijeme v době, kdy dochází k obrovsky rychlému vývoji informačních a komunikačních technologií a použití internetu jako platformy pro přístup a zobrazování naměřených dat se stává běžnou praxí po celém světě. Dálkové zaznamenávání dat zejména pomocí GMS a GPRS je čím dál využívanější, neboť náklady potřebné k pořízení jak hardwaru, tak i softwaru a s tím i související komunikační poplatky v posledních letech stále klesají. Využití a přínos takovéto technologie pro vodárenské společnosti je evidentní. [1][14]

Průtoky přitékající do měřicího okrsku jsou obvykle zaznamenávány jako průměr udávaný v litrech za sekundu za 1, 5 nebo 15 minutovou periodu.



Obrázek 4.1 Mechanický vodoměr SENSUS HRI-Mei s generátorem pulsů (vlevo) a indukční průtokoměr SIEMENS SITRANS F M MAG 3100 (vpravo)

4.1 MĚŘÍCÍ OKRSKY

Postup pro sledování úniků ve vodárenských systémech vyžaduje instalaci průtokoměrů na strategických místech po celém systému. Každé měřidlo zaznamenává průtok do daného prostoru, který je definován svou trvalou hranicí. Tento prostor se nazývá měřící okrsek (DMA - District Meter Area). V těchto okrscích se provádí měření a vyhodnocování minimálních nočních průtoků za účelem stanovení množství úniků. Měřící okrsek můžeme definovat jako hydraulicky oddělená tlaková pásma od zbytku vodovodní sítě. Tyto pásma jsou zpravidla vytvářeny uzavřením armatur na jejich hranici nebo trvalým odpojením potrubí vedoucí do vedlejšího pásma. Musí být však stále zaručeno, že bude pokryta potřeba vody pro dané pásmo. Množství vody vtékající do těchto okrsků je měřeno a analyzováno za účelem stanovení ztrát vody. [15]

4.1.1 Navrhování měřících okrsků

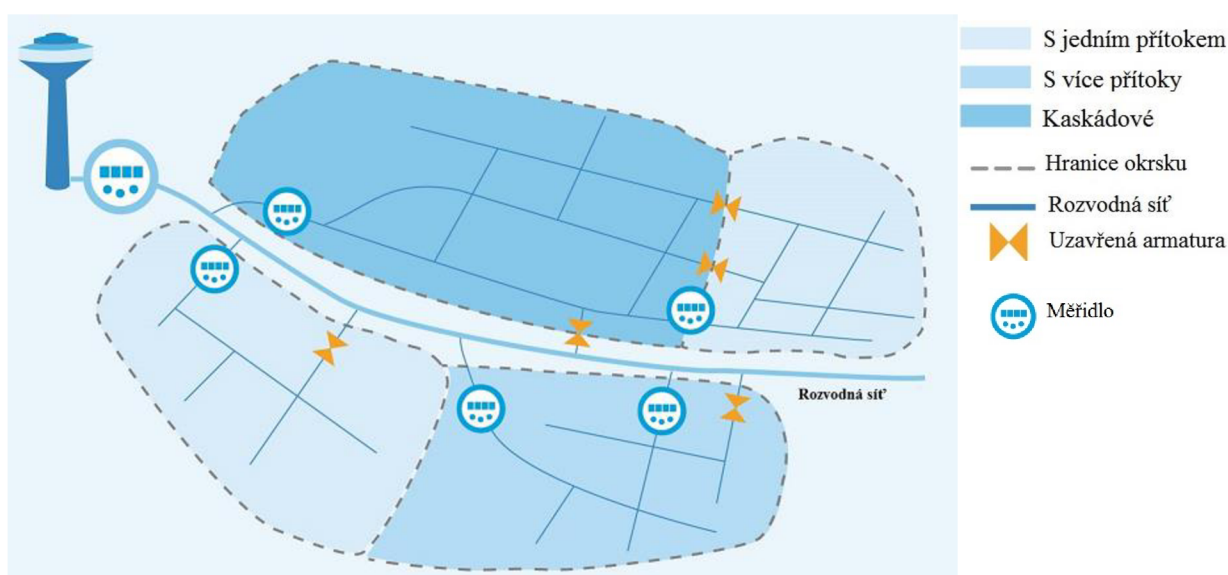
Členění vodárenského systému, zejména větších, na jednotlivé okrsky může být nelehkým úkolem, který při nesprávném provedení může způsobovat problémy s dodávkou vody a její kvalitou. Základním klíčem k úspěchu je velmi dobře se obeznámit s hydraulickými procesy systému.

Cílem návrhu je:

- Rozdělit síť na tolik měřících okrsků, abychom mohli průtok do každého okrsku pravidelně sledovat a mohli tak identifikovat nenahlášené poruchy a poté s jistou přesností vyčíslit velikost ztrát,
- Umožnit v jednotlivých okrscích (nebo ve skupině okrsků) řízení tlaku tak, aby mohly být okrsky provozovány pod optimálním provozním tlakem (0,35 – 0,45 MPa).

V závislosti na charakteru systému měřící okrsky mohou být:

- Zásobeny jedním potrubím (ideálně),
- Zásobeny více potrubími,
- Kaskádové (pokud je to možné tak se nepoužívají).



Obrázek 4.2 Měřící okrsky

Při vytváření měřících okrsků bychom měli vzít v úvahu následující kritéria:

- Velikost – zeměpisné oblasti a počet vodovodních přípojek;
- Druh zástavby – malé obce, individuální, městská, sídlištní;
- Výškové změny terénu,
- Kvalitu vody,
- Tlakové poměry,
- Požární potřeba vody,
- Počet armatur, které budou uzavřeny;
- Počet průtokoměrů, které budou použity k monitorování přítoku do okrsků,
- Další.

Hlavní zásadou pro vytvoření měřícího okrsku však je, aby nebyla nijak značně snížena kvalita služeb poskytovaných spotřebitelům. [15]

Velikost měřících okrsků ovlivňuje množství potřebných finančních prostředků k jejich vytvoření. Čím menší okrsky chceme vytvořit, tím více finančních prostředků potřebujeme a to z důvodu vyššího počtu potřebných uzavíracích armatur a měřidel a s tím i spojené náklady na údržbu. Menší měřící okrsky však mají své výhody a je třeba zvážit, je-li jejich vytvoření ekonomicky přijatelné. Výhody menších měřících okrsků jsou například:

- Rychlejší identifikace nových úniků,
- Pomocí nočních průtoků mohou být odhaleny menší úniky,
- Rychlejší lokalizace úniků (menší DMA = menší zkoumaná oblast),
- Dosáhnutí menší hodnoty procenta vody nefakturované díky výše uvedeným.

Velikost měřícího okrsku by se měla pohybovat mezi 500 a 3000 bytovými jednotkami. U měřících okrsků s více než 5000 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 měřící okrsky s méně než 500 bytovými jednotkami.

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

Měřící okrsek je charakterizován dle hustoty zástavby následujícím vztahem:

$$C = \frac{BJ}{L} \quad (4.1)$$

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

4.2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA

Zvolený průtokoměr musí být schopen přesného měření za nízkých průtoků, bez toho aniž by způsoboval výrazné tlakové ztráty během maximálních průtoků. Nejlepší dnešní dostupná měřidla se dokáží vyrovnat s hodinovými i sezónními špičkami a zároveň dokáží přesně měřit noční průtoky vtékající do měřícího okrsku. [15]

Výběr velikosti měřidla závisí na:

- Dimenzi potrubí,
- Rozsahu průtoků,
- Velikosti tlakových ztrát během špičky,
- Požadavku zpětného průtoků
- Přesnosti a spolehlivosti,
- Možnosti přenosu dat,
- Cenně,
- Množství nákladů na údržbu.

Doporučená měřící technika

Indukční (magneticko-indukční) průtokoměry jsou nepřesnějším druhem měřidel na měření průtoků. Pracují na snímání indukovaného napětí, které vzniká při pohybu kapaliny v magnetickém poli a které je přímo úměrné střední profilové rychlosti proudění. Tyto vodoměry mají zcela volný průřezový profil bez zúžení a jakýchkoli překážek, takže nezpůsobuje žádnou místní tlakovou ztrátu. Indukční průtokoměr se skládá ze dvou částí, tj. snímače – indukčního čidla, který je zabudován přímo v potrubí a který snímá průtok a převodníku, tzv. řídicí jednotky, která zpracovává, vyhodnocuje a zobrazuje naměřená data. Nicméně jejich pořizovací cena je vysoká a v mnoha případech vyžadují externí zdroj energie.

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 průtoků měřeného kapalného média. Okamžitý měřený průtok a údaj o celkovém proteklém množství jsou zobrazovány na displeji. Náklady na instalaci jsou nižší než u indukčních průtokoměrů. Při jejich instalaci není nutné mechanicky zasahovat do potrubí.

Šroubové (Woltmanovy) vodoměry také uspokojivě splňují požadavky, co se týče přesnosti naměřených dat. Tyto vodoměry mají rotor se šroubovitě tvarovanými lopatkami, směr proudění je axiální. Jde o velmi citlivé a také velmi přesné měřící zařízení, jehož velkou výhodou je, že nenavyšuje tlakové ztráty v potrubí, do něhož je vloženo. Tyto vodoměry však nejsou uzpůsobeny zpětným průtokům. [9]

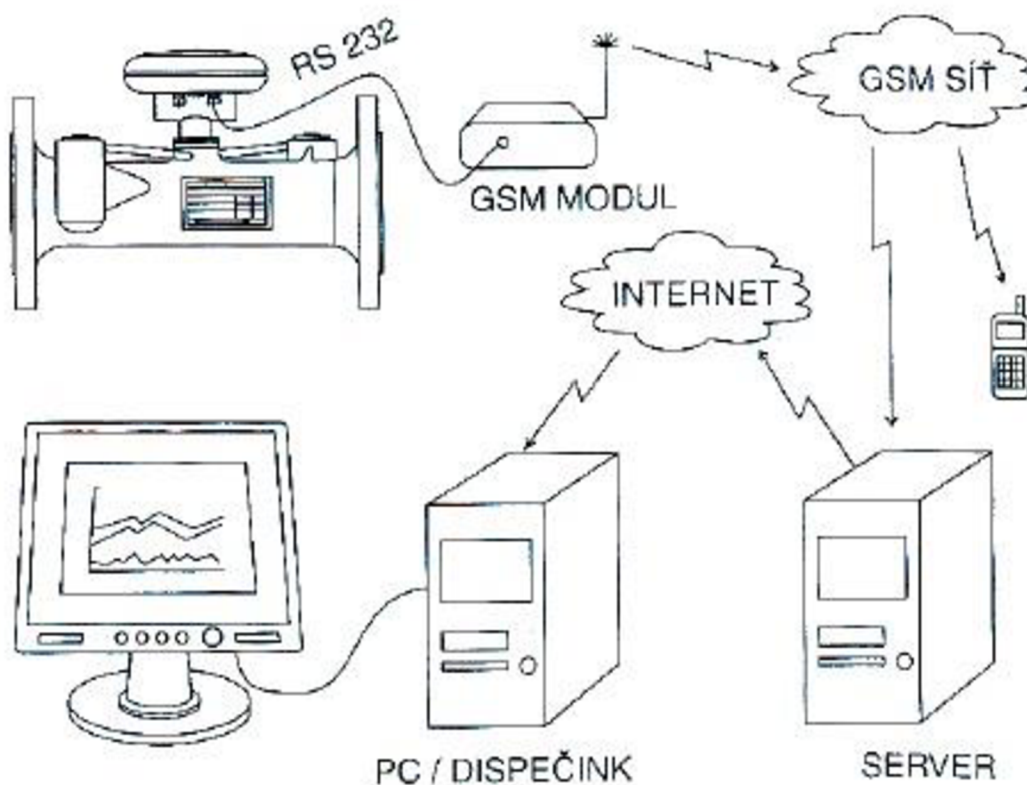
Samostatnou kategorií tvoří *dataloggery*. Jsou to zařízení pro sběr a ukládání analogových a/nebo binárních informací. Jde buď o prostředníka mezi snímacími senzory a počítačem nebo jde o zařízení zcela samostatně shromažďující naměřené údaje. Datalogger je vhodný pro sběr dat z objektů bez i se síťovým napájením. Bez síťového napájení předávání naměřených dat na server v delších, obvykle v jednodenních intervalech. Ve vodárenství využívány pro měření průtoků, tlaků, hladin, akustických šumů. [17]

Dálkové odečty

Díky dálkovému odečítání vodoměru není nutno terénní pochůzky a vizuálního odečtu vodoměru přímo na místě. Chybějící nebo nesprávné hodnoty ručně odečtených vodoměrů již tedy nejsou problémem. Vodárenská společnost nemusí nadále posílat své pracovníky pro získávání údajů. Předpokladem pro aplikaci dálkového odečtu je plně elektronický vodoměr, který je vybaven rozhraním. [18]

Při každém odečtu vodoměr odesílá paket 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 kódy, např. netěsnost,
- informační kódy, které byly aktivní během posledních 30 dní.[19]



Obrázek 4.3 Příklad dálkového odečtu vodoměru [20]

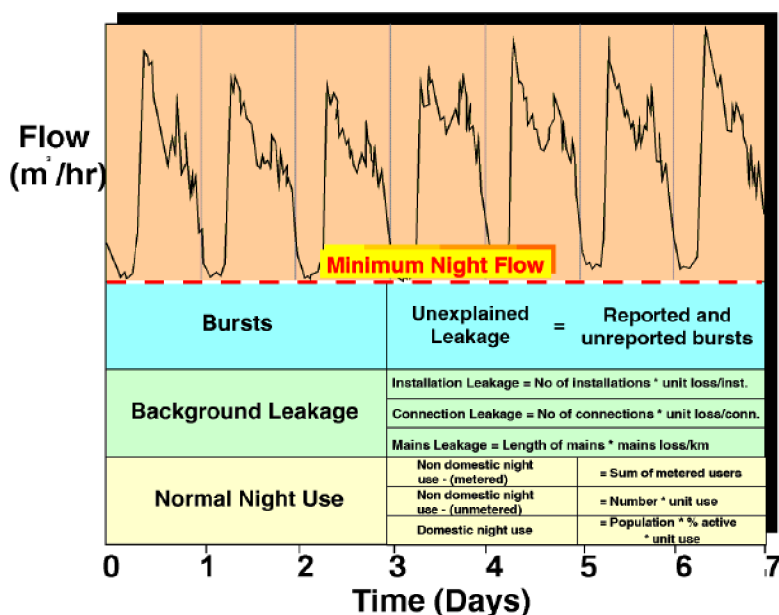
5 HODNOCENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ

Pozorování minimálních nočních průtoků je jedním z nejužitečnějších kroků k identifikování problému s úniky a tedy i ztrátami vody. V mnoha případech je možné identifikovat problém s úniky pouhým pohledem na průběh minimálních nočních průtoků. Minimální průtoky se nejčastěji objevují mezi druhou a čtvrtou hodinnou ranní. Můžeme říci, že minimální průtok je takový průtok, který vtéká do měřicího okrsku v době, kdy je legitimní spotřeba vody na absolutním minimu. V tomto období je v mnoha případech možné odhadnout hodnotu legitimní spotřeby vody i skrytých úniků, tedy těch, které nelze eliminovat. Obě tyto hodnoty mohou být odhadnuty a mohou tedy být podkladem pro odhad očekávané noční potřeby. Máme-li stanovenou hodnotu očekávaného nočního průtoku, můžeme ji porovnat s hodnotami aktuálního nočních průtoků, tedy průtoku zaznamenaného na vodoměru. Jsou-li tyto hodnoty do určité míry podobné, napovídá to tomu, že v okrsku nedochází k významným únikům vody. Na druhou stranu je-li na vodoměru na vtoku do měřicího okrsku významně větší hodnota než očekávané hodnota nočního průtoku, je zřejmé, že v okrsku dochází k významným únikům vody.

Máme-li zaznamenány hodnoty průtoku vtékající do měřicího okrsku během období minimálního nočního průtoku, je nezbytné určit různé složky noční potřeby za účelem odhadu úrovně nenahlášených poruchových úniků. Pro hodnocení minimálních nočních průtoků se velmi často používá takzvaná *Burst and Background Estimate* (BABE) metodologie. Tato metodologie byla mezinárodně přijata a říká, že minimální noční průtok je tvořen třemi hlavními složkami. [1][21]

$$MNP = Q_{NS} + Q_{SU} + Q_{POR} [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.1)$$

- kde MNP minimální noční průtok [$m^3 \cdot hod^{-1}$]
 Q_{NS} běžná noční spotřeba [$m^3 \cdot hod^{-1}$]
 Q_{SU} skryté úniky [$m^3 \cdot hod^{-1}$]
 Q_{PO} úniky způsobené poruchami potrubí [$m^3 \cdot hod^{-1}$]



Obrázek 5.1. Hlavní složky MNP [21]

Slovníček pojmů k obrázku č. 5.1.:

Bursts - Ztráty způsobené poruchami potrubí

Unexplained Leakage – Nevysvětlené úniky

Un/reported Leakage – Ne/nahlášené úniky

Background Leakage – Skryté úniky

Installation Leakage – Skryté úniky na vnitřním vodovodu

Connection Leakage – Skryté úniky na vodovodní přípojce

Mains Leakage – Ztráty vodovodních řadech

Normal Night Use – Běžná noční spotřeba

Domestic night use - Běžná noční spotřeba pro domácnosti

Non-domestic night use (metered) - Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele (měřená)

Non-domestic night use (unmetered) - Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele (neměřená)

Na obrázku č. 5.1. můžeme vidět, že běžné noční spotřeba a skryté úniky byly rozděleny na tři další složky, které mohou být stanoveny za použití jednoduchých předpokladů.

5.1 BĚŽNÁ NOČNÍ SPOTŘEBA

Abychom mohli stanovit úroveň skrytých úniků a úniků, které jsou způsobeny poruchami na potrubí, je nezbytné určit hodnotu běžné noční spotřeby. Běžná noční spotřeba uvnitř měřicího okrsku nemůže být přesně měřena každou noc z důvodu velkého množství drobných odběratelů. Není tedy praktické měřit spotřebu jednotlivých drobných odběratelů individuálně pro analýzu minimálních nočních průtoků. Stanovení běžné noční spotřeby je teda založeno na jistých normách a proměnných, které byly odvozeny za pomoci mnoha let praktického výzkumu, který probíhal mezinárodně. Za účelem analýzy minimálního nočního průtoky je běžná noční spotřeba rozdělena do tří složek: [21]

$$Q_{NS} = Q_{NS,D} + Q_{NS,OO} + Q_{NS,VO} [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.2)$$

| | | |
|-----|-------------|---|
| kde | Q_{NS} | běžná noční spotřeba [$m^3 \cdot hod^{-1}$] |
| | $Q_{NS,D}$ | běžná noční spotřeba pro domácnosti [$m^3 \cdot hod^{-1}$] |
| | $Q_{NS,OO}$ | běžná noční spotřeba pro ostatní drobné odběratele [$m^3 \cdot hod^{-1}$] |
| | $Q_{NS,VO}$ | běžná noční spotřeba pro velkoodběratele [$m^3 \cdot hod^{-1}$] |

5.1.1 Běžná noční spotřeba pro domácnosti

Běžná noční spotřeba pro domácnosti představuje vodu využitou během noci v domácnostech. Jedná se převážně o splachování toalet. Literatura [22] uvádí, že přibližně 3 – 10 % populace je aktivní během celého dne, tedy i v noci. Vezmeme-li tedy v úvahu, že převážná většina vody spotřebované během noci je využita ke splachování toalet (alespoň 10 litrů vody na jedno použití), můžeme běžnou noční spotřebu odhadnout podle následujícího vztahu:

$$Q_{NS,D} = 0,001 \cdot (PO \cdot p) \cdot q_{s,n} [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.3)$$

| | | |
|-----|------------|--|
| kde | $Q_{NS,D}$ | běžná noční spotřeba pro domácnosti [$m^3 \cdot \text{hod}^{-1}$] |
| | PO | počet obyvatel v okrsku |
| | p | procento aktivních obyvatel během noci [%] |
| | q_s | průměrná potřeba vody [$l \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$] |

Tato rovnice se může zdát velice zjednodušená, nicméně nám poskytne alespoň nějaký obraz o tom, jaké průtoky můžeme v daném měřicím okrsku během noci očekávat. Jsou-li velké rozdíly mezi naměřenými hodnotami nočních průtoků a těmito stanovenými hodnotami nočních průtoků, naznačuje to, že v měřicím okrsku může docházet k únikům vody. Je však třeba zvážit, jedná-li se skutečně o úniky vody z potrubí z důvodu poruchy/havárie nebo se jedná pouze o plýtvání vody ze strany spotřebitele. S tímto problémem nám může pomoci například kontrola průtoků v kanalizaci.

5.1.2 Běžná noční spotřeba pro ostatní drobné odběratele

Běžnou noční spotřebu pro ostatní drobné odběratele je mnohem obtížnější stanovit. Ve velké míře závisí na druhu provozovaného podniku. Může se jednat například o kavárny, hotely, bary a podobně. Ačkoliv jsou všechny tyto malé podniky opatřeny vlastními vodoměry je nepraktické (zejména ve větších okrscích) zaznamenávat hodnoty nočních průtoků v těchto podnicích individuálně. Z tohoto důvodu jsou jednotliví spotřebitelé rozděleni do různých kategorií a běžná noční spotřeba je poté určena tabulkově. [1]

Tabulka 5.1. Průměrné hodnoty nočních průtoků pro různé drobné odběratele [22]

| Kategorie | Počet testovaných | Aktivních během noci | Průměr pro aktivní [$l \cdot \text{nem}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] | Průměr pro všechny [$l \cdot \text{nem}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] |
|--|-------------------|----------------------|--|--|
| 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 toalety, staveniště | 205 | 79 | 53.0 | 20.5 |
| E. Domovy důchodců, menší doly a lom, sanatoria | 33 | 25 | 80.0 | 60.6 |

Tato tabulka byla vytvořena na základě mezinárodního výzkumu. V rámci výzkumu bylo testováno množství podniků, provozoven, budov občanského vybavení a dalších. Cílem bylo

určit, kteří z těchto odběratelů jsou během noci aktivní a jaký je jejich průměrný noční odběr. Celkový počet testovaných odběratelů je uveden ve sloupci „Počet testovaných“. Z těchto odběratelů byli někteří během noci aktivní, jejichž počet je uveden ve sloupci „Aktivních během noci“. Z celkového odebraného množství vody pro všechny tyto aktivní odběratele byl odvozen průměrný noční odběr pro aktivní odběratele během noci. Z tohoto průměrného odběru pro aktivní odběratele byl vypočten průměrný průtok pro všechny, tedy i neaktivní, odběratele.

5.1.3 Běžná noční spotřeba pro velkoodběratele

Za velkoodběratele je považován takový odběratel, jehož spotřeba je větší než 500 litrů za hodinu. Spotřeba vody během noci těmito velkoodběrateli 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.

5.2 SKRYTÉ ÚNIKY

Celkové skryté úniky, nezjistitelné běžnými metodami pro lokalizaci úniků, jsou součtem všem malých úniků na síti. Vyskytují se jak na vodovodních řadech, tak i na vodovodních přípojkách a vnitřních vodovodech. Jedná se o takový únik, který je při provozním tlaku 0,5 MPa menší než $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$. Takovéto úniky nastávají ve spojích potrubí, na armaturách, tvarovkách a podobně. Je ekonomicky nevýhodné takovéto úniky vyhledávat a opravovat, jsou tedy do určité míry akceptovány a počítá se tedy s jejich výskytem na každé vodovodní síti. [21] Skryté úniky na vodovodní síti mohou být stanoveny podle vztahu 5.4.

$$Q_{SU} = Q_{SU,VOD} + Q_{SU,PŘÍP} + Q_{SU,VV} [\text{l} \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (5.4)$$

| | | |
|-----|---------------|---|
| kde | Q_{SU} | celkové skryté úniky [$\text{l} \cdot \text{hod}^{-1}$] |
| | $Q_{SU,VOD}$ | skryté úniky na vodovodní síti [$\text{l} \cdot \text{hod}^{-1}$] |
| | $Q_{SU,PŘÍP}$ | skryté úniky na vodovodních přípojkách [$\text{l} \cdot \text{hod}^{-1}$] |
| | $Q_{SU,VV}$ | skryté úniky na vnitřních vodovodech [$\text{l} \cdot \text{hod}^{-1}$] |

5.2.1 Skryté úniky na vodovodní síti

Jedná se především o úniky vody ze spojů jednotlivých trub, na spojích armatur a tvarovek. Může se jednat také o drobné praskliny a díry v potrubí. Rozsah těchto úniků závisí především na režimu provozního tlaku a na stavu infrastruktury. Hydrostatický a hydrodynamický tlak má velký vliv na poruchovosti sítě, především absolutní hodnoty těchto tlaků. Stavem infrastruktury se rozumí stáří potrubí, armatur a tvarovek (není však pravidlem, že nejstarší potrubí musí vykazovat nejvyšší úniky) a také kvalita údržby a způsob provozování. Za účelem posouzení minimálního nočního průtoky je nejvhodnější, aby byly všechny vstupní parametry určovány za provozního tlaku 0,5 MPa. Je-li v síti tlak větší nebo menší než 0,5 MPa je třeba tyto vstupní parametry upravit „nahoru“ nebo „dolů“ pomocí konceptu FAVAD, který je popsán v kapitole 2.2.4. Hodnota skrytých úniků z vodovodního řadu pro infrastrukturu v průměrném stavu je doporučena běžně kolem $40 \text{ l} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{potrubí} \cdot \text{hod}^{-1}$ s rozsahem $\pm 50\%$ (tedy $20 - 60 \text{ l} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{potrubí} \cdot \text{hod}^{-1}$). [1][21][22]

$$Q_{SU,VOD} = 0,001 \cdot L_m \cdot q_{JSU,VOD} [\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (5.5)$$

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

5.2.2 Skryté úniky na vodovodní přípojce

Úniky na vodovodní přípojce mohou být způsobeny špatným provedením při montáži jak potrubí, běžným opotřebením materiálu, i z důvodu stáří materiálu. Obecně předpokládáme, že každá nemovitost má vlastní vodovodní přípojku a můžeme tedy stanovit velikost těchto úniků podle počtu přípojek a tedy i podle počtu nemovitostí. Nicméně se v některých případech stává, že je jedna přípojka využívána pro zásobování vícero nemovitostí. Jedná se o úniky, které se vyskytují od navrtávacího pasu (nebo odbočky) k vodoměru. Tedy v místech, kde je potrubí podle zákona 274/2001 Sb. O vodovodech a kanalizacích považováno za vodovodní přípojku. V mnoha případech jsou úniky na vodovodních přípojkách jedním z hlavních zdrojů ztrát vody. Pro rozumný odhad můžeme uvažovat hodnotu $3 \text{ l} \cdot \text{příp}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1} \pm 50\%$ (tedy $1,5 - 4,5 \text{ l} \cdot \text{příp}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$). [21][22]

$$Q_{SU,PŘÍP} = 0,001 \cdot PP \cdot q_{JSU,PŘÍP} [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.6)$$

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

5.2.3 Skryté úniky na vnitřním vodovodu

Jedná se o úniky na potrubí za vodoměrem, tedy na straně spotřebitele. Tato složka je zavedena z důvodu, aby pokryla ztráty vody v místě napojení vodoměru a úniky na potrubí za vodoměrem, tedy na vnitřním vodovodu. Jde o ztráty vody vzniklé v jedné bytové jednotce. Literatura [22] uvádí, že lze uvažovat hodnotu $1 \text{ l} \cdot \text{bj}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1} \pm 50\%$ (tedy $0,5 - 1,5 \text{ l} \cdot \text{bj}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$). Tato hodnota je však také velice závislá od technického stavu. Ztráty na vnitřním vodovodu sice nejsou součástí vody nefakturované, jsou však složkou minimálního nočního průtoku.

$$Q_{SU,VV} = 0,001 \cdot BJ \cdot q_{JSU,BJ} [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.7)$$

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

5.3 ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ PORUCHAMI POTRUBÍ

Je-li stanovena úroveň běžné noční spotřeby a skrytých úniků můžeme přibližně stanovit množství ztrát způsobené poruchami/haváriemi na potrubí. Odečtením hodnoty běžné noční spotřeby a hodnoty skrytých úniků od skutečně změřeného minimálního nočního průtoku získáme množství ztrát způsobených nenahlášenými úniky (poruchami/haváriemi).

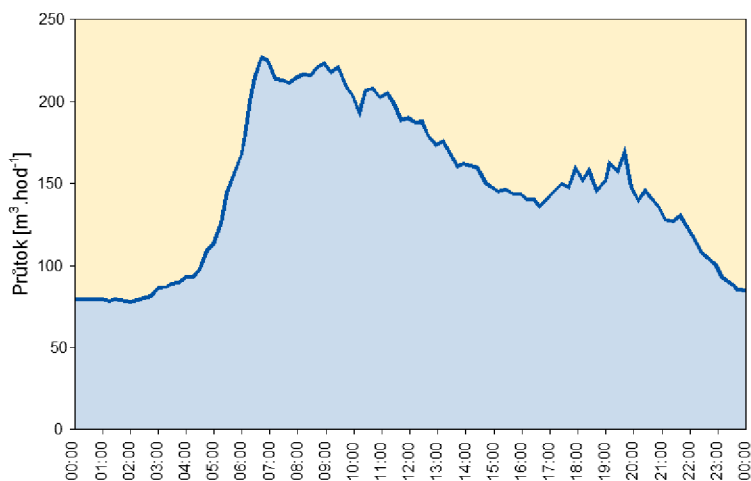
$$Q_{POR} = MNP - Q_{NS} - Q_{SU} [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.8)$$

Pozn: Používanými jednotkami jsou $m^3 \cdot hod^{-1}$ nebo $l \cdot s^{-1}$ ($1 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} \doteq 0,28 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$).

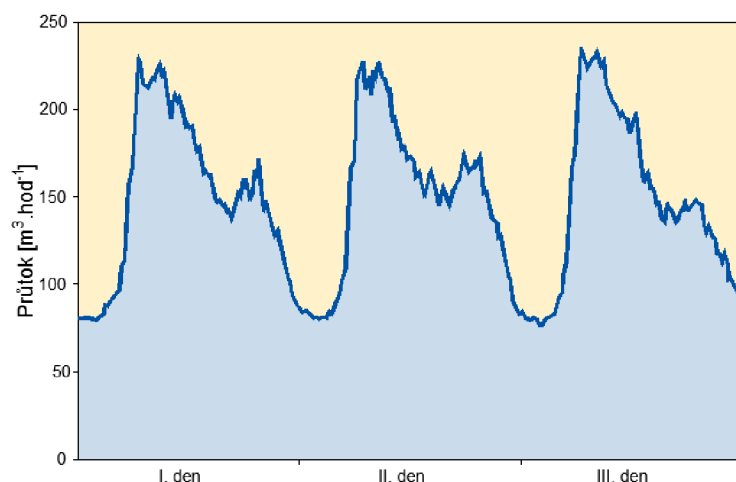
6 VYUŽITÍ MĚŘENÍ MINIMÁLNÍCH NOČNÍCH PRŮTOKŮ PRO SPRÁVU ÚNIKŮ

Záznamy z měření minimálních nočních průtoků mají velký potenciál při vyhledávání, posuzování a vyhodnocování případných ztrát vody ze sítě. Může se jednat o ztráty způsobené uniky vody, z důvodu poruchy potrubí nebo například i nelegální odběry. Pouhým pohledem na zaznamenaná data minimálních nočních průtoků můžeme usoudit, nedochází-li v síti ke ztrátám vody, které by bylo možné eliminovat.

Na následujících obrázcích je demonstrována užitečnost naměřených minimálních nočních průtoků. Na obrázku 6.1 vidíme průtok vody vtékající do měřicího okrsku za periodu 24 hodin. Na obrázku 6.2 je zobrazen stejný průtok, ale za období 72 hodin. Na těchto obrázcích si všimneme opakujícího se vzoru ve spotřebě vody. Tedy ranní a večerní špičku spotřeby vody i minimální průtok mezi půlnocí a čtvrtou hodinnou ranní. Je zřejmé, že vícedenní grafy nám poskytnou lepší obraz o opakujících se vzorech ve spotřebě. Pokud je to možné využívají se grafy alespoň deseti denní. [1] Z nich už můžeme dobře usoudit, byl-li zvýšený minimální průtok nárazový nebo je-li trvalý a dochází tedy k nenahlášenému úniku vody, který je třeba lokalizovat a eliminovat.



Obrázek 6.1 Průtok v intervalu 24 hodin



Obrázek 6.2 Průtok v intervalu 72 hodin

Z obrázku 6.2 můžeme vyvodit klíčové informace, které jsou výbornou pomůckou při správě vodovodní sítě. Z obrázku lze vyčíst následující:

- Opakující se vzorec spotřeby vody – ranní a večerní špičky, noční minima,
- Hodnota minimálního nočního průtoku se pohybuje kolem hodnoty $80 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$,
- Průměrná denní spotřeba se pohybuje kolem $150 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$,
- Minimální noční průtok je přibližně 2,5% průměrné denní spotřeby vody.

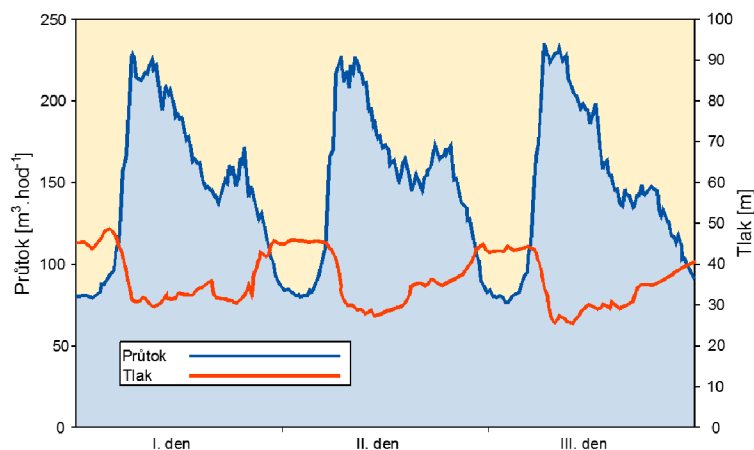
Z těchto informací vyplývá, že v měřicím okrsku by mohlo docházet k velkým únikům vody. V tomto případě by se měla hodnota minimálního nočního průtoku pohybovat kolem $35 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$. Je tedy možné, že v okrsku dochází k potenciálnímu úniku až $45 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$.



Obrázek 6.3 Zjednodušený výpočet úniků

Tyto jednoduché výpočty nejsou nikdy úplně přesné, ale každý provozovatel vodovodní sítě je schopen určit očekávané hodnoty nočních průtoků, podle kterých bude schopen určit, je-li v okrsku problém či nikoli. Hlavním účelem této analýzy tedy není přesné určení složek minimálního nočního průtoků, ale zjištění jestli nedochází k významným problémům s úniky.

Zároveň se záznamy průtoků je užitečné prozkoumání záznamů o tlakových poměrech. Na obrázku 6.4 je zobrazen záznam jak průtoků, tak tlaku. Tyto dva záznamy spolu úzce souvisí. Hodnoty průtoků mohou vysvětlit změny tlaku a naopak. Na obrázku můžeme vidět, že k minimálnímu tlaku dochází během ranní špičky ve spotřebě a naopak k maximálnímu tlaku během období minimálních nočních průtoků. [1]



Obrázek 6.4 Záznam průtoků a tlaku

7 PŘÍPADOVÁ STUDIE VODOVODU HRÁDEK U SUŠICE

7.1 POPIS LOKALITY A VODÁRENSKÉHO SYSTÉMU

Obec Hrádek se nachází v bývalém okresu Klatovy, kraj Plzeňský. Obec Hrádek leží v podhůří Šumavy, přibližně 5 km od královského města Sušice. Nachází se v průměrné nadmořské výšce 485 m nad mořem. Obec má katastrální výměru 36,9 km². V roce 2014 byla provedena případová studie vodovodu Hrádek, jejíž výsledky budou podkladem pro analýzu minimálního nočního průtoku. [23]

- katastrální výměra: 36,9 km²
- počet obyvatel: 1395 (k 1. 1. 2014)
- počet zásobovaných ob.: 739
- Průměrná nadmořská výška: 485 m n. m.

7.1.1 Občanská vybavenost:

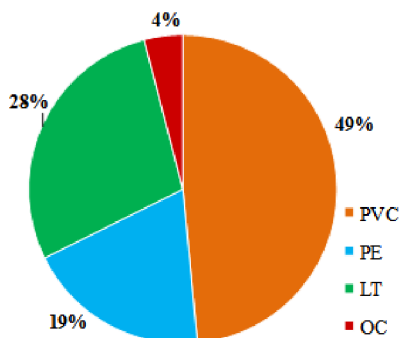
V obci nalezneme obecní úřad, mateřskou a základní školu a knihovnu. Zámecký areál, kde je soukromým subjektem provozováno wellness centrum, relaxační bazén, restaurace a hotel. [31]

7.1.2 Základní ukazatele vodovodu

| | |
|---|--|
| Vodojemy a přerušovací nádrže | 1 ks - akumulační objem 100 m ³ |
| Celková délka vodovodních řadů | 6,10 km |
| Celkový počet uzávěrů na vodovodní síti | 61 ks |
| Celkový počet podzemních hydrantů | 23 ks |
| Armaturní šachty | 5 ks |

Tabulka 7.1. Délky dle materiálu potrubí [31]

| Materiál | Délka [m] | Celkem [m] |
|----------|-----------|------------|
| PVC | 2939,3 | 6 104,9 |
| PE | 1181,5 | |
| LT | 1716,6 | |
| OC | 267,5 | |



Graf 7.1 Procentuální zastoupení materiálů vodovodu Hrádek [31]

7.1.3 Průtoky na vodovodní síti

Na vodovodní síti probíhalo měření průtoků vody na nátoku do vodovodní sítě v armaturní komoře vodojemu Hrádek, kde byl 15. 10. 2014 instalovaný nový magneticko-indukční průtokoměr Krohne DN100 s automatickým záznamem průtoků do připojeného záznamníku. Hodnota pulsu je 100 l. Hodnoty měřených průtoků byly na závěr měrné kampaně ze záznamu vyexportovány a statisticky zpracovány. Výsledkem je typická odběrová křivka vody a hodnoty charakteristických průtoků pro jeden den pracovního klidu a pro jeden pracovní den, podrobněji viz kapitola „Analýza spotřeby vody“. Tyto výsledky poslouží jako podklad pro vyhodnocování minimálního nočního průtoku na vodovodu Hrádek.

Starý vodoměr byl z vodojemu demontován a jeho přesnost byla ověřena měřením v laboratoři v rámci praktické části této diplomové práce. Prokázalo se, že při velmi nízkých nočních průtocích cca 0,4-0,5 l·s⁻¹ vykazuje vodoměr systematickou chybu měření 20% (podměřuje). Podrobnější výsledky z laboratorního měření jsou uvedeny v kapitole 7.3.

7.1.4 Analýza spotřeba vody

Hodnoty měřených průtoků byly na závěr měrné kampaně ze záznamu vyexportovány a byly statisticky zpracovány průměrné hodinové průtoky za celé měřené dny, tedy za období od 16. 10. 2014 0:00 do 10. 12. 2014 24:00, tj. 56 dní. Z toho 38 dní pracovních a 18 dní pracovního klidu. Podrobné výsledky uvádějí následující tabulky.

Tabulka 7.2. Podrobné výsledky analýzy spotřeby vody v obci Hrádek [31]

| Hrádek u Sušice | | Charakteristika průtoků | | |
|--------------------|---------------------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| | | pracovní dny | dny pracovního klidu | všechny dny |
| Q _p | [l/s] | 1,29 | 1,43 | 1,34 |
| | [m ³ /d] | 111,7 | 123,3 | 115,4 |
| Q _m | [l/s] | 1,50 | 1,62 | 1,62 |
| | [m ³ /d] | 129,5 | 140,3 | 140,3 |
| Q _h | [l/s] | 3,25 | 2,83 | 3,25 |
| Q _{min} | [l/s] | 0,50 | 0,53 | 0,50 |
| | [m ³ /d] | 43,2 | 43,2 | 43,2 |
| k _h | [-] | 2,17 | 1,75 | 2,00 |
| k _d | [-] | 1,16 | 1,14 | 1,22 |

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| Počet zás. obyvatel | Specifická spotřeba (odhad) |
| 739 | 156,2 [l/obyvden] |

Charakteristické průtoky

| | |
|--|--|
| Nejvyšší zaznamenaný průtok | $3,25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| Průměrný minimální noční průtok – od 3:00 do 4:00 v noci | $0,50 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 43,2 \text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$ |
| Dlouhodobý průměrný průtok | $1,34 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 115,4 \text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$ |
| Přímé ztráty vody ze sítě | 37,4% |

7.2 VYHODNOCENÍ MINIMÁLNÍHO NOČNÍHO PRŮTOKU

Podkladem pro vyhodnocení minimálního nočního průtoku na vodovodu v obci Hrádek budou výsledky z případové studie, která byla provedena v roce 2014. Na odtoku z vodojemu v armaturní komoře, byl osazen magneticko-indukční průtokoměr, který zaznamenával hodnoty průtoků s pulzem 100 l. Na konci měrné kampaně byla data z měření vyexportována. Jedním z výsledků je časový průběh odtoku vody z vodojemu do sítě. Analýza minimálních nočních průtoků se provádí pro jednotlivé měřicí okrsky. V tomto případě, bude celá vodovodní síť jedním měřícím okrskem. Tento měřicí okrsek má jediný napájecí uzel (zásobní řad z vodojemu do spotřebiště), 739 zásobovaných obyvatel, 203 vodovodních přípojek a délka řadu je 6,1 km. V rámci měrné kampaně byla změřena maximální hodnota provozního tlaku 55 m v. sl. a minimální hodnota provozního tlaku 40 m v. sl.. Charakteristika měřicího okrsku je dle vztahu (4.1) :

$$C = \frac{BJ}{L} = \frac{203}{6,1} = 33 \quad , \text{ jedná se tedy o vodovod malé obce.}$$

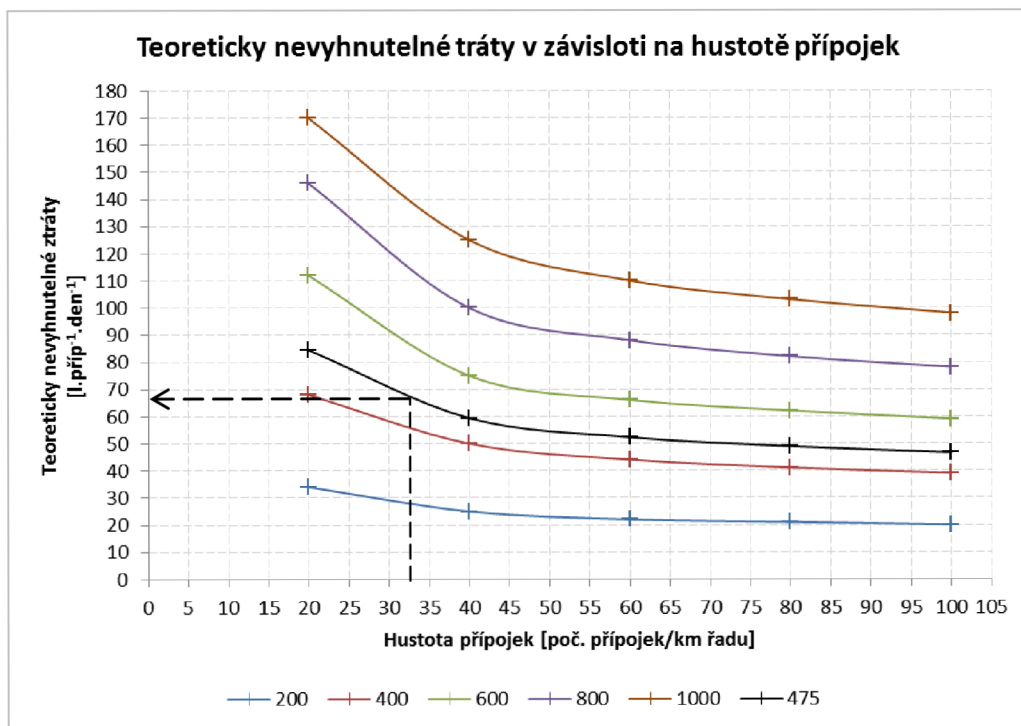
Pozn. Počet bytových jednotek je v tomto případě roven počtu vodovodních přípojek

Tabulka 7.3. Charakteristika měřicího okrsku dle hustoty zástavby

| C | Charakter měřicího okrsku |
|-----------|---------------------------|
| 0 – 50 | vodovody malých obcí |
| 50 – 150 | individuální zástavba |
| 150 – 250 | smíšená městská zástavba |
| 450 – 650 | sídlištní zástavba |

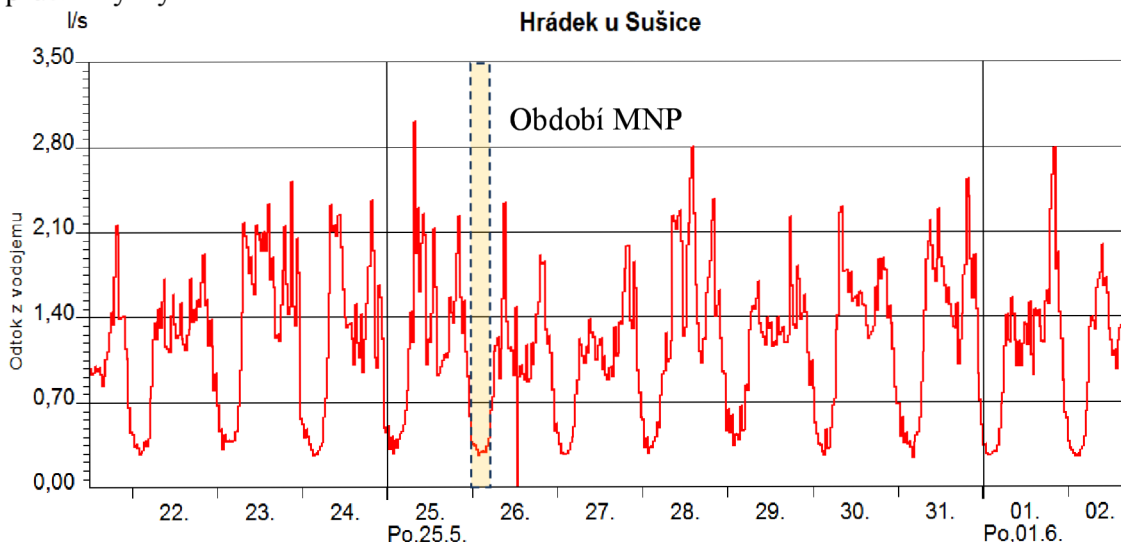
Za pomoci grafu 7.2 a lineární interpolace, byla určena přibližná hodnota teoreticky nevyhnutelných ztrát $66 \text{ l}\cdot\text{příp}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$. Skutečné ztráty byly určeny z analýzy spotřeby vody a procenta ztrát vody. Skutečné ztráty jsou $132 \text{ l}\cdot\text{příp}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$. Z toho vyplývá, že index ztrát infrastruktury nabývá hodnoty 2,0.

$$ILI = \frac{SZ}{TNZ} = \frac{132 \text{ l}\cdot\text{příp}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}}{66 \text{ l}\cdot\text{příp}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}} = 2,0$$



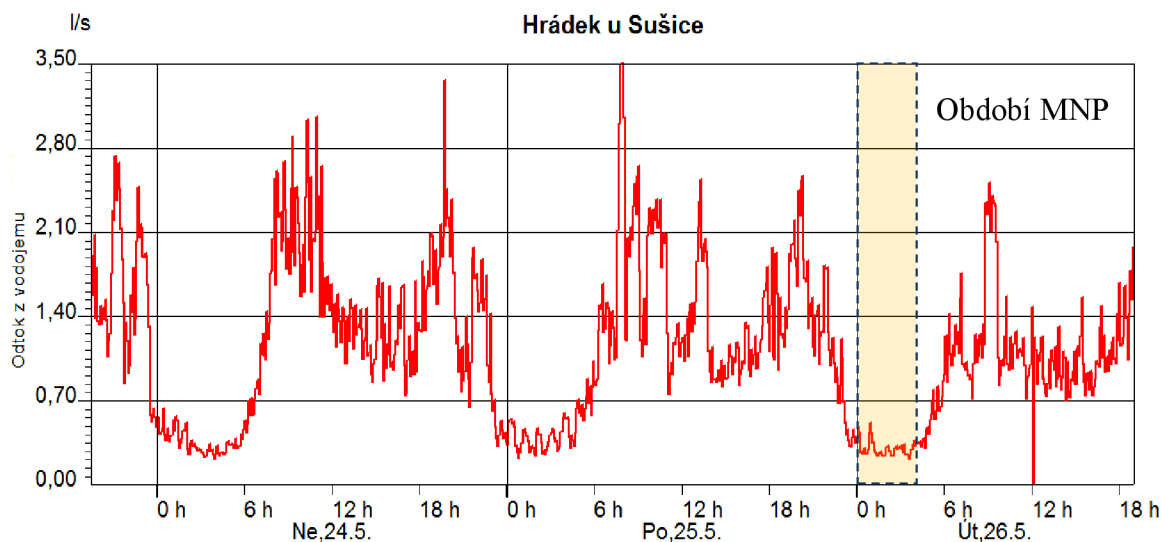
Graf 7.2 Odvození hodnoty TNZ pro vodovod Hrádek

Na grafu 7.3 je zobrazen průtok, který byl zaznamenán na nově instalovaném magneticko-indukčním průtokoměru na odtoku z vodojemu Hrádek během období 22. 5. 2014 až 2. 6. 2014. Podle počítačového softwaru, který naměřená data zpracovával, se minimální průtok vyskytoval dne 26. 5. 2014.

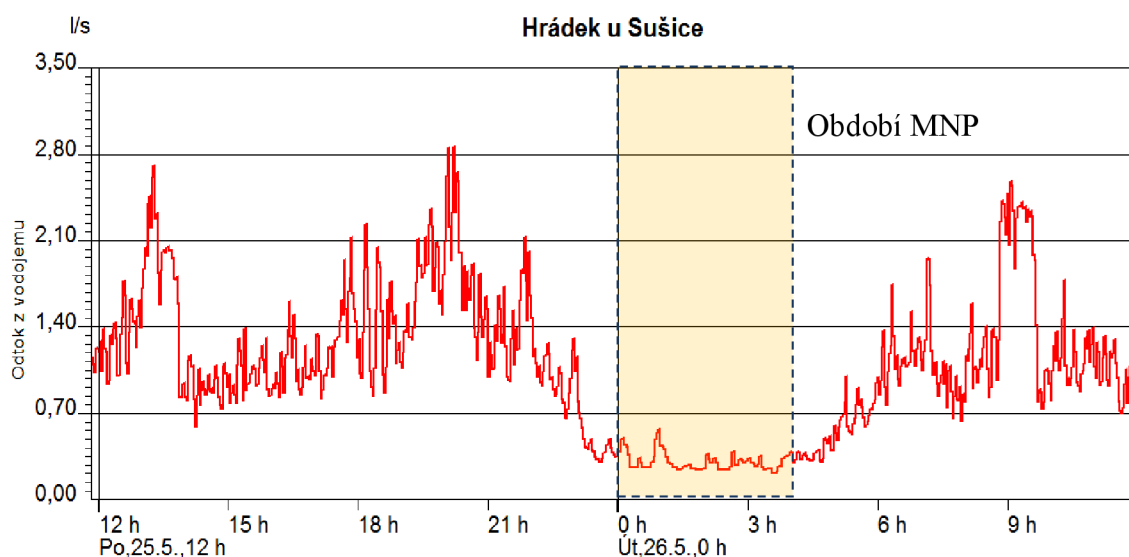


Graf 7.3 Odtok z vodojemu Hrádek (11 dní)

Podrobněji je období MNP zobrazeno na grafu 7.4. Zde si můžeme všimnout, že minimální noční průtok se objevuje pravidelně mezi půlnocí a čtvrtou hodinou ranní. Poté pozvolna nastává ranní špička spotřeby vody. Na tomto obrázku si také všimneme opakujícího se vzoru denních špiček spotřeby. Ranní špička se objevuje pravidelně kolem deváté hodiny a večerní špička mezi 19-21 hodinnou.



Graf 7.4 Opakující se tvar čáry odtoku z vodojemu



Graf 7.5 Detail zobrazení období MNP

Z výsledků analýzy průtoků měrné kampaně byly za pomoci počítačového softwaru v období 30. 4. 2014 až 12. 7. 2014 stanoveny následující charakteristické průtoky:

- Maximální denní průtok $3,33 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$
- Minimální noční průtok $0,28 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$
- Průměrný denní průtok $1,38 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

Pro vyhodnocení minimálního nočního průtoky byla použita metoda popsána v kapitole 5.

Tabulka 7.4. Základní informace pro vyhodnocení MNP

| | Popis | Hodnota |
|------------------|---|---|
| Známa fakta | Délka veřejného vodovodu | 6,1 km |
| | Počet vodovodních přípojek | 203 |
| | Počet bytových jednotek ¹ | 203 |
| | Počet zásobovaných obyvatel | 739 |
| | Průměrný tlak ² | 47,5 m v. sl. |
| | Naměřený MNP ³ | 0,28 l.s ⁻¹ (1,0 m ³ .hod ⁻¹) |
| Odhady parametrů | Skryté ztráty na potrubí ⁴ | 30 l.km ⁻¹ .hod ⁻¹ |
| | Skryté ztráty na přípojkách ⁴ | 3 l.příp ⁻¹ .hod ⁻¹ |
| | Skryté ztráty na vnitřním vodovodu ⁴ | 1 l.bj ⁻¹ .hod ⁻¹ |
| | Aktivní % obyvatel během noci ⁴ | 3 % |
| | Specifický průtok pro obyvatelstvo ⁵ | 10 l.os ⁻¹ .hod ⁻¹ |

Pozn:

¹ Je uvažováno, že každá zásobovaná nemovitost má vlastní vodovodní přípojku. Počet bytových jednotek je tedy stejný jako počet vodovodních přípojek.

² Jedná se o aritmetický průměr maximálního a minimálního provozního tlaku.

³ Jedná se o absolutně nejnižší zaznamenanou hodnotu průtoků za celé měřené období

⁴ Doporučená hodnota převzata z [22]

⁵ Specifický průtok pro obyvatelstvo vychází ze skutečnosti, že většina spotřebované vody během noci je způsobena použitím toalet. Voda potřebná k jednomu použití toalety je 10 litrů.

V tabulce 7.4 jsou vypsány základní parametry využívané k výpočtu úniků a běžné noční spotřeby. Máme-li tyto základní parametry určeny, můžeme přistoupit k výpočtu běžné noční spotřeby a stanovení skrytých úniků.

Výpočet běžné noční spotřeby

Běžná noční spotřeba pro domácnosti

Množství vody využitá domácnostmi během období MNP vychází z počtu aktivních obyvatel během tohoto období. Běžná noční spotřeba pro domácnosti se stanoví pomocí vztahu (5.3):

$$Q_{NS,D} = 0,001 \cdot (PO \cdot p) \cdot q_{s,n} = 0,001 \cdot (739 \cdot 0,03) \cdot 10 = 0,222 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 0,062 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

· kde $Q_{NS,D}$ běžná noční spotřeba pro domácnosti [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$] [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]

PO počet zásobovaných obyvatel

p procento aktivních obyvatel [%]

$q_{s,n}$ průměrná potřeba vody [$\text{l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$]

Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele

Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele vychází z občanské vybavenosti. U odběratelů, u kterých se nepředpokládá účast na spotřebě vody během období minimálního nočního průtoku je uvažována spotřeba 0 l.hod^{-1} . Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele je uvedena v tabulce 7.5.

Tabulka 7.5. Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele

| Odběratel | Spotřeba | |
|-----------------|--------------------------------|---------------------|
| | $[\text{m}^3.\text{hod}^{-1}]$ | $[\text{l.s}^{-1}]$ |
| Mateřská škola | 0,000 | 0,0000 |
| Základní škola | 0,000 | 0,0000 |
| Restaurace | 0,000 | 0,0000 |
| Hotel | 0,026 | 0,0073 |
| Wellness* | 0,000 | 0,0000 |
| ČOV | 0,007 | 0,0020 |
| Spotřeba celkem | 0,033 | 0,0093 |

**Ověřeno od provozovatele*

Běžná noční spotřeba pro velkodběratele

Podle dostupných informací není v obci Hrádek u Sušice žádný velkodběratel. Noční spotřeba pro velkodběratele je tedy $0,000 \text{ m}^3.\text{hod}^{-1}$.

Celková běžná noční spotřeba

Tabulka 7.6. Souhrnná tabulka - běžná noční spotřeba

| Ozn. | Popis | Celková noční spotřeba | |
|--------------------|---|--------------------------------|---------------------|
| | | $[\text{m}^3.\text{hod}^{-1}]$ | $[\text{l.s}^{-1}]$ |
| $Q_{\text{NS,D}}$ | Běžná noční spotřeba pro domácnosti | 0,222 | 0,062 |
| $Q_{\text{NS,OO}}$ | Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele | 0,033 | 0,0092 |
| $Q_{\text{NS,VO}}$ | Běžná noční spotřeba pro velkodběratele | 0,000 | 0,0000 |
| Q_{NS} | Běžná noční spotřeba celkem | 0,255 | 0,0713 |

Výpočet skrytých úniků

Skryté úniky na vodovodních řadech

Při výpočtu skrytých ztrát na vodovodním řadu se uvažuje s jednotkovým skrytým únikem 30 l.hod^{-1} na 1 kilometr sítě. Skrytý únik na vodovodních řadech se vypočítá dle vztahu (5.5).

$$Q_{SU,VOD} = 0,001 \cdot L_m \cdot q_{JSU,VOD} = 0,001 \cdot 6,1 \cdot 30 = 0,183 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 0,0512 \text{ l.s}^{-1}$$

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

Skryté úniky na vodovodních přípojkách

Podle literatury [22] můžeme počítat s únikem $1,5 - 4,5 \text{ l.hod}^{-1}$ na jednu vodovodní přípojku. V tomto případě bude počítáno s hodnotou $2 \text{ l.příp}^{-1} \cdot \text{hod}^{-1}$. Skrytý únik na vodovodních přípojkách se vypočítá podle vztahu (5.6).

$$Q_{SU,PŘÍP} = 0,001 \cdot PP \cdot q_{JSU,PŘÍP} = 0,001 \cdot 203 \cdot 2 = 0,406 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 0,1137 \text{ l.s}^{-1}$$

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

Skryté úniky na vnitřních vodovodech

Skryté ztráty na vnitřních vodovodech se vypočítají ze vztahu (5.7).

$$Q_{SU,VV} = 0,001 \cdot BJ \cdot q_{JSU,BJ} = 0,001 \cdot 203 \cdot 1 = 0,203 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 0,0568 \text{ l.s}^{-1}$$

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

Celkové skryté úniky

Celkový skrytý únik je součtem skrytých úniků z veřejného vodovodu, na přípojkách a na vnitřních vodovodech.

Tabulka 7.7. Souhrnná tabulka - skryté úniky

| Ozn. | Popis | Hodnota | |
|---------------|--|--|-----------------------|
| | | [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$] | [l.s^{-1}] |
| $Q_{SU,VOD}$ | Skryté úniky na veřejném vodovodu | 0,183 | 0,0512 |
| $Q_{SU,PŘÍP}$ | Skryté úniky na vodovodních přípojkách | 0,406 | 0,1137 |
| $Q_{SU,VV}$ | Skryté úniky na vnitřních vodovodech | 0,203 | 0,0568 |
| Q_{SU} | Skryté úniky celkem | 0,792 | 0,2218 |

Hodnoty těchto úniků byly stanoveny pro průměrný provozní tlak 50 m v. sl.. Použitím konceptu FAVAD, popsaného v kapitole 2.2.4., se hodnoty těchto ztrát upraví pro skutečnou hodnotu průměrného provozního tlaku 47,5 m v. sl.

$$SU_1 = SU_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} = 0,792 \cdot \left(\frac{47,5}{50} \right)^{1,5} = 0,733 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} \quad (7.1)$$

- kde SU_0 suma skrytých úniků při tlaku 50 m v. sl. [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]
 SU_1 suma skrytých úniků při prům. provozním tlaku 47,5 m v. sl. [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]
 P_0 výchozí tlak [m v. sl.]
 P_1 průměrný provozní tlak [m v. sl.]
 N^1 opravný součinitel tlaku

Tabulka 7.8. Skryté úniky pro skutečný provozní tlak

| Ozn. | Popis | Hodnota | |
|------------|--|------------------------------------|--------------------------------|
| | | $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ | $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| $Q_{SU,0}$ | Skryté úniky celkem | 0,792 | 0,2218 |
| $N1$ | Opravný součinitel tlaku | 1,5 | 1,5 |
| P_0 | Výchozí tlak | 50,0 m v. sl. | 50,0 m v. sl. |
| P_1 | Skutečný průměrný provozní tlak | 47,5 m v. sl. | 47,5 m v. sl. |
| $Q_{SU,1}$ | Skryté úniky celkem pro skut. provozní tlak | 0,733 | 0,2053 |

Rekapitulace a vyhodnocení minimálního nočního průtoku

Pokud je stanovena běžná noční spotřeba a skryté úniky můžeme jejich sumarizací a následným odečtením od změřeného minimálního nočního průtoku získat hodnotu potenciálních poruchových úniků na vodovodní síti. Tyto hodnoty jsou shrnuty v tabulce 7.9.

$$Q_{POR} = MNP - Q_{NS} - Q_{SU} = 1,008 - 0,255 - 0,733 = 0,002 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 0,0033 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

- kde Q_{POR} úniky způsobené poruchami potrubí [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$] [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]
 MNP minimální noční průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]
 Q_{NS} běžná noční spotřeba [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]
 Q_{SU} skryté úniky [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]

Tabulka 7.9. Odhad poruchového úniku

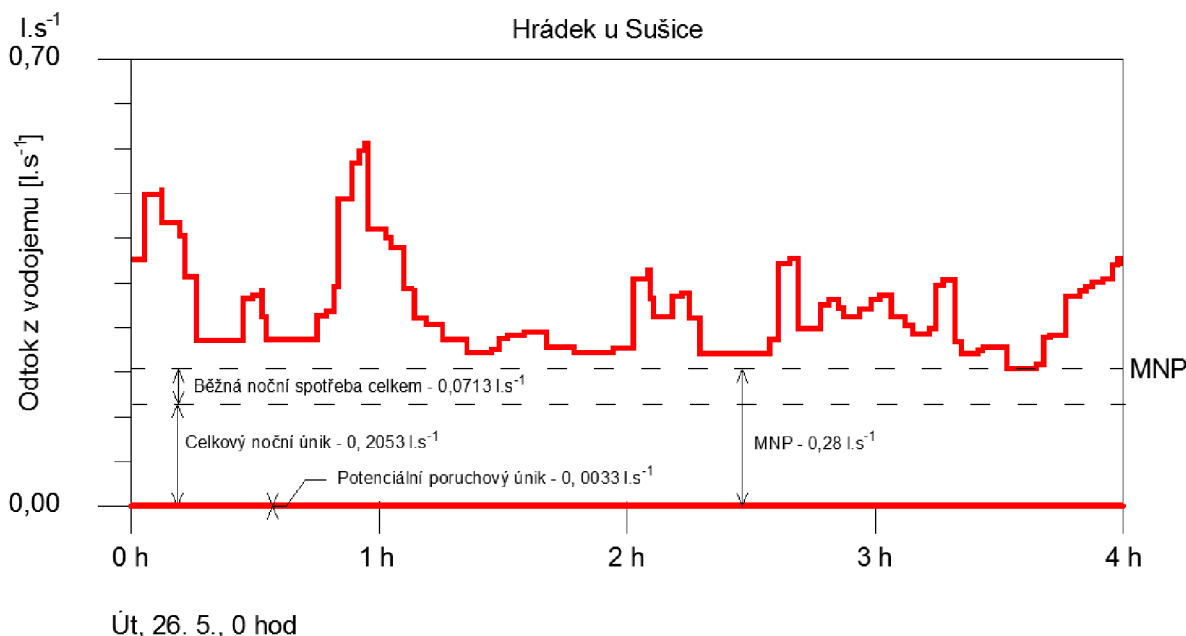
| Ozn. | Popis | Hodnota | |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | | $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ | $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Q_{NS} | Očekávaná běžná noční spotřeba | 0,255 | 0,0713 |
| Q_{SU} | Očekávané skryté úniky | 0,733 | 0,2053 |
| | Celková očekávaná noční potřeba | 0,988 | 0,2767 |
| MNP | Naměřený MNP | 1,008 | 0,28 |
| Q_{POR} | Potenciální poruchový únik | 0,02 | 0,0033 |

Můžeme si všimnout, že nezapočtená hodnota průtoku a tedy i potenciální poruchový únik ze sítě je v porovnání s ostatními hodnotami zanedbatelný. Lze tedy s jistou mírou jistoty říci, že ve vodovodní síti v obci Hrádek u Sušice nedochází ke značným únikům vody, které by bylo třeba eliminovat.

Minimální noční průtok $0,28 \text{ l.s}^{-1}$ odpovídá 0,85% průměrné denní spotřeby vody. Běžně se minimální noční průtoky pohybují mezi 0,8 – 1,5 % průměrné denní potřeby.

Pomocí této metody byla úspěšně provedena dekompozice minimálního nočního průtoku. Tato metoda se může zdát zjednodušená, avšak s její pomocí si můžeme udělat přibližný obraz o tom, jaké hodnoty spotřeby a úniků můžeme v měřicím okrsku během noci očekávat. Pravidelným měřením a vyhodnocováním minimálních nočních průtoků můžeme rychle identifikovat případné poruchy na vodovodní síti.

Na obrázku 7.2 je výřez zaznamenaného průtoku na odtoku z vodojemu v období minimálního nočního průtoku. Je zde graficky zobrazeno, jak velkou částí se na minimálním nočním průtoku podílí běžná noční spotřeba, celkový noční únik a poruchový únik. Celkový noční únik je v tomto případě přibližně třikrát větší než noční spotřeba a poruchový únik je takřka nulový.



Obrázek 7.1 Podíl hlavních složek MNP

Velikosti jednotlivých složek minimálního nočního průtoku jsou do značné míry ovlivněny vstupními výpočtovými parametry. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 7.4. Volba hodnot jednotlivých parametrů zcela závisí na schopnosti správného odhadu toho, kdo výpočet provádí. Odhad hodnoty se odvíjí především od stavu infrastruktury daného systému. V tomto případě byly voleny nízké hodnoty těchto parametrů z důvodu nízké hodnoty ILI (2,0), což značí, že infrastruktura je v dobrém stavu.

Jelikož nejistota při volbě vstupních parametrů je vysoká, byla provedena citlivostní analýza, která by měla poukázat, které vstupní hodnoty výsledek ovlivňují nejvíce. Těmto vstupním parametrům by se při jejich volbě měla věnovat větší pozornost.

7.3 LABORATORNÍ TEST PŘESNOSTI STARÉHO VODOMĚRU

Před instalací nového magneticko-indukčního průtokoměru, byl v armaturní komoře ve vodojemu Hrádek osazený starý mechanický vodoměr DN100. Tento vodoměr byl podroben laboratornímu testování přesnosti měření při průtocích blízkých k naměřeným hodnotám minimálního nočního průtoku.

7.3.1 Popis testovaného měřidla

Jedná se o objemový mechanický vodoměr WP/Dynamic DN 100 pro studenou vodu od výrobce Prema Meinecke. Parametry vodoměru jsou následující:

- Minimální průtok: $Q_1 = 0,222 \text{ l.s}^{-1}$
- Přejídný průtok: $Q_2 = 0,5 \text{ l.s}^{-1}$
- Trvalý průtok: $Q_3 = 63,9 \text{ l.s}^{-1}$
- Maximální průtok: $Q_4 = 83,3 \text{ l.s}^{-1}$



Obrázek 7.2 Vodoměr WP/Dynamic Prema Meinecke

7.3.2 Popis pokusu a zvolená metodika

Stanovení základní chyby měřidla probíhala dle ČSN EN 14154 – 3+A2 (článek 5.3 – Stanovení základní chyby). Zde popsána metoda je tak zvaná „sběrná metoda“.

Sběrná metoda spočívá v tom, že veškeré množství vody protékající vodoměrem je shromažďováno v jedné nebo více sběrných nádobách a její množství je stanoveno objemově. K tomuto účelu byla sestavena měřicí kolona, která je popsána v kapitole 7.3.4. Přes tuto kolonu byl pouštěn požadovaný průtok vody, který byl nastavován pomocí uzavíracího kohoutu. Veškeré voda proteklá touto kolonou byla zachycována do kalibrovaných sběrných nádob. Zároveň bylo na vodoměru zaznamenáváno proteklé množství vody neboli indikovaný objem.

Stanovení relativní chyby měření spočívá v porovnávání objemu skutečného a objemu indikovaného vodoměrem. Kolona byla měřena ve třech tlakových pásmech, a sice 0,5 bar; 2,5 bar; 4,5 bar a na každém z těchto pásem bylo provedeno měření nejméně pro dvanáct různých průtoků.

7.3.3 Referenční podmínky

Všechny vhodné ovlivňující veličiny, musely být během testování vodoměru udržovány v následujících hodnotách:

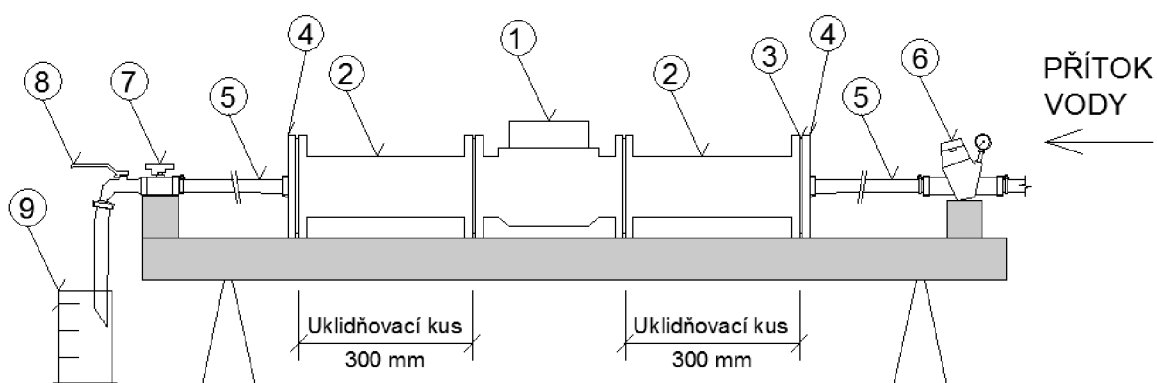
- Pracovní teplota vody $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$
- Rozsah okolní teploty 15°C až 25°C
- Rozsah okolní relativní vlhkosti 45% až 75%
- Rozsah okolního atmosférického tlaku 86 kPa až 106 kPa
- Tolerance polohy osy proudění $\pm 5^\circ$

Všechny tyto podmínky byly během měření splněny, výsledky měření tedy nebyly nijak ovlivněny. [24]

7.3.4 Schéma měřící kolony

Měřicí kolona obsahovala testovaný mechanický vodoměr DN100. Vodoměr byl osazen ve směru toku vyznačeném šipkou na pouzdře. Tento vodoměr byl na vtoku i na výtoku připojen pomocí příruby na FF tvarovky DN100 z tvárné litiny. Tvarovky FF měly konstrukční délku 300 mm, která zajišťovala dostatečné uklidnění proudu před i za testovaným vodoměrem. Na FF tvarovky byly na obou stranách namontovány zaslepovací příruby s vnitřním závitem. Veškeré přířubové spoje byly vybaveny pryžovým těsněním a příruby byly spojeny pomocí ocelových šroubů. Na zaslepovací příruby byly na obou koncích instalovány závitové vsuvky (velikost vnějšího závitu $1''$), které umožňovaly připojení na platové potrubí. Platové potrubí o průměru $\frac{3}{4}''$ bylo na jedné straně napojeno na regulační ventil a na straně druhé na kulový uzávěr.

Na začátku kolony byl osazen regulační ventil, díky němuž bylo možno nastavit požadovanou hodnotu tlaku vody tekoucí do kolony. Na druhém konci kolony byl osazen kulový uzávěr, který pracoval v poloze otevřeno/zavřeno. Pomocí tohoto kulového uzávěru byly spouštěny a ukončovány jednotlivá měření. Za kulovým uzávěrem byl osazen uzavírací kohout, pomocí kterého byl nastavován požadovaný průtok kolonou.



LEGENDA:

- 1 - WOLTMANŮV VODOMĚR
- 2 - FF KUS
- 3 - PRYŽ. TĚSNĚNÍ
- 4 - ZASLEPOVACÍ PŘÍRUBA
- 5 - POTRUBÍ $\frac{3}{4}''$

- 6 - REDUKČNÍ VENTIL
- 7 - KULOVÝ UZÁVĚR
- 8 - KULOVÝ UZAVÍZACÍ KOHOUT
- 9 - SBĚRNÁ NÁDOBA

Obrázek 7.3 Schéma měřící kolony

7.3.5 Postup měření

Po sestavení měřicí kolony a před samotným měřením bylo nutné provést nezbytné přípravy. Prvním krokem bylo napuštění kolony vodou. Napouštění bylo prováděno pomalu, aby nedošlo k poškození vodoměru. Po naplnění celého potrubí a zaplavení vodoměrné komory bylo provedeno odvzdušnění potrubí z důvodu zbavení se zbývajícího vzduchu v potrubí, který by mohl znehodnotit měření.

Samotné měření nebylo zvláště složité nicméně časově náročné. Na začátku měření byl pomocí regulačního ventilu nastaven požadovaný tlak vody. Dalším krokem bylo nastavení uzavíracího kohoutu tak, aby jím protékal požadovaný průtok. Následně byl na ciferníku vodoměru odečten dosud indikovaný objem vody. Poté byl kulový uzávěr nastaven do polohy „otevřeno“ a ve stejném okamžiku byly spuštěny elektronické stopky. Voda protéká přes měřicí kolonu byla shromažďována ve sběrných nádobách a její množství bylo určeno objemově. Po nashromáždění alespoň 50 ti litrů vody ve sběrných nádobách nebo uplynutí doby alespoň patnácti minut byl kohout uzavřen a stopky zastaveny. Posledním krokem bylo odečtení číselné hodnoty na ciferníku vodoměru na konci měření.

7.3.6 Vyhodnocení měření

Cílem vyhodnocení bylo stanovení relativní chyby měření vodoměru při daném průtoku. Vyhodnocení spočívalo v porovnání skutečně proteklého objemu vody a objemu indikovaném na vodoměru. Tohoto bylo docíleno pomocí výpočetních tabulek, ve kterých byly zaznamenány hodnoty z laboratorního měření. Výsledky měření byly zaneseny do grafů. Vyhodnocení bylo provedeno v programu MS Excel.

Výpočet průtoku

Výpočet průtoku byl proveden dle objemové rovnice:

$$Q = \frac{V_a}{t} \quad [l \cdot s^{-1}] \quad (7.1)$$

kde V_a skutečný objem [l]
 t doba měření [s]

Relativní chyba, ε

Relativní chyba je vyjádřena v procentech a je rovna:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_a}{V_a} \times 100 \quad [\%]^{[24]} \quad (7.2)$$

kde V_a skutečný objem [l]
 V_i indikovaný objem [l]

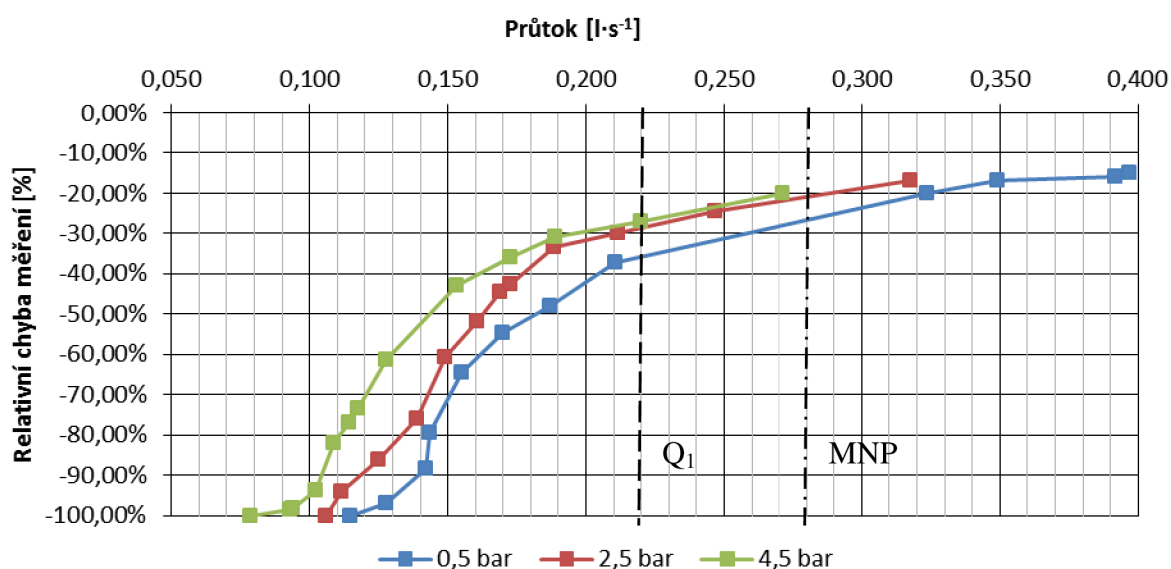
Důležité je znaménko chyby. Má-li v tomto případě znaménko zápornou hodnotu, znamená to, že vodoměr indikoval objem menší než je objem skutečný a naopak.

Relativní chyba popisuje procentuální odchylku průtoku skutečného a průtoku indikovaného. Například: nashromáždí-li se ve sběrné nádobě 100 litrů vody, ale vodoměr indikuje pouze 40 litrů vody tak skutečná chyba měření bude 60 litrů a relativní chyba měření bude - 60,0 %.

7.3.7 Výsledky měření

Výsledkem měření je grafický výstup, který popisuje závislost relativní chyby na průtoku. Na vodorovné ose grafu je vynesena hodnota průtoku v litrech za sekundu. Na svislé ose je vynesena relativní chyba měření v procentech.

V grafu jsou vyneseny tři křivky. Modrá křivka zobrazuje chybu vodoměru při tlaku 0,5 bar, červená křivka při tlaku 2,5 bar a zelená křivka při tlaku 4,5 bar. Z grafu 7.6 můžeme vidět, že starý vodoměr při minimálním nočním průtoku $0,28 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ vykazuje chybu měření přibližně - 25% (podměřuje).



Graf 7.6 Závislost relativní chyby na průtoku

7.3.8 Vyhodnocení měření a závěr

V grafu 7.6 je svislou přerušovanou čarou vynesena hodnota minimálního průtoku (Q_1) vodoměru udávaná výrobcem. Při tomto průtoku by měl vodoměr vykazovat relativní chybu maximálně $\pm 5 \%$, dle vyhlášky č. 334/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na studenou vodu označované značkou EHS. Tento starý vodoměr však vykazuje relativní chybu - 30 % a více. V grafu 7.6 se pohybujeme i pod hranicí minimálního průtoku (Q_1), pod touto hranicí není nijak definováno, jaké přesnosti měření by měl vodoměr dosahovat. Práh citlivosti vodoměru, tedy hodnota průtoku, při kterém začíná vodoměr reagovat, byla stanovena na hodnotu $0,09 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ při tlaku 4,5 baru. S klesajícím tlakem hodnota prahu citlivosti vodoměru roste.

7.4 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Citlivostní analýza odpovídá na otázku, jakým způsobem ovlivňují vstupní parametry výsledek. Máme-li výpočtový model se vstupními veličinami (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) jejichž rozptyly (nebo neurčitost) jsou nenulové, a sledujeme vliv těchto veličin na výstupní veličinu Y :

$$Y(X) = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \quad (7.3)$$

Obecná definice citlivostní analýzy je tato: *Citlivostní analýza* studuje neurčitost výstupu modelu (numerického nebo jiného) způsobenou rozdílnými příčinami neurčitostí modelových vstupů [26].

Při určování jednotlivých složek minimálního nočního průtoků vstupuje do výpočtu řada proměnných, jejichž hodnoty mají dopad na velikost jednotlivých složek minimálního nočního průtoků. Hodnoty těchto proměnných se pohybují v doporučených intervalech, ale není řečeno, jakou přesnou hodnotu při výpočtu použít.

7.4.1 Definice proměnných

Tabulka 7.10. Definice proměnných

| Ozn. | Popis | Min | Max | Průměr | Rozsah | Jednotka |
|------|--|--------|------|--------|--------|--|
| X1 | Aktivní procento obyvatel během noci | 3,0 | 6,0 | 4,5 | 3,0 | [%] |
| X2 | Skryté ztráty na veřejném vodovodu | 20,0 | 60,0 | 40,0 | 40,0 | [l.km ⁻¹ .hod ⁻¹] |
| X3 | Skryté ztráty na vodovodních přípojkách | 1,5 | 4,5 | 3,0 | 3,0 | [l.příp ⁻¹ .hod ⁻¹] |
| X4 | Skryté ztráty na vnitřních vodovodech | 0,5 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | [l.bj ⁻¹ .hod ⁻¹] |
| X5 | Přesnost vodoměru při MNP – 0,28 l.s ⁻¹ | - 20,0 | | | - | [%] |

V tabulce 7.10 jsou definovány proměnné, které ovlivňují velikost jednotlivých složek minimálního nočního průtoků. Jsou zde také uvedeny maximální a minimální hodnoty těchto proměnných doporučené dle literatury [22]. Cílem této citlivostní analýzy je zjištění, které z těchto proměnných ovlivňují výpočet nejvíce. V tabulce 7.11 jsou hodnoty jednotlivých složek minimálního nočního průtoků pro průměrné hodnoty proměnných

Tabulka 7.11. Složky MNP s průměrnými hodnotami proměnných

| Výstupy označení | Popis | Hodnota |
|------------------|---|---|
| Y0 | Celková noční potřeba | 1,422 m³·hod⁻¹ |
| Y1 | Běžná noční spotřeba celkem | 0,366 m ³ ·hod ⁻¹ |
| Y2 | Skryté ztráty na veřejném vodovodu | 0,244 m ³ ·hod ⁻¹ |
| Y3 | Skryté ztráty na vodovodních přípojkách | 0,609 m ³ ·hod ⁻¹ |
| Y4 | Skryté ztráty na vnitřních vodovodech | 0,203 m ³ ·hod ⁻¹ |

Citlivostní analýza byla provedena metodou změny proměnných

7.4.2 Citlivostní analýza změnou proměnných

V tomto postupu byla měněna hodnota vždy pouze jedné proměnné (např. X1), zatímco ostatní proměnné (např. X2,X3,X4) byly konstantní na střední hodnotě. Výpočet probíhal za použití stejných vzorců jako v kapitole 7.2. Jednotlivé výsledky jsou vypsány v následujících tabulkách.

Tabulka 7.12. Dopad na výsledek při změně proměnné X1

| Y0 pro průměrné hodnoty proměnných | Proměnná | Dílčí výsledky | | | | Celkem | Změna |
|------------------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| | X1 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y0 | |
| | % | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | % |
| 1,422 | 3,00 | 0,255 | 0,244 | 0,609 | 0,203 | 1,311 | -7,8% |
| | 3,75 | 0,310 | | | | 1,366 | -3,9% |
| | 4,50 | 0,366 | | | | 1,422 | 0,0% |
| | 5,25 | 0,421 | | | | 1,477 | 3,9% |
| | 6,00 | 0,476 | | | | 1,532 | 7,8% |

V tabulce 7.12 vidíme, že celková noční potřeba (Y0) se rovná 1,422 m³·hod⁻¹ počítáme-li u všech proměnných s průměrnou hodnotou. Při změně proměnné X1, tedy aktivního procenta obyvatel během noci vidíme, že běžná noční spotřeba celkem (Y1) je pro každý řádek jiná. Zatímco skryté ztráty na veřejném vodovodu (Y2), skryté ztráty na vodovodních přípojkách (Y3) a skryté ztráty na vnitřních vodovodech (Y4) zůstávají konstantní, jelikož hodnoty proměnných vstupující do jejich výpočtu se nemění. Celková noční spotřeba je potom součtem těchto dílčích složek.

Tabulka 7.13. Dopad na výsledek při změně proměnné X2

| Y0 pro průměrné hodnoty proměnných | Proměnná | Dílčí výsledky | | | | Celkem | Změna |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| | X2 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y0 | |
| | l.km ⁻¹ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | m ³ ·hod ⁻¹ | % |
| 1,422 | 20 | 0,366 | 0,122 | 0,609 | 0,203 | 1,300 | -8,6% |
| | 30 | | 0,183 | | | 1,361 | -4,3% |
| | 40 | | 0,244 | | | 1,422 | 0,0% |
| | 50 | | 0,305 | | | 1,483 | 4,3% |
| | 60 | | 0,366 | | | 1,544 | 8,6% |

V případě uvedeném v tabulce 7.13 jsou proměnnou skryté ztráty na veřejném vodovodu (X2). Mění se tedy pouze skryté ztráty na veřejném vodovodu (Y2) zatímco ostatní složky zůstávají konstantní.

Tabulka 7.14. Dopad na výsledek při změně proměnné X3

| Y0 pro průměrné hodnoty proměnných | Proměnná | Dílčí výsledky | | | | Celkem | Změna |
|------------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| | X3 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y0 | |
| | l.příp ⁻¹ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | % |
| 1,422 | 1,50 | 0,366 | 0,244 | 0,305 | 0,203 | 1,117 | -21,4% |
| | 2,25 | | | 0,457 | | 1,269 | -10,7% |
| | 3,00 | | | 0,609 | | 1,422 | 0,0% |
| | 3,75 | | | 0,761 | | 1,574 | 10,7% |
| | 4,50 | | | 0,913 | | 1,726 | 21,4% |

Pro další případ jsou výsledky uvedené v tabulce 7.14. Zde jsou proměnnou skryté ztráty na vodovodních přípojkách (X3). Mění se tedy pouze skryté ztráty na vodovodních přípojkách (Y3) zatímco ostatní složky zůstávají konstantní.

Tabulka 7.15. Dopad na výsledek při změně proměnné X4

| Y0 pro průměrné hodnoty proměnných | Proměnná | Dílčí výsledky | | | | Celkem | Změna |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| | X4 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y0 | |
| | l.bj ⁻¹ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | % |
| 1,422 | 0,50 | 0,366 | 0,244 | 0,609 | 0,102 | 1,320 | -7,1% |
| | 0,75 | | | | 0,152 | 1,371 | -3,6% |
| | 1,00 | | | | 0,203 | 1,422 | 0,0% |
| | 1,25 | | | | 0,254 | 1,472 | 3,6% |
| | 1,50 | | | | 0,305 | 1,523 | 7,1% |

V posledním případě jsou proměnnou skryté ztráty na vnitřních vodovodech (X4). Mění se tedy pouze skryté ztráty na vodovodních přípojkách (Y4) zatímco ostatní složky zůstávají konstantní.

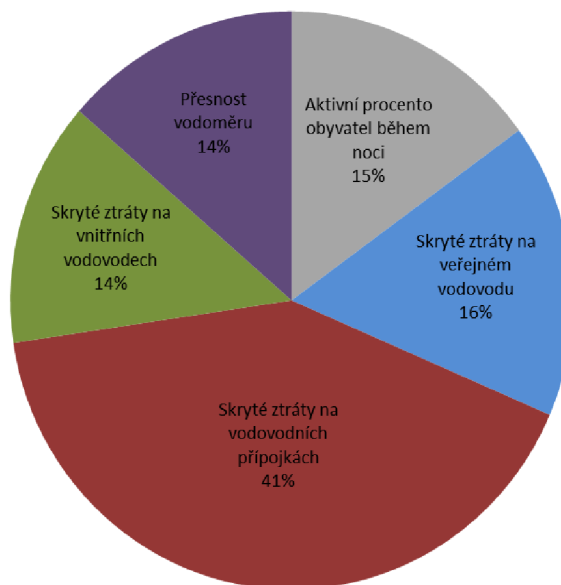
Poslední vstupující proměnnou při hodnocení minimálního nočního průtoku je přesnost měřidla, které daný průtok zaznamenalo. Zde je uvažováno, že minimální hodnoty Y0 by bylo dosaženo při nulové chybě měření, zatímco maximální hodnoty Y0 bude dosaženo při skutečné přesnosti vodoměru, stanovené laboratorním měřením. Více v tabulce 7.16.

V tabulce 7.16. jsou uvedeny absolutní hodnoty rozptylu výsledků, tedy celkové noční potřeby (Y0) při změnách jednotlivých proměnných. Tyto výsledky jsou poté zaneseny ho výšečového grafu (Graf 7.8).

Tabulka 7.16. Rozptyl výsledků pro jednotlivé proměnné X1 až X5

| Proměnná | Min Y0 | Max Y0 | Rozptyl |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ | m ³ .hod ⁻¹ |
| X1 | 1,311 | 1,532 | 0,222 |
| X2 | 1,300 | 1,544 | 0,244 |
| X3 | 1,117 | 1,726 | 0,609 |
| X4 | 1,320 | 1,523 | 0,203 |
| X5 | 1,008 | 1,210 | 0,202 |

Míra dopadu jednotlivých proměnných na výsledek – I. postup



Graf 7.7 Míra dopadu jednotlivých proměnných na výsledek – I. postup

Tabulka 7.17 Míra dopadu jednotlivých proměnných na výsledek

| Proměnná | Rozptyl | Míra dopadu |
|----------|------------------------------------|-------------|
| | $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ | % |
| X1 | 0,222 | 15 |
| X2 | 0,244 | 16 |
| X3 | 0,609 | 41 |
| X4 | 0,203 | 14 |
| X5 | 0,202 | 14 |
| Σ | 1,479 | 100 |

7.4.1 Vyhodnocení citlivostní analýzy

Z výsledků citlivostní analýzy metodou změny proměnných vyplývá, že v největší míře se na hodnocení minimálního nočního průtoku podílí skryté ztráty na vodovodních přípojkách. Při volbě hodnoty skrytých úniků na vodovodní přípojku bychom měli tedy věnovat největší pozornost. Ostatní zbylé proměnné se na hodnocení minimálního nočního průtoku podílí rovnocenným dílem.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na problematiku minimálních nočních průtoků. Cílem diplomové práce bylo sjednocení poznatků o minimálních nočních průtocích, jejich hodnocení, měření a přínos pro vodní hospodářství. Dalším cílem bylo aplikovat tyto poznatky na skutečnou vodovodní síť. Pozornost byla také zaměřena na vliv citlivosti měření vodárenského vodoměru DN100 při nízkých průtocích.

V úvodní teoretické části diplomové práce byly shrnuty znalosti v oblasti minimálních nočních průtoků. Byl definován minimální noční průtok a jeho jednotlivé složky. Minimální noční průtok se skládá z jednotlivých složek, které nám pomáhají lépe porozumět tomu, čím může být ovlivněna velikost minimálního nočního průtoky. Bylo zjištěno, že minimální noční průtoky jsou vynikajícím provozním nástrojem pro spravování vodovodní sítě. Porovnáním odhadnuté očekávané hodnoty minimálního nočního průtoky a skutečně naměřeného nočního průtoky, můžeme snadno a rychle identifikovat případné poruchy na vodovodní síti. Zjištěné poznatky z teoretické části diplomové práce byly aplikovány na skutečnou vodovodní síť v obci Hrádek u Sušice v rámci praktické části diplomové práce. Skutečně naměřený minimální průtok na odtoku z vodojemu na této vodovodní síti byl úspěšně rozložen na jednotlivé složky. Z výsledků dekompozice vyplývá, že na vodovodní síti v obci Hrádek u Sušice nedochází k významným únikům vody, které by bylo třeba eliminovat. V rámci praktické části diplomové práce bylo provedeno také laboratorní testování citlivosti starého mechanického vodoměru DN100. Tento vodoměr byl dříve používán na odtoku z vodojemu na vodovodní síti v obci Hrádek u Sušice. Výsledky testování ukázaly, že se tento vodoměr při nízkých průtocích dopouští systematické chyby – podměřuje. Při hodnocení minimálního nočního průtoky vstupuje do výpočtu řada proměnných. Míra vlivu těchto jednotlivých proměnných na výsledek byla stanovena pomocí citlivostní analýzy, která byla posledním oddílem praktické části diplomové práce.

Ucelené informace uvedené v této diplomové práci jsou přínosným zdrojem informací pro obor vodního hospodářství v České republice. Zde uvedené poznatky pro hodnocení minimálního nočního průtoky mohou být využívány pro zjišťování úrovně ztrát vody ve vodárenských systémech, nebo jako aktivní kontrola úniků. Výsledky analýzy minimálního nočního průtoky v Hrádku u Sušice budou zajisté přínosem i pro samotnou obec Hrádek. Z výsledků analýzy si můžeme udělat přibližnou představu o technickém stavu vodovodní sítě. V tomto případě je nepravděpodobné, že by na této vodovodní síti docházelo k významným únikům vody. Řešení diplomové práce mělo velký přínos i pro samotného diplomanta. Především rozšíření odborných znalostí, ale i rozšíření znalostí anglického jazyka při čerpání velkého množství informací ze zahraničních zdrojů.

Při dekompozici minimálního nočního průtoky je kritickým bodem volba hodnot jednotlivých proměnných vstupujících do výpočtu. Literatura sice uvádí intervaly těchto hodnot, ale bližší doporučení neexistuje. Bylo by tedy potřeba podrobněji stanovit, jaké hodnoty proměnných z těchto intervalů vybrat, například v závislosti na stavu infrastruktury nebo v závislosti na hodnotách jednotlivých ukazatelů ztrát vody.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HAMILTON, Stuart and MCKENZIE, Ronnie. *Water management and water loss*. London: IWA Publishing, 2014, 250 stran. ISBN 978-1-78040-635-0.
- [2] 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/day9/08h30fantozzidia09sa1a2.pdf>
- [3] FANTOZZI, M.; LAMBERT, A. *Residential Night Consumption—Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability*. Water Loss, 2012.
- [4] CHOI, Taeho, Mijin HONG, Jinkeun KIM a Jayong KOO. *Efficient minimum night flow analysis using Bayesian inference*. Journal of Water Supply: Research and Technology — AQUA. IWA Publishing, 2015, 64 (1): 10 - 18.
- [5] *Bursts and Background Estimates of Real Losses*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/>
- [6] LAMBERT, Alan a Marco FANTOZZI. *Recent Developments in Pressure Management*. IWA Specialized Conference ‘Water Loss. Sao Paolo, Brazil, 2010, 8 stran. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/outreach/free-papers-2008-10/>
- [7] *Fixed and Variable Area Discharges*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/concepts/favad/>
- [8] ALKASSEH, Jaber M. A., Mohd Nordin ADLAN, Ismail ABUSTAN, Hamidi Abdul AZIZ a Abu Bakar Mohamad HANIF. *Applying Minimum Night Flow to Estimate Water Loss Using Statistical Modeling: A Case Study in Kinta Valley, Malaysia*. Water Resources Management. 2013, 27(5): 1439-1455.
- [9] 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.
- [10] LAMBERT, Alan. *Assessing non-revenue water and its components: a practical approach*. Water21. 2003, (Article No 2): 50 - 51.
- [11] *Unavoidable Annual Real Losses & Infrastructure Leakage Index*. Water Leakage and Pressure Management [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.leakssuite.com/concepts/uarl-and-ili/>
- [12] RACLAVSKÝ, Jaroslav, Ladislav TUHOVČÁK a Stanislav MALANÍK. *Rekonstrukce vodohospodářských sítí*. Studijní opora. Brno, 2006.
- [13] Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii. In: Sbíрка zákonů. 17. 12. 1990.
- [14] WARNER, Melanie, Ian MAGGS a Marco PETKOVIC. *ACCURATE MEASUREMENT OF MINIMUM NIGHT FLOWS FOR WATER LOSS ANALYSIS*. 5th Annual WIOA NSW Water Industry Engineers & Operators Conference. Newcastle, 2011, page 31 - 37.
- [15] MORRISON, John, Stephen TOOMS a Dewi ROGERS. *DMA Management Guidance Notes*. Version 1. IWA, February 2007.
- [16] Látal, M., Tesařík, I., Zeman, R.: *Vybrané statě z vodárenství*, VUT Brno, 1989

- [17] TUHOVČÁK, L. *Vybrané statě z vodárenství. (přednáška Technické prostředky pro lokalizaci skrytých úniků)* Brno: VUT Brno, Fakulta Stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, 2015
- [18] Výměna vodoměrů. Dálkový odečet, aneb jak to funguje v praxi [online]. 2012 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.vymenavodomeru.cz/index.php?p=126>
- [19] ULTICAL 21. Dálkové odečítání vodoměrů [online]. 2013 [cit. 2015-12-12]. 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>
- [20] CHEJNOVSKÝ, Pavel. *Vodárenství - vodovodní síť*. Líbeznice: Medim, spol. s r. o., 2007. ISBN 978-80-87140-04-8.
- [21] 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.
- [22] MCKENZIE, Ronnie. *Managing leakage: report E - Interpreting measured night flows*. London: Water Research Centre, Engineering and Operations Committee, 1994. ISBN 18-989-2010-9.
- [23] Hrádek. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 2015 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hrádek>
- [24] ČSN EN 14154-1+A2. *Vodoměry - Část 1: Všeobecné požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 12/2011
- [25] Tuhovčák, Adler, Kučera, Raclavský: *Vodárenství*, VUT v Brně, 2006
- [26] LIEMBERGER, R. 24-hour profile of inflow and Average Zone Pressure. [obrázek] [cit. 2015-12-12]. Formát: 1324 × 591.
- [27] LIEMBERGER, R. Bottom-Up Water Balance Model. [obrázek] [cit. 2015-12-12]. Formát: 755 × 415. Dostupné online z: <https://handysalim.files.wordpress.com/2011/06/bottom-up-water-balance4.jpg>.
- [28] 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.
- [29] SDRUŽENÍ OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ. *Ročenka 2015*. Praha: Silva s. r. o., 2015.
- [30] LIEMBERGER, R. a R. MCKENZIE. *Accuracy Limitations of the ILI - Is it an Appropriate Indicator for Developing Countries?* IWA Leakage Conference. Halifax, New Scotia, Canada, September 2005.
- [31] RUČKA, Jan. *Případová studie vodovodu Hrádek u Sušice*. Ústav vodního hospodářství obcí, Fakulta stavební, VUT Brno, 2014.
- [32] Vyhláška č. 334/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na studenou vodu označované značkou EHS, ve znění pozdějších předpisů, Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|--------|
| Tabulka 5.1. Průměrné hodnoty nočních průtoků pro různé drobné odběratele [22]..... | - 34 - |
| Tabulka 7.1. Délky dle materiálu potrubí [31] | - 39 - |
| Tabulka 7.2. Podrobné výsledky analýzy spotřeby vody v obci Hrádek [31]..... | - 40 - |
| Tabulka 7.3. Charakteristika měřicího okrsku dle hustoty zástavby | - 41 - |
| Tabulka 7.4. Základní informace pro vyhodnocení MNP | - 44 - |
| Tabulka 7.5. Běžná noční spotřeba pro ostatní odběratele | - 45 - |
| Tabulka 7.6. Souhrnná tabulka - běžná noční spotřeba | - 45 - |
| Tabulka 7.7. Souhrnná tabulka - skryté úniky | - 46 - |
| Tabulka 7.8. Skryté úniky pro skutečný provozní tlak | - 47 - |
| Tabulka 7.9. Odhad poruchového úniku | - 47 - |
| Tabulka 7.10. Definiční proměnných | - 53 - |
| Tabulka 7.11. Složky MNP s průměrnými hodnotami proměnných | - 53 - |
| Tabulka 7.12. Dopad na výsledek při změně proměnné X1 | - 54 - |
| Tabulka 7.13. Dopad na výsledek při změně proměnné X2..... | - 54 - |
| Tabulka 7.14. Dopad na výsledek při změně proměnné X3..... | - 55 - |
| Tabulka 7.15. Dopad na výsledek při změně proměnné X4..... | - 55 - |
| Tabulka 7.16. Rozptyl výsledků pro jednotlivé proměnné X1 až X5 | - 55 - |
| Tabulka 7.17 Míra dopadu jednotlivých proměnných na výsledek..... | - 56 - |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|--------|
| Obrázek 2.1 Vývoj spotřeby vody během dne ^[26] | - 10 - |
| Obrázek 2.2 Místo dodávky vody | - 13 - |
| Obrázek 2.3 Složky I. Úrovně podrobnosti | - 14 - |
| Obrázek 2.4 Složky II. Úrovně podrobnosti | - 14 - |
| Obrázek 2.5 Složky III. Úrovně podrobnosti | - 15 - |
| Obrázek 2.6 Složky IV. Úrovně podrobnosti | - 16 - |
| Obrázek 2.7 Druhy úniků | - 17 - |
| Obrázek 2.8 Změny složek ztrát vody na vodovodní síti během dne ^[27] | - 17 - |
| Obrázek 2.9 Vztah mezi průměrným tlakem v pásmu a velikostí úniku, spotřeby ^[7] | - 19 - |
| Obrázek 2.10 Přibližné hodnoty exponentů N1 a N3 pro složky MNP ^[2] | - 20 - |
| Obrázek 3.1 Schéma bilančních složek při hodnocení ztrát vody podle IWA | - 21 - |
| Obrázek 3.2. Teoreticky nevyhnutelné ztráty | - 23 - |
| Obrázek 3.3 Závislost hodnoty TNZ na hustotě přípojek a provozním tlaku | - 24 - |
| Obrázek 4.1 Mechanický vodoměr SENSUS HRI-Mei s generátorem pulsů (vlevo) a indukční průtokoměr SIEMENS SITRANS F M MAG 3100 (vpravo) | - 27 - |
| Obrázek 4.2 Měřící okrsky | - 28 - |
| Obrázek 4.3 Příklad dálkového odečtu vodoměru ^[20] | - 31 - |
| Obrázek 5.1. Hlavní složky MNP ^[21] | - 32 - |
| Obrázek 6.1 Průtok v intervalu 24 hodin | - 37 - |
| Obrázek 6.2 Průtok v intervalu 72 hodin | - 37 - |
| Obrázek 6.3 Zjednodušený výpočet úniků | - 38 - |
| Obrázek 6.4 Záznam průtoku a tlaku | - 38 - |
| Obrázek 7.1 Podíl hlavních složek MNP | - 48 - |
| Obrázek 7.2 Vodoměr WP/Dynamic Prema Meinecke | - 49 - |
| Obrázek 7.3 Schéma měřící kolony | - 50 - |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|--|--------|
| Graf 7.1 Procentuální zastoupení materiálů vodovodu Hrádek ^[31] | - 39 - |
| Graf 7.2 Odvození hodnoty TNZ pro vodovod Hrádek | - 42 - |
| Graf 7.3 Odtok z vodojemu Hrádek (11 dní) | - 42 - |
| Graf 7.4 Opakující se tvar čáry odtoku z vodojemu..... | - 43 - |
| Graf 7.5 Detail zobrazení období MNP..... | - 43 - |
| Graf 7.6 Závislost relativní chyby na průtoku | - 52 - |
| Graf 7.8 Míra dopadu jednotlivých proměnných na výsledek – I. postup | - 56 - |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|----------------|--|
| DMA | District Meter Area |
| MDV | Místo dodávky vody |
| MNF | Minimum Night Flow |
| NC | Night Consumption |
| UNL | Utility Night Leakage |
| NU | Night Use |
| CNL | Customer Night Leakage |
| L_1, L_0 | Hodnoty úniku |
| P_1, P_0 | Hodnoty tlaku |
| N_1, N_3 | Opravné součinitele |
| ICF | Součinitel kondice infrastruktury |
| ILI | Index ztrát infrastruktury |
| C_1, C_0 | Hodnoty spotřeby |
| OC% | Procento spotřeby vody využité mimo budovu |
| VNF | Voda nefakturovaná |
| VNF_{CELKEM} | Množství vody nefakturované |
| VVR | Voda vyrobená k realizaci |
| VNFP | Voda nefakturovaná na přípojku |
| PP | Počet přípojek |
| SZ | Skutečné ztráty |
| TNZ | Teoreticky nevyhnutelné ztráty |
| L_m | Délka vodovodního řadu |
| N_c | Počet vodovodních přípojek |
| L_p | Průměrná délka vodovodních přípojek |
| EIZ | Ekonomický index ztrát |
| IZ | Index ztrát |
| EI | Ekonomický index |
| JUVNF | Jednotkový únik vody nefakturované |
| C | Charakter měřícího okrsku |
| BJ | Počet bytových jednotek |
| L | Délka zásobovacích řadů a rozvodné sítě |
| MNP | Minimální noční průtok |
| Q_{NS} | Běžná noční spotřeba |

| | |
|----------------|--|
| Q_{SU} | Skryté úniky |
| Q_{PO} | Úniky způsobené poruchami potrubí |
| $Q_{NS,D}$ | Běžná noční spotřeba pro domácnosti |
| $Q_{NS,OO}$ | Běžná noční spotřeba pro ostatní drobné odběratele |
| $Q_{NS,VO}$ | Běžná noční spotřeba pro velkoodběratele |
| PO | Počet obyvatel v okrsku |
| p | Procento aktivních obyvatel během noci |
| q_s | Průměrná potřeba vody |
| $Q_{SU,VOD}$ | Skryté úniky na vodovodní síti |
| $Q_{SU,PŘÍP}$ | Skryté úniky na vodovodních přípojkách |
| $Q_{SU,VV}$ | Skryté úniky na vnitřních vodovodech |
| L_m | Délka vodovodní sítě |
| $q_{JSU,VOD}$ | Jednotkový skrytý únik na km řadu |
| $q_{JSU,PŘÍP}$ | Skrytý únik pro vodovodní přípojku |
| $q_{JSU,BJ}$ | Skrytý únik na bytovou jednotku |
| DN | Jmenovitá světlost |
| V_a | Skutečný objem |
| V_i | Indikovaný objem |
| ε | Relativní chyba |
| t | Doba měření |
| Q | Průtok |
| Q_1 | Minimální průtok |
| Q_2 | Přechodný průtok |
| Q_3 | Trvalý průtok |
| Q_4 | Maximální průtok |

SUMMARY

This Diploma thesis deals with minimum night flows issue. The minimum night flow is great operational tool for assessment water loss level in the water distribution systems. Water loss is considered as a global problem and major issues in water management that requires a solid and effective management strategy. Controlling and reducing water loss should be a high priority in the agenda of companies in the water industry. To estimate real losses, minimum night flow can be an indicator of distribution leakage. Minimum night flow is measured flow during period with minimum demand. During this period is often possibly to identify many problem issues by simply looking at the minimum night flow.

In the introduction part of this thesis was summarized basic findings about minimum night flows. Findings like a minimum night flow components, affecting parameters and used methodologies for assessment of minimal night flows. Findings like the minimum night flow components, affecting parameters and used methodologies for assessment of minimal night flows. These findings were applied to the real water distribution system in the municipality Hrádek u Sušice as a practical part of this thesis. In the practical part of this thesis was also included the determination of measurement accuracy of used water meter, which was formerly installed at the outlet in the Hrádek water tank. Measurement errors was determinate for the flow values, that are close to the real measured minimum night flow data in the water distribution system in municipality Hrádek u Sušice. Due to quantity of the input variables, used to calculate expected minimum night flow, sensitivity analysis was carried. This analysis should highlight a variable that affect outcome the most.

This thesis could be very helpful because findings summarized in this thesis could be applied to the random water distribution network. Described methodology is quite simple but its results are very valuable.