

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



Ztráty vody ve vodovodní síti

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Bakalant: Ondřej Vacek

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vacek Ondřej

Vodní hospodářství

Název práce

Ztráty vody ve vodovodní síti

Anglický název

Water losses in the water supply network

Cíle práce

Cílem práce je rešerše literatury zaměřená na zásobování vodou a hlavně na ztráty vody ve vodovodní síti.

Na konkrétním příkladu jednoho pásma vodovodní sítě v Praze vyhodnotit ztráty vody.

Metodika

Zásady pro zpracování:

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Literární rešerše
4. Metodika
5. Popis konkrétní oblasti
6. Ztráty vody
7. Výsledky
8. Diskuze
9. Závěr
- 10.. Použité zdroje
11. Přílohy

Harmonogram zpracování

červen – červenec 2013: Seznámení se s literaturou, studium literárních podkladů;

červenec – září 2013: Terénní šetření. Získání dat;

říjen – listopad 2013: Vyhodnocení dat;

leden- únor 2014: První verze bakalářské práce;

březen 2014: Finální verze bakalářské práce.

Rozsah textové části

40 stran textu

Klíčová slova

vodovodní síť, vodojem, ztráty vody, diagnostika úniků

Doporučené zdroje informací

NOVÁK J. a kol., 2003: příručka provozovatele vodovodní sítě. Medium, Líbeznice
TUHOVČÁK L. a kol., 2003: Sborník přednášek z odborného semináře: Ztráty vody ve vodárenských distribučních systémech. Akademické nakladatelství CERM, Brno
ČIHÁKOVÁ I., 2005: Očekávaný vývoj v zásobování a distribuci pitné vody v České republice, ČVUT v Praze
ŠRYTR P. a kol., 1998, 2001: Městské inženýrství I a II. Academia, Praha
GRÚNWALD A. a kol., 1998: Vodárenství. Český svaz stavebních inženýrů, Praha
TESAŘÍK I., 1987: Vodárenství. Nakladatelství technické literatury, Praha
Legislativní podklady a normy

Vedoucí práce

Synáčková Marcela, Ing., CSc.



Elektronicky schváleno dne 7.1.2014

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22.1.2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 22.1.2014

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci „Ztráty vody ve vodovodní síti“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce Ing. Marcely Synáčkové, CSc. a zároveň prohlašuji, že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Hřiměždicích dne 30. 3. 2014

.....

Ondřej Vacek

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí své bakalářské práce Ing. Marcele Synáčkové CSc., za odborné vedení, pomoc, vstřícnost a trpělivost při zpracování.

Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy Pražských vodovodů a kanalizací a.s. (PVK a.s.) za ochotu při osobních konzultacích. Především za zprostředkování údajů pro tuto práci, praktických ukázek k vyhledávání úniků vody z vodovodní sítě, včetně teoretických ukázek při výpočtech ztrát. Bez těchto stěžejních faktů by tato práce nemohla vzniknout.

V Hřiměždicích dne 30. 3. 2014

.....

Ondřej Vacek

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá celkovou dopravou vody s hlavním zaměřením na ztráty vody. Úvod této bakalářské práce je věnován především potřebě vody v občanském životě, která se dlouhodobě mění z důvodu stálého snižování spotřeby vody. Další kapitola je věnována dopravě upravené vody od úpravny až ke koncovému zákazníkovi. Dále se tato práce zabývá různými materiály vodovodních sítí a jejich specifickými vlastnostmi. Hlavní část je věnována vyhodnocování ztrát, detekci či vlivy ovlivňující úniky vody ze sítí. V závěru práce jsou vyhodnoceny ztráty z dlouhodobého měření na vybraném tlakovém pásmu v Praze. Přesněji se jedná o tlakové pásmo sídliště Rohožník spadající pod městskou část Prahy 21.

Klíčová slova:

Vodovodní síť, vodojem, ztráty vody, diagnostika úniků

Abstract

This thesis is about total transport of water with the main focus on water losses. Introduction is dedicated to the need for water in civic life, which changes in the long term due to a permanent reduction in water consumption. Another chapter is devoted to treated water transport from the water treatment to the final customer. Furthermore, this thesis deals with various materials of water meshes and their specific characteristics. The main part is focused on plotting of losses, detection or influences which affect water leaks from meshes. In conclusion are evaluated losses of long-term measurements at the selected pressure area in Prague. More precisely, it is a pressure area Rohoznik, which falls under the town district of Prague 21.

Keywords:

Water supply system, water tank, water loss, leakage diagnosis

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. CÍLE PRÁCE	10
3. METODIKA	10
4. POTŘEBA VODY	11
4.1 Závazné pokyny pro zjištění potřeby vody	11
4.2 Vody k různému použití	11
4.3 Druhy potřeby vod	12
4.4 Terminologie potřeby a spotřeby vody	12
4.4.1 Doporučení MZe pro výpočet potřeby vody	13
4.4.2 Nerovnoměrnost potřeby vody	14
4.4.3 Spotřeba a rozdělení pitné vody	15
5. VODÁRENSKÉ SOUSTAVY	16
5.1 Doprava vody	16
5.2 Tlaková pásma	17
5.2.1 Tlaková pásma na přiváděcích řadech	18
5.2.2 Tlaková pásma na zásobovacích řadech	18
5.3 Rozvodné vodovodní sítě	19
5.3.1 Kategorie vodovodních řadů	19
5.3.2 Větevová síť	20
5.3.3 Okružová síť	21
5.3.4 Kombinovaná síť	22
5.4 Vodárenské soustavy podle územní působnosti	22
5.4.1 Vodovody místní	22
5.4.2 Vodovod skupinový	22
5.4.3 Vodovod oblastní	24
5.5 Výpočet vodovodního potrubí	24
5.5.1 Základní pojmy ve vodovodních potrubích	24
5.5.2 Základní hydraulické vztahy pro výpočet potrubí	26
5.3 Tlakové ztráty	27
5.3.1 Ztráty třením z_t	27
5.3.2 Ztráty místní z_m	29
6. MATERIÁLY A OBJEKTY NA VODOVODECH	30
6.1 Základní vlastnosti potrubí	30
6.2 Materiály potrubí, ukládání a objekty na síti	31
6.2.1 Kovové materiály	32
6.2.2 Nekovové materiály	34
6.2.3 Další materiály	38
6.2.4 Trubní spoje	38
6.2.5 Armatury na vodovodní síti	39

6.2.8 Uložení vodovodního potrubí	41
6.2.9 Objekty na vodovodních řadech	42
7. ZTRÁTY VODY	44
7.1 Ztráty vody obecně	44
7.1.1 Terminologie	44
7.1.2 Schéma hospodaření s vodou	46
7.2 Kritéria ztrát	47
7.2.1 Měrné ztráty	47
7.2.2 Specifické množství vody nefakturované	47
7.2.3 Procento vody nefakturované	47
7.2.4 Jednotkový únik	48
7.2.5 Ztráty vody na 1 km přepočtené délky vodovodního řadu	49
7.2.6 Ztráty na přípojku	50
7.2.7 Tekoucí havárie – počet poruch na jednotku délky sítě	50
7.2.8 Minimální (noční) průtok	50
7.2.9 Infrastrukturní ztrátový index ILI	51
7.2.10 Jednotkové úniky a minimální průtok	51
7.3 Detekce úniků z vodovodních sítí	52
7.3.1 Měrná kampaň	52
7.3.2 Snímače šumu	53
7.3.3 Korelace	53
7.3.4 Půdní mikrofony	54
7.3.5 Poslechové tyče	54
7.3.6 H ₂ metoda	54
7.3.7 Smartball	55
7.4 Vlivy na ztráty vody a jejich vývoj	55
7.4.1 Příčiny poruch vodovodních sítí	55
7.4.2 Opatření k omezování ztrát vody	56
7.4.3 Vývoj ztrát v České republice	57
7.4.4 Vývoj ztrát v Praze	58
8. POPIS KONKRÉTNÍ OBLASTI	60
8.1 Tlakové pásmo Rohožník	60
8.2 Čerpací stanice Rohožník	61
9. VÝSLEDKY	63
9.1 Vyhodnocení měření Rohožník	63
9.2 Vyhodnocení v hl. m. Prahy	65
10. DISKUZE	68
11. ZÁVĚR	70
12. POUŽITÉ ZDROJE	72
13. PŘÍLOHY	78

1. ÚVOD

Nejrozšířenější látkou na Zemi je voda, která je nezbytnou součástí živé hmoty včetně toho, že je nejdůležitější součástí v životním prostředí. Celkově se dá konstatovat, že bez vody není života. Voda v současné době má nepochybně stále větší význam pro lidstvo, nejen z pohledu zdravotního, tak i z pohledu každodenní potřeby v různých oblastech jako je průmysl, ekonomie apod. Už od nepaměti se jí učíme využívat, jak její sílu, tak i kapacitu. Hospodaření s ní chápeme jako hospodaření s vyčerpatelnou surovinou, v případě jejího nedostatku je příčinou strádání obyvatelstva a při nedostatečné kvalitě je viníkem mnoha nemocí. Proto ke svému životu potřebujeme vodu nezávadnou, kterou je nezbytně nutné chránit.

Základním prvkem pro ochranu vod jsou mezinárodní smlouvy o ochraně moří a oceánů, dohody o hraničních vodách, Evropská vodní charta z 6. května 1968 či zákon č. 254/2001 Sb. neboli vodní zákon. Vodovodní a kanalizační sítě se řídí zákonem č. 274/2001 Sb. (o vodovodech a kanalizacích a souvisejících předpisech). (Synáčková 1994, Novák a kol. 2003)

Největší změny ve vodárenství a distribuci vody jsou zaznamenány od začátku 90. let minulého století. Kdy nejen v případě České republiky je registrován rapidní pokles spotřeby vody, tak hlavně i několikanásobné zvýšení cen za vodné. Za těmito výraznými změnami stála řada faktorů, jako uzavření významných odběratelů nebo modernizace výroby. Dnes v nově otevíraných provozech, či ve výrobních technologiích je kladen důraz na minimalizování spotřeby vody. Hlavní důvodem pro minimalizování spotřeby je ekonomičnost provozu. V dobách před rokem 1989 byla cena za vodné a stočné pro obyvatelstvo dlouhodobě stanovena hluboko pod výrobními náklady upravené vody na hodnotě 0,80 Kč/m³ (vodné 0,6 Kč / m³ a stočné 0,2 Kč / m³). Oproti tomu k 1. 1. 2014 je určena v Praze cena za vodné a stočné na 75,84 Kč. (Čiháková 2005, Kročová 2006, PVK 2014a)

Ekonomické, politické a ekologické faktory snížili potřebu vody oproti konci 80. let o 55 – 70 %. Na změně potřeby vody výrazným podílem přispělo razantní snížení ztrát vody z vodovodních sítí. Samotné ztráty jsou věrným ukazatelem hospodárnosti jednotlivých provozovatelů, protože vznikají v jejich sférách působnosti. Jsou obrazem toho, v jakém technickém stavu se nachází vodovodní síť a jak o tuto síť provozovatel pečuje. Často přesahovaly 30 – 40 %, někde dokonce i 60 % z celkové realizované vody. Dle ČSÚ se v roce 2012 v České republice průměrné ztráty vody pohybovaly na hodnotě 19,3 % z vody k realizaci. Všeobecně je dáno, že hranici 15 % ztrát je možné považovat za výsledek výborného

hospodaření provozovatele vodovodní sítě. Někteří provozovatelé v západoevropských zemích snížili ztráty i pod 10 %. Závěrem je nutné podotknout, že není technicky možné se dostat na nulové hodnoty. (ISSaR 2014, Jermář 1982, Kročová 2004, Novák a kol. 2003)

2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je seznámení nejen s výpočty ztrát ve vodovodních sítích a jejich vývojem za poslední roky. Tak i seznámení se spotřebou a potřebou vody, strukturami sítí, druhy potrubí, příčinami úniků a přístroji pro detekci poruch. Protože všechna tato hlediska souvisí se ztrátami. Z praktického pohledu bylo vybráno pro demonstraci jedno tlakové pásmo na území hlavního města Prahy. Přesněji se jedná o sídliště Rohožník v katastrálním území Újezdu nad Lesy, které je zároveň i městskou částí Prahy 21. Kromě sídliště Rohožník se vyhodnotily ztráty na všech tlakových pásmech v hl. m. Praze a porovnal s oficiálními zprávami. Dílčími cíli této práce jsou:

- podrobný popis vybrané lokality Rohožník,
- vodohospodářská struktura sítě,
- vývoj ztrát na lokalitě.

3. METODIKA

Při tvorbě této bakalářské práce se postupovalo následujícím metodickým postupem:

- Shromažďování knižních odborných děl pro rešeršní část.
- Studium odborných děl.
- Získání informací o ztrátách ve vodovodních sítích u provozovatele v hlavním městě Prahy (PVK, a.s.).
- Výběr jednoho tlakového pásma na území hlavního města Prahy pro demonstrativnost ztrát.
- Fotografování a popis vybrané lokality.
- Vytřídění získaných poznatků a informací.
- Tvorba obsahové části této bakalářské práce.
- Vypracování informací dle předem určených jednotlivých bodů zadání a stanoveného obsahu.

4. POTŘEBA VODY

4.1 Závazné pokyny pro zjištění potřeby vody

Potřebou vody se rozumí takové množství vody za časovou jednotku, které je potřeba zajistit ve zdroji pro dodávku odběratelům. Při návrhu vodovodních systémů včetně všech objektů a zařízení je primárně nutné výpočtem zjistit potřebu vody neboli předpokládaný odběr vody spotřebitelem. Tato veličina je určujícím faktorem pro návrh velikosti všech zařízení na vodovodním systému. Dříve se tyto výpočty prováděli dle normativních směrnic např. dle Směrnice MLVH č.9/1973 Sb., nebo dle Metodického pokynu Ministerstva zemědělství pro výpočet potřeby vody z roku 1993. Na dnešní výpočty se Směrnice č. 9/1973 Sb. jeví v některých specifických potřebách jako překonaná, proto je tato směrnice neplatná. Současná spotřeba vody se výrazně snížila a to z důvodu vzrůstu ceny vodného včetně změn v průmyslové výrobě. Pro současné výpočty je vhodné použít vyhlášku č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění vyhlášky č. 146/2004 Sb. a vyhlášky č. 515/2006 Sb. (Synáčková 2010, Tuhovčák 2006)

4.2 Vody k různému použití

- **Pitná voda**, je taková voda, která je zdravotně nezávadná, a ani po dlouhodobém užívání nemůže ohrozit lidské zdraví. Hygienické požadavky na pitnou vodu určuje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb.
- **Teplá voda**, někdy uváděna jako **teplá užitková voda** pro lepší rozlišení od otopné teplé (provozní) vody je taková voda, která vzniká ohřátím pitné vody. Hygienické požadavky na teplou vodu určuje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. Dodávky teplé vody se řídí pravidlem vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu č. 152/2001 Sb.
- **Užitková voda**, je taková voda, která vyhovuje zdravotním požadavkům, které určuje orgán hygienické služby. Dále technologickým požadavkům, pro které je určena. Tato voda může přijít do styku s člověkem, ale nesmí jí pít, či používat k přípravě potravin.
- **Provozní voda**, někdy uváděna jako **technologická voda** má kvalitu podle účelu, ke kterému se používá. Tato voda může být voda pro ústřední vytápění či klimatizace. Provozní vodou se rozumí i dešťová voda, která se

využívá v domácnostech např. pro splachování záchodů, zalévání zahrad nebo praní. (Vrána 2005)

4.3 Druhy potřeby vod

Potřeba vody obecně kolísá podle ročních období (zima, léto), životního rytmu (pracovní den, víkend), pracovního vypětí a klidu (ranní a večerní špička, směnnost provozu, atd.) a podle místních poměrů (např. podle technické vybavenosti bytů). V zásobované oblasti se celková potřeba vody rozděluje podle druhu odběru na tyto základní skupiny:

- **voda pro bytový fond**, určená pro osobní potřebu obyvatelstva jako je pití, vaření, mytí atd.,
- **voda pro vybavenost obce**, určená pro údržbu (kropení komunikací, hřišť atd.) a pro další zařízení v obci,
- **voda pro zemědělství**, která je určená pro zaměstnance a samotný provoz závodů či závlahy,
- **voda pro průmysl**,
- **voda pro požární účely**,
- **ztráty**. (Synáčková 2010, Tesařík 1985)

4.4 Terminologie potřeby a spotřeby vody

Norma ČSN 75 0150 určuje pojmy jako je specifická potřeba, průměrná denní, maximální denní včetně hodinové potřeby vody. Tyto pojmy je nutné znát pro celkový výpočet potřeby vody pro spotřebiště. Pro samotný výpočet potřeby vody je vhodné vycházet z reálných hodnot současné potřeby vody v oblasti dané vodovodní sítě včetně budoucího výhledu. (Novák a kol. 2003)

- **Spotřeba vody** je skutečné množství vody odebrané z vodovodního zařízení za určitý časový horizont.
- **Potřeba vody** je množství vody za jednotku času, které je potřebné zajistit ve zdroji pro zajištění odběrů.
- **Potřeba požární vody** je množství vody, které je zajištěno z vodovodního potrubí a určené pro požární účely za jednotku času. (Tuhovčák 2006)
- **Specifická potřeba** byla dle Směrnice č.9/1973 uvedena jako potřeba na základní spotřební jednotku (osoba, lůžko) [l/ jednotka/ den]. Včetně započtení ztrát při rozvodu vody ke spotřebiteli, v tomto případě bylo uvažováno se **ztrátou 20%**. (Synáčková 2010)

- **Průměrná denní potřeba Q_p** se dle ČSN 75 0150 stanoví jako součet specifické potřeby, individuální potřeby a ztráty vody.
- **Maximální denní potřeba vody Q_m** se vypočte vynásobením průměrné denní potřeby Q_p se *součinitelem denní nerovnoměrnosti k_d* . Na tuto maximální denní potřebu se navrhuje zařízení na odběr vody ze zdroje, kapacita úpravny vody, či příváděcí řady do vodojemů. Průběh kolísání hodinových potřeb se používá dále na dimenzování čerpacího zařízení pro zajištění vody do spotřebiště. Hodnota maximální denní potřeby vody je základem pro výpočet akumulárního objemu vodojemu. (Tuhovčák 2006)

$$Q_m = Q_p \cdot k_d$$

- **Maximální hodinová potřeba vody Q_h** se vypočte vynásobením maximální denní potřeby vody Q_m se součinitelem hodinové nerovnoměrnosti k_h . Na tuto maximální hodinovou potřebu se dimenzuje zásobní potrubí řadů a rozvodné vodovodní sítě. Ve večerních hodinách přibližně **od 19 do 21 hodin** se dosahuje maximální hodinové spotřeby vody, která činí **8-13%** maximální denní spotřeby. Naopak minimální spotřeby se dosahuje v nočních hodinách mezi **2 až 4 hodinou ranní**, která činí **0,8-1,5%** maximální denní spotřeby. (Tuhovčák 2006)

$$Q_h = Q_m \cdot k_h$$

Q_h	<i>maximální hodinová spotřeba</i>
Q_m	<i>maximální denní potřeba</i>
k_h	<i>součinitel nerovnoměrnosti</i>

Výsledek potřeby vody musí být dimenzován pro budoucí stav - asi 30 let od vypracování dokumentace. Tato doba je určena z minimální doby životnosti technologických zařízení. Životnost některých objektů na vodovodní síti je ale delší, proto je nutné stanovit alespoň orientační předpověď jejich životnosti (např. příváděcích řadů, vodojemů apod.). U sídlišť, u kterých nejsou známy budoucí počty obyvatel, či podklady pro průmysl či zemědělství, lze zvýšit potřebu vody o 20% ze současného stavu. (Tesařík 1985, Synáčková 2010)

4.4.1 Doporučení MZe pro výpočet potřeby vody

Jelikož dnes není výpočet potřeby vody stanoven žádnými právními či jinými předpisy. I tak se doporučuje přihlídnout k hodnotám roční potřeby vody, které jsou uvedeny v příloze č. 12 vyhlášky 428/2001 Sb., podle kterých se určí množství

odebrané vody, pokud není osazen vodoměr. Další možností je přihlídnutí k metodickému pokynu „Výpočet potřeby vody“, který v roce 1993 vypracovalo Ministerstvo zemědělství, ve kterém doporučuje:

- **Specifickou potřebu vody obyvatele** (včetně drobných živností a občanské vybavenosti) uvažovat v dlouhodobém výhledu (15-20 let) na hodnotu **150-200 l/os./den**.
- **Ztráty vody** určit ze specifických úniků na jednotku délky potrubí.
- **Součinitel hodinové nerovnoměrnosti k_h** by měl být v rozmezí 1,5 - 2,5 v závislosti na pracovních dnech či dnech klidu. Vyšší hodnoty např. 2,3 dosahují oblasti sídlištního typu.
- **Součinitele denní nerovnoměrnosti k_d** by měl být v rozmezí 1,1 - 1,5 v závislosti na charakteru a velikosti spotřebiště. (Novák a kol. 2003, Tuhovčák 2006)

Tab. 4.1 - Součinitel denní nerovnoměrnosti (MZe 2008)

velikost obce	součinitel denní nerovnoměrnosti
do 500 obyvatel	1,50
od 501 do 2000 obyvatel	1,35
od 2001 do 20 000 obyvatel	1,3
od 20 001 do 1 000 000 obyvatel	1,25
od 1 000 001 obyvatel	1,2

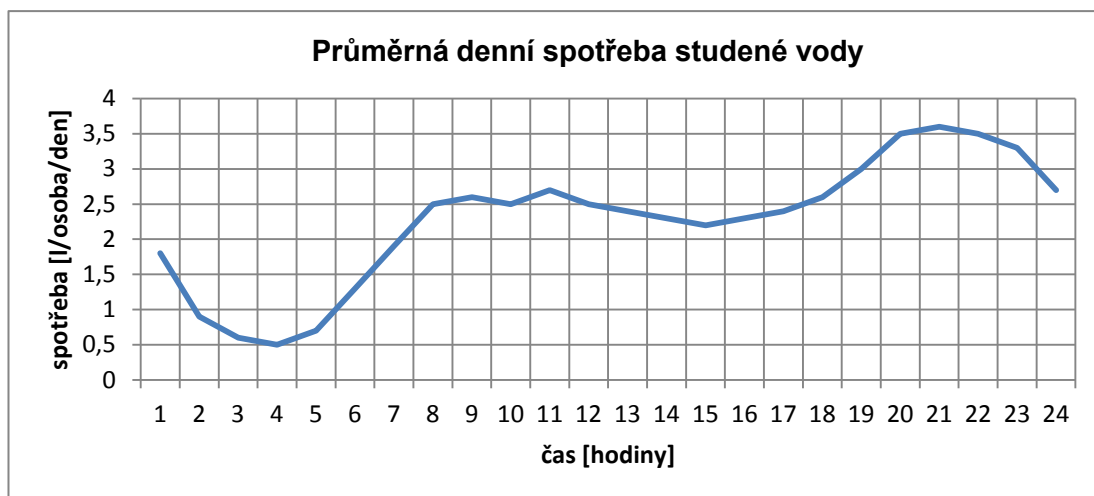
4.4.2 Nerovnoměrnost potřeby vody

Základem pro výpočet nerovnoměrnosti potřeby vody je zjištění maximální hodinové a denní potřeby vody. Odběry vody se mění jak v průběhu času tak i vlivem klimatických podmínek. Proto jsou změny odběrů možné sledovat v různých časových obdobích.

Rozdíly v jednotlivých sledovaných letech jsou ideálním podkladem pro budoucí potřeby vody. Rozdíly v kratších časových obdobích jako jsou měsíce či dny mají vliv na posouzení vydatnosti vodního zdroje a na dimenzování příváděcích řadů či úpraven vod. Změny v jednotlivých dnech týdne se projevují jen s malým kolísáním ($\pm 10\%$) většinou patrných u větších měst, kde je příčinou průmysl a odjezd obyvatel na víkend. Rozdíly odběru ještě v kratších časových úsecích a to v řádově hodinách, má vliv na dimenzování zásobovacích a rozváděcích řadů či akumulačních objemů vodojemů. (Tesařík 1985)

V roce 2005 provedli Vodárny Plzeň a ČVUT v Praze tří týdenní průzkum spotřeby studené vody v 62 bytových domech v Plzni. Do výsledných hodnot ale

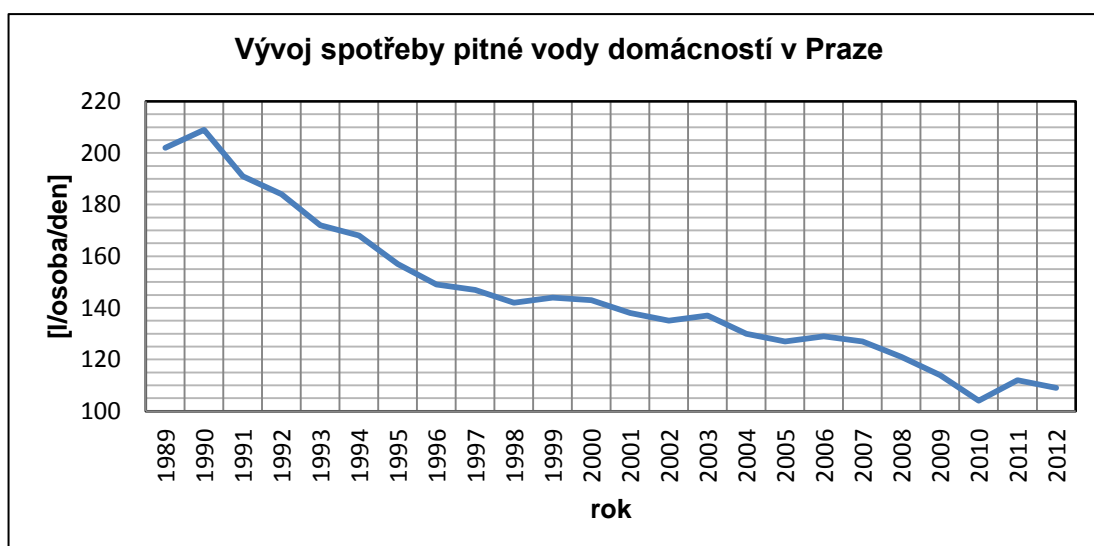
nebyla zařazena teplá voda, která je do monitorovaných objektů přiváděna systémem centralizovaného zásobování tepla. (Kabele a Musil 2006)



Obr. 4.1 - Denní průběh průměrné spotřeby studené vody (Kabele a Musil 2006)

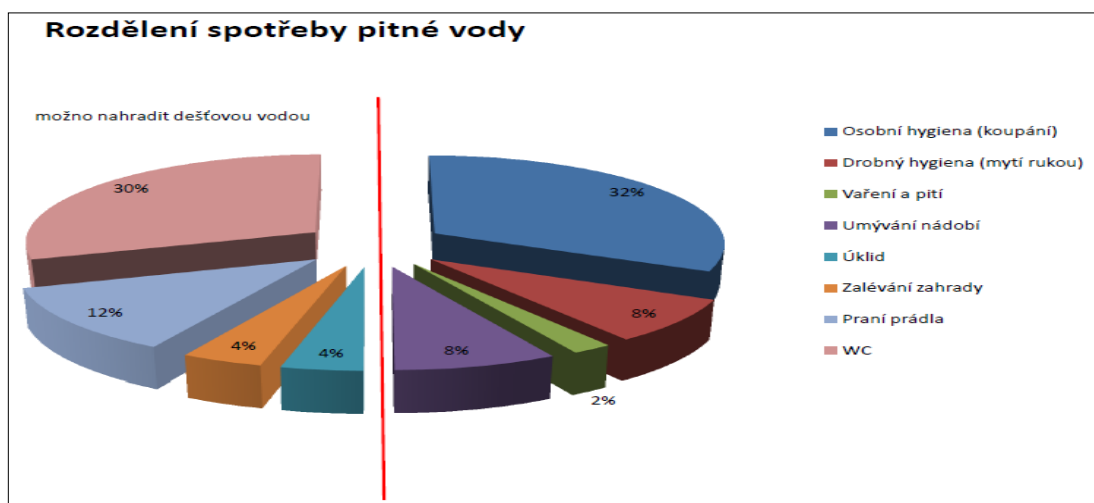
4.4.3 Spotřeba a rozdělení pitné vody

Od roku 1990 se nejenom v Praze razantně snížila specifická spotřeba pitné vody a to o více než 45%. V současné době se tato spotřeba pohybuje kolem **110 litrů na osobu za den**. Snížení spotřeby je důsledkem mnoha faktorů. Prvním je výše ceny vodného a stočného a druhým je dlouhodobý trend šetření s vodou. (Magistrát hlavního města Prahy 2011)



Obr. 4.2 - Vývoj spotřeby vody v Praze (PVK 2011, PVK 2012)

V otázce rozdělení vody připadá na osobní hygienu jako je koupání či mytí rukou největší část spotřeby. Všeobecně se rozdělení spotřeby v domácnostech jak v České republice, tak i v zahraničí příliš neliší. (Butler a Memon 2006, Hrdlička 2008)



Obr 4.3 - Rozdělení spotřeby vody (Hrdlička 2011)

5. VODÁRENSKÉ SOUSTAVY

5.1 Doprava vody

Doprava pitné vody do spotřebiště závisí na velkém množství speciálních zařízení, které se sdružují do tzv. **systému zásobování vodou (SZV)**. Jsou to provozně samostatné stavby a zařízení zejména pro jímání a odběr povrchové nebo podzemní vody a déle pro její úpravu, shromažďování včetně vodovodní sítě. Z podrobnějšího hlediska lze tyto systémy rozdělit na centralizované SZV, nebo lokální SZV. (Ambrusová a Šromová 2009, Synáčková 2010)

Prosazovaným SZV jsou skupinové a oblastní vodovody. Tyto vodovody vznikají spojením více centralizovaných SZV, nebo při spojení velkých vodních zdrojů jako je např. vodárenská nádrž Švihov (známá spíše pod názvem vodní nádrž Želivka) s úpravnou vody v Nesměřicích. U takto velkých systémů, lze lépe zvládat narůstající nároky spotřebitelů. (Šrytr a kol. 1998)

Doprava vody probíhá v potrubí, které musí být dokonale těsné, v opačném případě dochází k únikům vody. Mezi nejsledovanější parametry kromě kvality vody patří právě těsnost v oblastech vlastní konstrukce, jako je svařovaný spoj, přírubový spoj či strojírenské šroubení. V systému potrubí se nachází velké množství prostředků, jako jsou armatury, které řídí směr toku, průtok, tlak, nebo čidla snímající potřebné veličiny. (Pavlok 2011)

K uspokojení nároku spotřebitele je nutná distribuce vody v požadovaném množství, kvalitě, tak i v dostatečném (předepsaném) tlaku. Distribuce vody je rozdělena na více částí a to:

- jímání vody,
- úprava vody včetně hygienického zabezpečení,
- čerpání a doprava vody do vodojemu pomocí přiváděcího řadu,
- akumulace vody ve vodojemech,
- doprava vody z vodojemu zásobovacím řadem,
- rozvod vody vodovodní sítí ke spotřebitelům. (Synáčková 2010)

Při navrhování vodovodního řadu se postupuje tak, aby bylo zajištěno budoucí rozšíření z důvodu rozvoje území. Trasy vodovodního řadu se navrhují přednostně mimo veřejné komunikace a na veřejných prostorech ve vlastnictví obce. Základní zásady pro navrhování vodovodních sítí a vodovodního potrubí se řídí dle norem:

- ČSN EN 805 Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti.
- ČSN 75 5401 Navrhování vodovodních potrubí.
- ČSN 75 5411 Vodovodní přípojky.
- ČSN 75 5630 Vodovodní podchody pod dráhou a pozemní komunikací.
- ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání sítí technického vybavení.
- TNV 75 5402 Výstavba vodovodního potrubí. (Tuhovčák 2006)

5.2 Tlaková pásma

Tlakovým pásmem je zabezpečena dodávka vody pomocí gravitace, či výtlačnými čerpacími stanicemi, kde je voda akumulovaná ve vodojemech. Pouze u malých a nepříliš významných spotřebišť lze vynechat vodojem, pokud vydatnost zdroje zabezpečí maximální hodinovou potřebu Q_h . Z jednoho vodojemu je možné zásobovat spotřebišť pouze určitý výškový horizont. Tudíž zde vzniká tlakové pásmo, které je omezeno výškovým uspořádáním zásobovacích objektů. Náročnější případem je zásobování pomocí výtlačných čerpacích stanic, kde je nutné zohlednit ekonomický pohled na provoz čerpacích stanic (čerpacích agregátů). V případě vyšších počtů tlakových pásem se snižuje množství energie potřebné na zdvih vody do vyšších partií.

Samotné tlakové pásmo je omezeno výškovým uspořádáním zásobovacích objektů, tak i na morfologii terénu, kde by výškový rozdíl neměl přesahovat 25 - 35 metrů (jak u gravitačního, tak i u výtlačného řadu). Při ojedinělých vysokých stavbách v řadu se umisťují čerpací stanice na vnitřním vodovodu odběratele. Tlakové pásma jsou z pohledu hydrauliky nezávislé části zásobovací sítě. Hydraulická nezávislost je vyžadována proto, aby tlakové poměry v jednom pásmu

neovlivňovaly další tlakové pásma. Proto jednotlivé tlakové pásma nesmí být mezi sebou propojeny, případné propojovací potrubí musí být při běžném provozu uzavřeno. Je zvykem číslovat vzestupně tlakové pásma od nejnižší po nejvyšší položené.

U dlouhých gravitačních, nebo výtlačných řádů je nutné vyřešit ochranu proti rázům v potrubí za pomoci pojistných ventilů, přerušovacích komor apod. Dále je nutné instalovat do vrcholových lomů tras vzdušníky (odvzdušňovací zařízení) a do údolních tras kalníky (odkalovací zařízení). Ve členitém terénu je nutné tlakové pásmo rozdělit do více tlakových pásem, tak aby bylo možné splnit tlakové poměry ve spotřebišti, které jsou dány normou. (Grünwald 1998, Chejnovský 2007, Šrytr 1998, Tesařík 1987, Višňovský 1980)

5.2.1 Tlaková pásma na přiváděcích řadech

Přiváděcí řad je část vodárenské soustavy, která se nachází mezi **zdrojem – úpravnou vody – vodojemem**, nebo pouze její část. Umístění přiváděcího řadu v terénu, kde výškový rozdíl přesahuje 100 metrů či více, se přiváděcí řad rozděluje na více tlakových pásem na základě maximálního provozního přetlaku. Doprava vody je zabezpečena pomocí gravitace, nebo výtlačnými čerpacími stanicemi. Maximální hodnoty přetlaku jsou stanoveny hodnotou jmenovitého tlaku PN. Při poddimenzování přiváděcího řadu hrozí vznik tlakových ztrát, naopak při předimenzování vzniká riziko na zdravotní zabezpečení vody včetně její čerstvosti. (Grünwald 1998, Kročová 2006)

5.2.2 Tlaková pásma na zásobovacích řadech

Zásobovací řad je část vodárenské soustavy, která se nachází mezi **vodojemem – spotřebišťem**. Tento řad může plnit i funkci požárního vodovodu, k tomuto účelu se ale nezvětšuje jeho průměr potrubí, který je primárně navržen na průtok Q_h . U každé vodovodní přípojky musí být zajištěn hydrodynamický přetlak alespoň 0,25 MPa, v zástavbě do dvou nadzemních podlaží musí být přetlak minimálně 0,15 MPa. Maximální tlak dle normy nesmí přesáhnout 0,6 MPa či 0,7 MPa. Dodržením minimálních přetlaků vychází výška tlakového pásma na 25 - 35 metrů. Pokud výškový rozdíl v tlakovém pásmu vyjde více než je dána normou, je nutné do řadu navrhnout dva či více vodojemů, kde se při tom dbá na to, aby výška pásma byla maximálně 25 metrů. Tento fakt má za následek menší ztráty vody, včetně finanční úspory způsobené menšími nároky na výtlačné zásobování. V gravitačních řadech se přivádí voda do nejvyššího bodu, kde se postupně

přepouští do nižších tlakových pásem či vodojemů. V případě výtlačných řadů je možné tlakové pásma řadit na sériové či paralelní.

V **sériovém řazení** pásma je voda čerpána stupňovitě do vodojemů, které se nacházejí v každém tlakovém pásmu. Do nejvyššího vodojemu je čerpán pouze nezbytně nutný objem vody.

V **paralelním řazení** pásma je možné řešit dopravu vody dvěma způsoby. Při první způsobu je společné výtlačné potrubí, kde ke každému vodojemu je vedena odbočka. Při druhém způsobu je více samostatných výtlačných potrubí, které zásobují každé tlakové pásmo.

Gravitační, tak i výtlačné příváděcí řady nemusí být na zásobovacích řadech závislé, v některých případech můžou být zásobovací a příváděcí řady spojeny v jeden celek. Tohoto spojení lze použít pouze pro velmi dlouhé řady, které zajišťují malé zásobované množství. Tímto se dosáhne lepší kvality vody z důvodu častější výměny vody. Další výhodou je kratší potrubí až o 50%, včetně menších ztrát vody. Naopak nevýhoda spočívá v tom, že při poruše je zde možnost dlouhodobějšího výpadku dodávky vody do spotřebiště. Dále to jsou rozkolísané tlaky v řadu, které se musí řešit pomocí redukčních ventilů při vyšších tlacích, či automatických tlakových stanic při nižších tlacích. (Grünwald 1998, Hasík a Dostálová 2002, Chejnovský 2007, Thornton 2002, Šrytr 1998)

5.3 Rozvodné vodovodní sítě

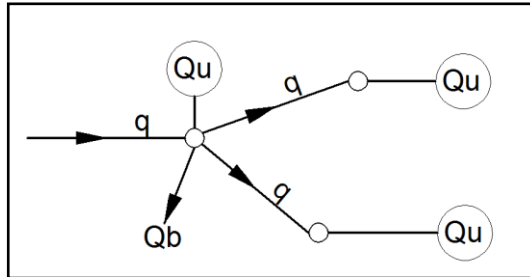
5.3.1 Kategorie vodovodních řadů

Dle normy ČSN 73 6005 lze dělit vodovodní řady podle územní působnosti, funkčního a kapacitního významu. Podle prostorového uspořádání se rozdělují na:

- **Vedení dálková**, týkající se 1. kategorie řadů, které jsou stanoveny dle ČSN jako příváděcí, výtlačné či zásobovací řady.
- **Vedení místní**, týkající se 2. kategorie řadů, které jsou dle ČSN stanoveny jako hlavní řady dopravující vodu do centra spotřebiště a 3. kategorie, které jsou stanoveny jako vedlejší (uliční) rozvodné řady.
- **Vodovodní přípojky**, týkající se 4. kategorie, které dle normy nejsou vodními díly i přes to, že zajišťují dodávku vody k jednotlivým odběrným místům. (Chejnovský 2007)

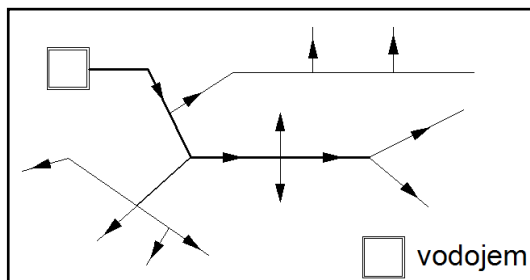
5.3.2 Větevná síť

Této struktury sítě je využíváno pro jednoduchost návrhu a hydrotechnického výpočtu. Pro tento výpočet je důležité znát úsekové odběry q a jejich transformaci do uzlových odběrů Q_u nebo do bodových odběrů Q_b , znázorněných na *obr. 5.1*. Dále je nutné provést výpočet návrhových průtoků Q_n , naddimenzovat úseky, stanovit sklon hydrodynamického tlaku a mnoho dalšího.



Obr. 5.1 - Schéma výpočtové větevné sítě (Novák a kol. 2003)

Geometrický tvar struktury sítě se podobá rozvětvenému stromu, bez použití zokruhování patrné z *obr. 4.2*. Navrhuje se tam, kde je spotřebiště malého venkovského charakteru, nebo v místech, kde zástavba nedovoluje provést zokruhování rozvodných řadů. (Chejnovský 2007, Novák a kol. 2003)



Obr. 5.2 - Větevná síť (Chejnovský 2007)

Výhody

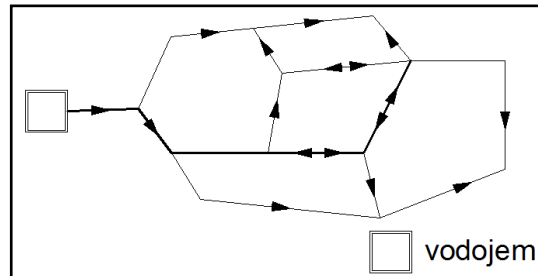
- Minimální investiční náklady, jednoduché navrhování a provozování z hlediska menších průměrů potrubí.
- Menší celková délka sítě oproti okružové síti.

Nevýhody

- Malá spolehlivost, protože ke konkrétnímu místu odběru se voda dostává pouze z jednoho směru a pouze z jednoho vodojemu. Případná porucha má za následek ovlivnění velkého úseku zásobování.
- Případné nárazové odběry mají vliv na tlakové poměry v celé síti.
- Stagnace vody v koncových úsecích. (Chejnovský 2007, Tesařík a kol. 1985)
- Naddimenzování sítě z důvodu požárních hydrantů. (Macek 2004)

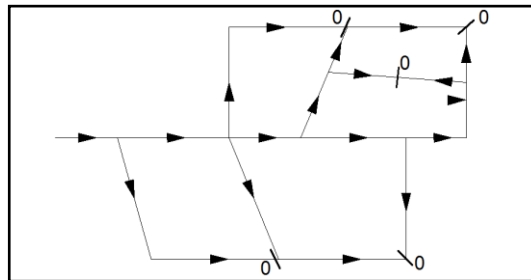
5.3.3 Okruhová síť

Návrh této sítě je vhodný pro centra měst, obchodní a průmyslové zóny a tam, kde jsou spotřebiště převažující s plošným charakterem zástavby. Její uspořádání je v uzavřených kruzích, které se dotýkají ve styčných úsecích a uzlech. Do oblastí na okrajích měst je tato síť nevhodná, protože disponuje nestabilními hydraulickými poměry, kde dochází ke změnám směrů proudění. (Chejnovský 2007, Macek 2004)



Obr. 5.3 - Okruhová síť (Chejnovský, 2007)

Výpočet okruhové sítě, oproti větvenné je složitější, protože není možné přesně určit průtoky a ani směry proudění. Pro výpočet se doporučuje postupovat metodou nulových bodů, nebo dle Lobačev – Crossova. Tato metoda je běžným výpočetním postupem v České republice, která se pro svoji složitost počítá pomocí PC. Existují i další výpočetní postupy pro výpočet okruhových sítí, např. metodou Newtona, Hardyho – Crossova, či jejich modifikacemi. (Hasík 2009, Novák a kol. 2003, Tesařík 1985)



Obr. 5.4 - Nulové body okruhové sítě (Novák a kol. 2003)

Výhody

- Voda se dostává k odběrnému místu ze dvou směrů, tudíž poruchu v síti lze omezit na konkrétní řadu či úsek.
- Tlaky v síti jsou oproti větvenné vyrovnanější a tím pádem se nárazové odběry eliminují dodávkou vody z více stran.
- Voda cirkuluje v celém řadu, proto nedochází ke stagnaci vody.

Nevýhody

- Složitý výpočet a navrhování a vyšší náklady na realizaci. (Chejnovský 2007, Macek 2004)

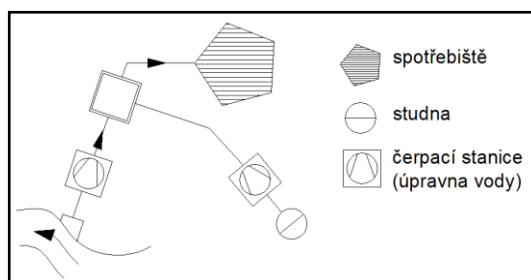
5.3.4 Kombinovaná síť

Je taková síť, která spojuje větvnou, tak i okružnou síť. Větvná síť je vybudována v okrajových částech spotřebiště a je napojena na okružnou síť v centralizované části spotřebiště. Pokud podmínky dovolí, je preferováno budovat právě kombinované sítě, než čistě okružné, či větvné sítě. Zásobovací okruhy by měli být jednotlivě oddělené a propojené k hlavním řadům jedním potrubím, které lze uzavřít. Je vhodné v těchto místech umístit i sekční vodoměr, kterým lze spolehlivě měřit dodávané množství vody do jednotlivých okrusků. Velká výhoda vodoměru v těchto místech spočívá v tom, že umožní stanovit úniky a napomáhá k vyhledání ztráty vody. To má za následek to, že se zvýší celková spolehlivost celé vodovodní sítě. Případná porucha pak ovlivní pouze koncové větvné části sítě. Celkově má kombinovaná síť své výhody i nevýhody, které jsou charakteristické pro větvnou, tak i okružnou síť. (Grünwald 1998, Chejnovský 2007)

5.4 Vodárenské soustavy podle územní působnosti

5.4.1 Vodovody místní

Jedná se o historicky nejstarší typ vodovodů už od dob vyspělých starověkých měst. V závislosti na místních podmínkách byly budovány většinou jako gravitační. Z technického a provozního pohledu to jsou jednoduchá zařízení, která zajišťují zásobování vodou pouze pro jednu obec či město z jednoho nebo více zdrojů. (Novák a kol. 2003)



Obr. 5.5 - Místní vodovod se dvěma zdroji (Novák a kol. 2003)

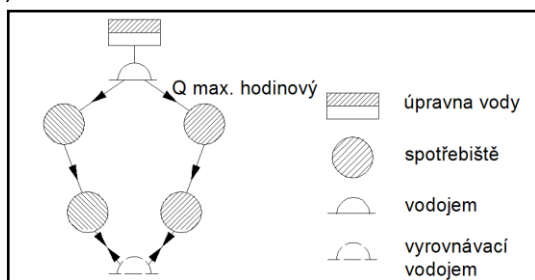
5.4.2 Vodovod skupinový

Tyto vodovody se začaly budovat v důsledku rozvoje spotřebišť a ve stále se zvyšující potřebě vody vedoucí k uspokojení nároků spotřebitelů. První skupinové vodovody se začaly budovat na začátku 20. století. Hlavním charakterem tohoto

systému je zásobování více spotřebišť (obcí) z jednoho, nebo více zdrojů. Podle technického uspořádání či objektového vybavení lze rozdělit do dvou základních typů:

- **Skupinový vodovod s jedním společným vodojemem**

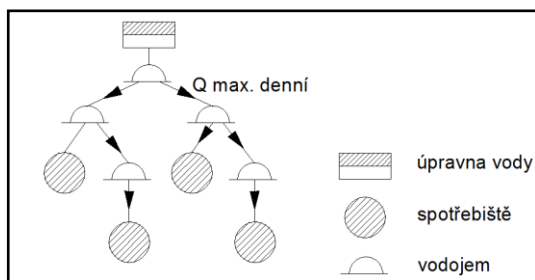
V tomto skupinovém vodovodu s jedním společným vodojemem je voda ze zdroje nebo úpravní vody dopravována do jediného hlavního vodojemu, který zásobuje všechny spotřebišť. Velkou výhodou této realizace je snížení investic do jednoho společného vodojemu a nikoliv do více místních vodojemů. Je tedy vhodné použít při malých vzdálenostech spotřebišť a v rovinnaté morfologii území. Při růstu potřeby vody lze vodovod jednoduše modifikovat na druhý typ s místními vodojemy. Nevýhodou jednoho společného vodojemu je nutné dimenzování zásobovacích řadů na maximální hodinovou potřebu vody, kde je nezbytné větších (a tedy dražších) profilů. (Novák a kol. 2003, Šrytr 1998)



Obr. 5.6 - Skupinový vodojem se společným vodojemem (Šrytr 1998)

- **Skupinový vodovod s místními vodojemy u jednotlivých spotřebišť**

Výhodou oproti skupinovému vodovodu s jedním společným vodojemem jsou nižší náklady na přiváděcí řad, protože je dimenzován na maximální denní potřebu vody, kde je možné použít menších profilů a tedy i levnějších. Nevýhodou je rozmístění vodojemů do několika míst. Při růstu potřeby vody např. z důvodu rozšíření spotřebišť má za následek nákladné rekonstrukce stávajících potrubních tras.



Obr. 5.7 - Skupinový vodovod s místními vodojemy (Šrytr 1998)

5.4.3 Vodovod oblastní

Vodovody oblastní jsou v podstatě též vodovody skupinové, jen s tím rozdílem, že zásobují mnohem větší území. Tyto vodovody zásobují velké území spotřebišť ve velikosti několika okresů, či krajů. Začátky realizací těchto typů vodovodů je datován do období po 2. světové válce, kdy v důsledku hospodářského růstu bylo nutné zabezpečit zásobování velkých území. Doprava vody na tak velké vzdálenosti (běžně v desítkách kilometrů), včetně složitého systému řízení a s množstvím objektů se nazývají vodárenskými soustavami. K nejvýznamnějším patří **vodárenská soustava Střední Čechy**, která zajišťuje vodu jak pro středočeskou aglomeraci, tak i pro velkou část východních a jižních Čech, včetně hlavního města Prahy. Hlavními vodními zdroji pro tuto soustavu je vodárenská nádrž Želiv a Kárané, kde se získává voda z umělých infiltrací. (Grünwald 1998, Chejnovský 2007)

Výhody

- Vyšší zabezpečení vody ke spotřebiteli, v důsledku většího počtu vodních zdrojů.
- Možnost převodů vody a spolupráce vodních zdrojů, včetně optimální využitelnosti v celé síti.

Nevýhody

- Vysoké investiční náklady v důsledku budování rozsáhlých sítí, včetně vysokých provozních nákladů související v dopravě vody na velké vzdálenosti.
- Při poruchách na takto velkých sítích je zasaženo velké území spotřebišť.
- Dlouhodobá a náročná realizace stavby.
- Vyšší ztráty vody. (Chejnovský 2007)

5.5 Výpočet vodovodního potrubí

Účelem výpočtů vodovodních sítí je hydraulicky správně a hospodárně dimenzovat průměry DN, které zajistí požadované průtoky a tlaky v potrubí v průběhu dne. (Hasík a Dostálová 2002)

5.5.1 Základní pojmy ve vodovodních potrubích

Při navrhování, provádění či provozování vodovodních sítí je důležité se seznámit a definovat odborné pojmy.

- **PN**

Označení symbolem „PN“ je dle evropské normy ČSN EN 1330 (13 0009) definováno číselné označení používané pro referenční účely vztažené na kombinaci mechanických a rozměrových charakteristik součástí potrubních systémů. Číslo následující za písmeny PN dle *Nováka a kol. 2003 nepředstavuje žádnou měřitelnou veličinu* a nemělo by být používáno pro účely výpočtů, pokud to není výslovně uvedeno v příslušné normě. Naopak *HASÍK (2009) uvádí, že čísla za značkou lze považovat za tlakové údaje v barech*. Dovolенý přetlak potrubí součásti je závislý na čísle PN, na materiálu a konstrukčním typu součásti, na její dovolené teplotě atd. a je uveden v tabulce tlakoteplotních stupňů obsažené v příslušných normách. Číselné označení PN se řídí podle vzestupné řady: PN 2,5; PN 6; PN 10; PN 16; PN 25; PN 40; PN 63 a PN 100. (Hasík 2009, Chejnovský 2007, Novák a kol. 2003, Tlakinfo 2011)

- **Pracovní přetlak pp**

Pracovní přetlak pp je předepsaný či smluvený přetlak provozní tekutiny udávaný v MPa, který se má při provozu vodovodní sítě udržovat. Podle normy ČSN 75 5401 a vyhlášky 428/2001 Sb. nemá maximální pracovní přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě převyšovat 0,6 MPa, v některých případech 0,7 MPa. Na tyto přetlaky jsou dimenzovány všechny spotřební armatury. (Hasík 2009, Novák a kol. 2003)

- **Zkušební dovolený přetlak pp_{max}**

Zkušebním dovoleným přetlakem pp_{max} je největší hodnota pracovního přetlaku udávaný v MPa, při kterém lze provozovat součásti potrubí či armatury z daného materiálu včetně dlouhodobého provozování při určitých teplotách. (Novák a kol. 2003)

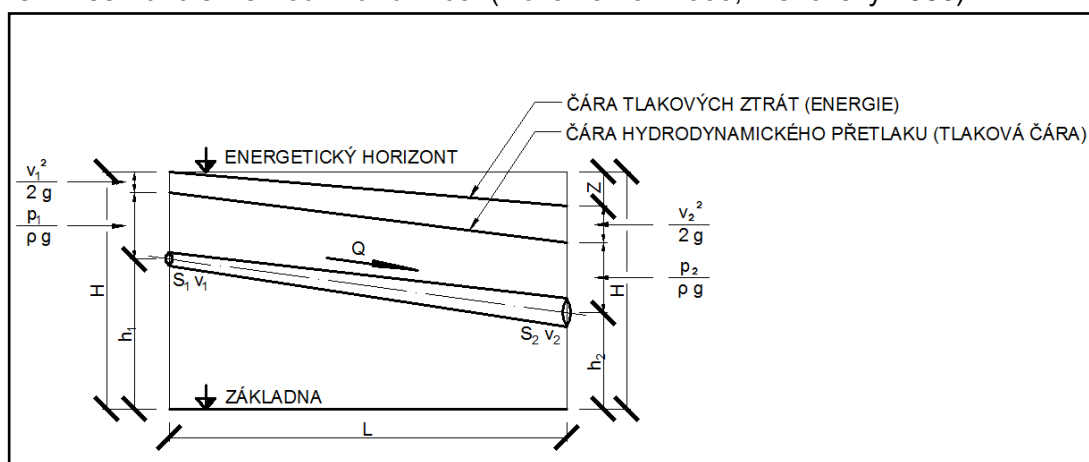
- **Zkušební přetlak pz**

Zkušební přetlak pz je přetlak zkušební tekutiny, který je závislý na zkušebním dovoleném přetlaku pp_{max}. Tento dovolený přetlak pp_{max} se pro šedou či tvárnou litinu nebo neželezné kovy násobí konstantou 1,5. Výsledným zkušebním přetlakem se zkouší neporušenost či těsnost potrubí, nebo armatur. V průběhu tlakové zkoušky musí být všechny spoje potrubí viditelné. Potrubí vyhovělo, pokud po dobu 15 minut nepoklesl zkušební přetlak o 0,02 MPa a pokud nebyl zaznamenán žádný viditelný únik vody. V ČSN 130010 jsou jmenovité tlaky a pracovní přetlaky uvedeny pro různé materiály v závislosti na PN, či největší pracovní přetlaky pp_{max} pro jednotlivé druhy materiálů. (Chejnovský 2007, Novák a kol. 2003, VaK Hodonín 2012)

5.5.2 Základní hydraulické vztahy pro výpočet potrubí

Vodovodní potrubí tvoří při realizaci hlavní nákladovou položku, proto je nutné věnovat náležitou pozornost při jejím hydraulickém výpočtu. Hlavní výpočtovou hodnotou je zjištění průtoku, návržení potřebného průměru potrubí a v neposlední řadě určení tlakových poměrů. Při menších rekonstrukcích vodovodního potrubí se zahrnují do výpočtů i drsnosti vnitřních stran potrubí, včetně prověření průtočnosti. (Višňovský 1980)

Průtok vody ve vodovodních sítích je **tlakový**, při samotném navrhování a posuzování dimenzování potrubí se vychází z předpokladu **ustáleného průtokového režimu**. Kdy při proudění vody potrubím vznikají tlakové ztráty, které jsou součtem tření kapaliny o stěny potrubí a místních odporů. Ustálený průtokový režim se řídí dle Bernoulliho rovnice. (Novák a kol. 2003, Višňovský 1980)



Obr. 5.8 - Ustálené tlakové proudění mezi profily (Novák a kol., 2003)

Vysvětlení značek použitých na obr. 5.8

Q	průtok potrubím	$(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
S	plocha průtokového průřezu potrubí	(m^2)
v	střední průtoková rychlost v průřezu	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
h_1, h_2	polohové výšky	(m)
ρ	hustota (měrná hmotnost)	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
g	tíhové zrychlení	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
Z	ztrátová výška třením včetně místních odporů v úseku L	(m)
p_1, p_2	tlak vody v daném průřezu	(Pa)
L	délka úseku	(m)

Při ustáleném průtokovém režimu se kromě Bernoulliho rovnice uplatňují i další základní rovnice hydrauliky.

- průtoková rovnice $Q = S \cdot v$

- rovnice kontinuity (spojitosti) $Q = S_1 * v_1 = S_2 * v_2 = konstanta$

Bernoulliho rovnice je vyjádřena zákonem o zachování energie.

$$H = h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z = konstanta$$

- přetlakové výšky (m) $\frac{p_1}{2g}, \frac{p_2}{2g}$
- rychlostní výšky (m) $\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$
- sklon hydrodynamického přetlaku (tlakové čáry) $I = \frac{Z}{L} * 1000[\text{‰}]$

Ve výpočtu rychlostní výšky je obvykle zanedbáno Coriolisovo číslo α . Při výpočtu včetně Coriolisova čísla se rychlostní výška vypočítá ze vztahu $\alpha v^2/2g$. Průtokové rychlosti vody v potrubí do 1,5 m/s lze považovat za hydraulicky vhodné, pokud se rychlost pohybuje okolo 1 m/s, lze úplně vynechat rychlostní výšku z Bernoulliho rovnice. Důvodem je zanedbatelná hodnota rychlostní výšky v porovnání k hodnotě tlakové výšky $p/\rho g$. V důsledku toho se čára tlakových ztrát (čára energie) ztotožní s čarou hydrodynamického přetlaku (tlakovou čarou). Sklon tohoto přetlaku (tlakové čáry) se udává nejčastěji v ‰. Tato veličina je důležitá jak pro určení tlakových dynamických poměrů v rozvodných sítích, tak i pro dimenzování vodovodního potrubí. (Grünwald 1998, Hasík a Dostálová 2002, Novák a kol. 2003)

5.3 Tlakové ztráty

Tlakové ztráty při průtoku vody potrubím jsou dvojího druhu, a to ztráty třením z_t a ztráty místní z_m . U dlouhých přivaděčů nebo zásobovacích sítí ztráty třením zpravidla mnohonásobně převažují nad místními ztrátami, tudíž v tomto případě lze místní ztráty zanedbávat. Naopak u kratších potrubí jako jsou sací, násoskové, výtlačné, apod. potrubí je nutné ve výpočtech počítat s místními ztrátami. (Tesařík, 1987, Višňovský 1980)

5.3.1 Ztráty třením z_t

Výzkum proudění vody v potrubí začal před více než 200 lety, kdy roku 1775 odvodil Chézy vzorec pro průřezovou rychlost, která platí jak pro otevřená koryta, tak i pro potrubí. (Hasík a Dostálová 2002, Višňovský 1980)

$$v = C\sqrt{R * i} \text{ (m/s)}$$

- C* rychlostní součinitel ($m^{0,5}/s$), který Chézy definoval pro tyto výpočty jako konstantu $50,6 m^{0,5}/s$
i sklon tlakové čáry
R hydraulický poloměr (m)

Pokud do výše uvedeného vzorce se dosadí za $i = z_t / L$ a pro kruhový profil hydraulický poloměr $R = D / 4$, lze sestavit vzorec pro výpočet ztráty třením dle Chézyho. (Višňovský 1980)

$$Z_t = \frac{4}{C^2} * \frac{L}{D} * v^2 = 0,00159 * \frac{L}{D} * v^2$$

- C* rychlostní součinitel ($m^{0,5}/s$)
L délka úseku (m)
D vnitřní průměr potrubí (m)
v střední průřezová rychlost (m/s)

V současnosti se ve výpočtech třecích ztrát uvažuje s bezrozměrným Reynoldsovým číslem Re . Dále se počítá s délkou, průtočným množstvím, rychlostí či absolutní drsností stěn potrubí, které je závislé na materiálu. Výpočet ztráty se zpravidla počítá podle **Darcyho – Weissbachovy** rovnice. (Hasík a Dostálová 2002, Novák a kol. 2003, Višňovský 1980, Tesařík 1987)

$$Z_t = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

- λ součinitel tření
d vnitřní průměr potrubí (m)
v střední průřezová rychlost (m/s)
L délka úseku (m)
g gravitační zrychlení (m/s^2)

Hodnota součinitele tření λ je závislá na režimu proudění v potrubí, které je výlučně turbulentní. Toto proudění zahrnuje jak hydraulicky hladkou, přechodnou, tak i kvadratickou oblast odporu. Všechny tyto činitele jsou důsledkem drsnosti vnitřního povrchu potrubí a použitého materiálu. Proto je vhodné při výpočtech součinitele tření λ používat vzorce pouze pro široký rozsah platnosti, tím se minimalizují chyby ve výsledných hodnotách. Univerzálním vzorcem pro celé oblasti proudění ve vodovodních potrubích se doporučuje vzorec **White – Colebrook**. (Novák a kol. 2003, Tesařík 1987)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,71} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

Reynoldsovo číslo Re se vypočítá

$$Re = \frac{v * d}{\nu}$$

- λ *součinitel tření*
- ν *kinematická viskozita (m²/s)*
- k *absolutní drsnost potrubí (m)*

Tab. 5.1 - Doporučené hodnoty absolutní drsnosti potrubí (Grünwald 1998)

Potrubí	Absolutní drsnost potrubí k
Plastové	0,01 – 0,05
Ocelové a litinové v dobrém stavu	1,0 – 1,5
Ocelové a litinové částečně inkrustované	3,0

5.3.2 Ztráty místní z_m

Místní ztráty jsou vyvolány místními odpory, především jako jsou náhlé lomy, zúžení či rozšíření potrubí a různé armatury, které vyvolávají nadměrnou turbulenci. Samotné místní ztráty ovlivňují výpočet pouze u tzv. hydraulicky krátkých potrubí, ve kterém se nachází velké množství tvarovek nebo armatur, kde platí (Chejnovský 2007, Tesařík 1987)

$$\frac{l}{d} \leq 1000$$

- l *délka potrubí (m)*
- d *světlost potrubí (m)*

U výpočtu hydraulicky dlouhých potrubí, kde platí podmínka $\frac{l}{d} > 1000$ lze místní ztráty vynechat, protože jejich hodnota je vůči třecím ztrátám zanedbatelná. Hodnoty místních ztrát se považují v praxi za nezávislé na průtoku potrubím a to včetně nezávislosti na Reynoldsově čísle. Při sériovém řazení místních odporů, ve kterých vznikají místní ztráty, se kvůli zjednodušení pouze sčítají. Pro výpočet místních ztrát se používá vzorec (Chejnovský 2007, Tesařík 1987)

$$Z_t = \xi * \frac{v^2}{2g}$$

- ξ *součinitel místní ztráty*
- v *střední průřezová rychlost (m/s)*
- g *gravitační zrychlení*

Hodnota součinitele místní ztráty je závislá na druhu a rozměru odporu, stanovuje se výpočtem podle změřených tlakových ztrát v daném odporu. Při návrhu

vodovodních sítí se nauvažuje o vyšších průřezových rychlostech, než je $v = 2$ m/s, proto je součinitel místní ztráty většinou menší než 1. (Novák a kol. 2003, Tesařík 1987, Zeiter 2010)

V praxi se často výpočet neprovádí podle výše uvedeného vzorce pro místní ztráty, ale určí se náhradní (ekvivalentní) délkou všech místních odporů. Je to taková délka potrubí při konstantním DN, na kterém vzniká při daném odporu stejně velká ztrátová výška. Tato náhradní délka se následně přičte k délce potrubí, ve kterém je započtena i třecí ztráta. Jedná se pouze o přibližný výsledek ztrátové výšky, z důvodu nedodržení závislost obou součinitelů místního odporu ξ tak i tření λ na Reynoldsově čísle. Ekvivalentní délka náhradního potrubí pro vnitřní průměr d se buď může odečíst z nomogramu, nebo se vypočte dle následujícího vztahu. (Tesařík 1985, Višňovský 1980)

$$L_e = \frac{\xi d}{\lambda}$$

ξ	<i>součinitel místní ztráty</i>
d	<i>světlost potrubí (m)</i>
λ	<i>součinitel tření</i>

6. MATERIÁLY A OBJEKTY NA VODOVODECH

6.1 Základní vlastnosti potrubí

Potrubí je zařízení, které umožňuje dopravu pitné či užitkové vody do příslušných spotřebišť. Základními parametry potrubí je jmenovitá světlost DN a jmenovitý tlak PN. Na materiál potrubí je kladen důraz, aby odolával mnohým faktorům, jako je vnitřní přetlak, koroze, opotřebení, odolnost proti únavovým lomům, zdravotní nezávadnost apod. Pro ohýbané potrubí nebo trubky vyrobené tažením za tepla či studena, musí být použito pouze dobře tvářitelného materiálu. Trubky (či trouby, což je též trubka, ale s větším profilem) se vyrábějí z **kovových nebo nekovových materiálů**. U nekovového nebo kovového nevodivě spojeného potrubí je nutné navrhnout kovový vodič pro budoucí zjištění polohy potrubí v zemi.

Dle normy ČSN 75 5401 se pro vodovodní potrubí volí především litina, plasty, sklolaminát a výjimečně ocel a to pouze v místech s nestabilním podložím, v dlouhých přivaděčích či u velkých průměrů trub. Spojení trub je buď hrdlové, svařované (jak u ocelových, tak i u plastových trubek), nebo přesuvným pásem. Spojení trub, včetně tvarovek a armatur musí být dokonale **vodotěsné** a odolné proti přetlakům kapaliny v potrubí. Dle ČSN 13 0010 má potrubí zvládat přetlaky do

1 MPa až 1,6 MPa při teplotě 20 °C. Tvarovky na vodovodním potrubí umožňují spojení potrubí, změnu průměru, směru vedení apod. Armatury jsou mechanismy pro ovládání a zajišťování provozu vodovodního řadu a jsou většinou z kovových materiálů (Hasík 2009, Neuwirth 1996, Pavlok 2011, Tuhovčák a kol. 2006)

- **Návrh světlosti potrubí**

Závisí na nejmenší možné dimenzi průměru rozváděcích řadů, kterým je DN 80 z důvodu požárního zabezpečení. Při návrhu světlosti potrubí se vychází ze vztahu pro průtok potrubím. Kde rychlost proudění „v“ se volí taková, aby vznikly co nejmenší možné tlakové ztráty.

Dalším faktorem je minimalizování celkových nákladů, kde menší průměr znamená nižší pořizovací cenu, hmotnost a nižší spotřebu potřebného materiálu při realizaci. Krom níže uvedeného postupu pro výpočet světlosti potrubí, existuje i další matematické metody pro svůj hospodárnější výsledek. (Hasík 2011, Pavlok 2011)

$$Q = S * v = \frac{\pi * d^2}{4} * v$$

z toho průměr potrubí

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Q	<i>průtok (m³/s)</i>
S	<i>průřezová plocha (m²)</i>
v	<i>průřezová rychlost (m/s)</i>
d	<i>světlost potrubí (m)</i>

Kromě světlosti potrubí se navrhuje i tloušťka stěny trubky. Vychází se z rozsahu pracovního tlaku v systému, kde je brán v úvahu i přídavek na opotřebení a korozi. (Pavlok 2011)

6.2 Materiály potrubí, ukládání a objekty na síti

Pro výstavbu vodovodních sítí se používá výhradně normalizované potrubí dané příslušnou normou. Musí být z takového materiálu, aby nedošlo ke zhoršení jakosti pitné vody. Samotná znalost a vhodnost materiálu pro dané vodovodní potrubí má vliv na eliminaci eventuelních poruch. Při posuzování materiálů pro výrobu potrubí, či pro použití ve vodovodním řadu se vychází z mnoha základních vlastností, které jsou ovlivněny:

- drsností vnitřní stěny potrubí ovlivňující hodnotu součinitele tření λ ,
- pevností použitého materiálu v závislosti na tloušťce stěn, což je důležité pro provozní namáhání uvnitř, tak i vně potrubí,
- minimalizováním pořizovacích a provozních nákladů,
- svojí snadnou pokládkou (minimalizování hmotnosti a pracnosti),
- snadnějším odhalením příčin a míst poruch,
- snadnější likvidací po konci životnosti. (Grünwald 1998, Zlámal 1977)

Tab. 5.1 - Trubní materiály pro vodovodní sítě. (Tuhovčák 2006)

KOVOVÉ TROUBY			NEKOVOVÉ TROUBY				
ocel	litina		plastické		sklolaminát	beton	další mat.
	šedá	tvárná	PE	PVC			

6.2.1 Kovové materiály

LITINA

Litina je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky, kdy obsah uhlíku je větší než 2,14 %. Právě kvůli vyššímu obsahu uhlíku oproti oceli, dostává litina své tradiční vlastnosti. Oproti oceli má tu výhodu, že má větší odolnost proti korozi, naopak nevýhodou je křehkost. Litina se dále rozděluje na šedou, nebo tvárnou (Tesařík 1987, Tuhovčák a kol. 2006)

- **šedá litina (ozn. LI, GG)**

Šedá litina má velmi dobrou korozní odolnost vůči vnějšímu prostředí. Dříve se vnitřky, tak i vnějšky těchto potrubí chránily ocelárenskými dehty nebo asfalty. Kvůli vyluhování fenolů (dehtů) se od roku 1990 nesmí používat pro vnitřní části potrubí. Tyto vnitřní části (výstelky) se dnes cementují nebo silikátují z důvodu snížení inkrustace a drsnosti. Kontakt vody s nechráněnou šedou litinou nemá žádný negativní vliv na kvalitu dodávané vody. Koroze litiny je způsobena kontaktem vody za přítomnosti kyslíku, kdy vzniká hydroxid železitý. Uhlík v elementární formě jako grafit, nebo vázaný na železo, korozi nepodléhá. Naopak s hydroxidem železa vytváří vrstvu, která zabraňuje před hloubkovou korozi. Jak uvádí BERÁNEK (2004), podíl šedé litiny na trubním materiálu vodovodů v ČR je udáván na 60 – 74 % v závislosti na velikosti DN. V současné době se ale šedá litina, která má životnost 60 – 90 let již nepoužívá a je nahrazována tvárnou litinou. (Beránek 2004, Tuhovčák 2007)

Výhody: odolnost proti korozi a otěru, schopnost tlumit chvění.

Nevýhody: menší pevnost, malá odolnost proti nárazům, nízká mez pružnosti (Tuhovčák 2007)



Obr. 6.1 - Trouba ze šedé litiny (URL 1)

- **tvárná litina (ozn. LT, GGG)**

Tvárná litina je nástupce šedé litiny, kde se grafit z makroskopického hlediska vyskytuje místo v lamelách ve shlucích kulovitého tvaru. Vykrytalizování grafitu do tohoto tvaru je příčinou přidání určitého množství hořčíku do základní litiny. To má za následek odstranění možných čar šíření lomu. Trouby z tvárné litiny lze považovat za polotuhé, což má příznivý vliv na mechanické chování při uložení trouby v zemi, tak i v místech s nestabilním podložím. Proto lze očekávat životnost přes i 100 let. Počet poruch na jednotku délky je až 4x nižší než u šedé litiny. To je jedním z důvodů, proč jsou ve větších městech nejvíce používaným materiálem. Z praktického hlediska jsou vhodné pro rozvodné nebo výtlačné řady s vysokými provozními tlaky. (Beránek 2004, Tuhovčák 2007)

Vnější ochrana tvárné litiny se opatřuje různými druhy ochrany, nejen proti korozi v půdách, tak i k zamezení vzniku bludných proudů. Nejčastější ochranou je žárové pozinkování s krycí bitumenovou vrstvou. Samotný zinkový povlak je velmi robustní, proto při skladování a pokládání trub nehrozí jeho poškození. Pro silně agresivní půdy se doporučují trouby opatřené polyetylenovým povlakem (PE).

Vnitřní ochrana tvárné litiny je nejčastěji ochráněna vysokopecní cementovou maltou (VPC), nebo hlinitanovým cementem (HC) pro velmi agresivní vody. Tyto vrstvy pak zajišťují nejenom ochranu před korozi, tak i dobré hydraulické podmínky v podobě velmi malé drsnosti. (Tuhovčák 2007, Královodvorské železářny 1997)



Obr. 6.2 - Trouby z tvárné litiny s cementovou výstelkou (URL 2)

Výhody oproti šedé litině: odolnost proti korozi, formovatelnost, odolnost proti otěru a nárazům, vyšší životnost, vysoká mez pružnosti. (Tuhovčák, 2007)

Výhody: jednoduchá montáž, dlouhá životnost, snadné opravy a vyhledávání úniků, nízké ztráty vody v m³/km/rok.

Nevýhody: větší počet spojů, přesné uložení (kvůli možným zlomům). (Kročová 2004, Ratnayaka 2009)

OCEL

Ocel je slitinou železa s dalšími prvky, které ale mají oproti litině menší zastoupení. Základní charakteristikou je, že obsah uhlíku nepřekračuje 2,14 %. Trouby vyrobené z oceli se používají v oblastech vysokého zatížení a provozního tlaku. Které musí být ochráněny proti korozi cementovou nebo PE výstelkou či aktivní katodovou ochranou. V současné době ustupuje ocel jiným materiálům, v případě malých průměrů je i cenově nevýhodná. (Tuhovčák 2007, Ratnayaka 2009)

Výhody: vysoká pevnost, pružnost, houževnatost a odolnost proti únavě, dostupnost v délkách až do 13,5 m, odolnost vůči vodním rázům, vhodné pro DN 600 a výše.

Nevýhody: náchylnost ke korozi, přesné svařování spojů, nutnost vnější i vnitřní ochrany, nižší životnost (25 – 40 let), větší počet poruch při poruše ochranné vrstvy, vyšší ztráty vody m³/km/rok. (Beránek 2004, Kročová 2006)



Obr. 6.3 - Ocelové potrubí (URL 3)

6.2.2 Nekovové materiály

PLASTICKÉ HMOTY

Plasty jsou synteticky vyráběné organické látky, které vznikají spojováním molekul na makromolekuly. Základem je uhlík a vodík s dalšími prvky, jako je chlor, fluor, síra a kyslík. Plastické hmoty se rozdělují na tři základní skupiny a to na **termoplasty, termosety a elastomery**.

Výhodou plastických hmot je všeobecně malá provozní drsnost, několikanásobně nižší hmotnost oproti kovovým materiálům (litina, ocel). Uplatnění plastických hmot je v oblasti malých profilů do maximálního průměru DN 500 v rozvodných sítích a ve stabilním podloží. **Termoplasty** jsou nejpočetnější skupinou plastů pro výrobu vodovodního potrubí.

- **PVC** - polyvinylchlorid
- **PE** - polyetylen
- **PP** - polypropylen

Životnost těchto potrubí je výrobcí udávaná na 50 a více let. Je ale nutné počítat s faktem, že plasty jsou téměř akusticky nevodivé, proto jsou menší skryté poruchy velmi obtížně lokalizovatelné. (Hasík 2007, Chejnovský 2007, Kročová 2006, Tuhovčák 2007)

- **PVC (polyvinylchlorid)**

PVC trubky jsou vyráběny z polyvinylchloridu bez změkčovadel, buďto jako tvrdé PVC nebo neměkčené PVC, PVC-U. Dodávají se ve standardní délce 6 m s vnitřním průměrem od DN 80 do DN 500. Všechny rozměry a technické parametry se řídí dle ČSN EN 1452. Životnost tohoto potrubí je určena na 100 let při tlaku 0,7 MPa. V reálném prostředí je prozatím zjištěna nejdelší životnost 70 let. (Chejnovský, 2007, Kročová 2006)

Spojování trub se provádí pomocí **nástrčných hrdel** opatřenými těsnícím kroužkem z elastomeru. Samotná konstrukce tohoto hrdla umožňuje trubce volně dilatovat při změnách teploty. Umožňují dopravu vody a dalších neagresivních médií o trvalé teplotě max. 20°C a tlacích 1,0 – 1,6 MPa (10 – 16 Bar). Jsou odolné proti běžným složkám obsažených v půdě, včetně umělých hnojiv. Nasákavost plastů je zanedbatelná, proto nemůže dojít k nabobtnání, změně rozměrů nebo k poškození stěn vlivem zmrznutí vsáklé vody. (Breen 2006, Tuhovčák 2007)



Obr. 6.4 - Potrubí z PVC (URL 4)

Výhody: malá provozní drsnost, minimální inkrustace, ohebnost, nízká hmotnost, hygienická nezávadnost, chemická odolnost (kromě ropných produktů), korozivzdornost, snadno se řežou, minimální poruchovost, nízké ztráty vody, jednoduchá montáž.

Nevýhody: malá pevnost v tahu a odolnost proti mechanickému namáhání, malá tepelná odolnost, velká tepelná roztažnost (až 15x větší než kovy), při působení UV záření se snižuje pevnost, obtížné vyhledání trasy potrubí při poruše měděného vodiče. (Chejnovský 2007, Kročová 2006)

- **PE (polyetylén)**

Pro venkovní vodovody se používají pouze 2 druhy polyetylenových trub. Prvním je (lineární) vysokohustotní polyetylén (s označením jako **IPE**, PEHD, HDPE). Nebo (rozvětvený) nízkohustotní polyetylén (s označením **rPE**, LDPE). Barva těchto trub je černá s modrými pruhy nebo kompletně modrá. Vyrábějí se v délkách 6 a 12 metrů, nebo do průměru 110 mm jako svitek o délce až 500 m. Všechny rozměry a technické parametry se řídí dle ČSN EN 12 201.

Vysoká pružnost polyetylenových trubek ve svitcích je vhodná nejen pro vtahování do země, tak i pro bezvýkopové sanace stávajícího potrubí nebo pro uložení do chrániček. Pro svoji flexibilitu, malou hmotnost a odolnost vůči korozi jsou vhodné pro rozvodné řady. (Beránek 2004, Chejnovský 2007)

Tyto trubky jsou určeny pro dopravu vody o maximální teplotě 20 °C, je ale možné dopravovat vodu s vyšší teplotou, ale na úkor životnosti. PE potrubí vykazuje oproti PVC výrazně nižší křehnutí až do teploty -20°C, kdy ke křehnutí vůbec nedochází.

Spojování polyetylenových trubek je možno provádět několika způsoby a to buď **svařováním**, nebo **mechanickými spojkami**. Svařování je možné provést natupo, polyfúzně nebo za pomoci elektrotvarovek. Nelze ale svařovat polyetylen (PE) s polypropylénem (PP), lineární polyetylen (IPE) s rozvětveným polyetylénem (rPE). U mechanického spojování se využívá rozebíratelných nebo nerozebíratelných spojek. (Kročová 2006, Tuhovčák 2007)



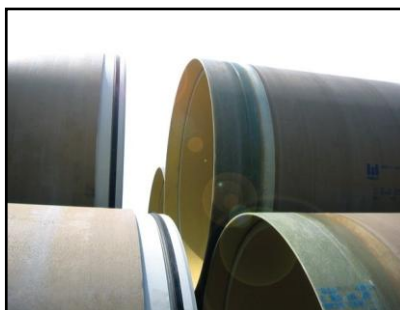
Obr. 6.5 - polyetylénové potrubí (URL 5)

Výhody: pružnější než PVC, minimální poruchovost, jednoduchá montáž potrubí, dlouhá životnost, nízké ztráty vody.

Nevýhody: nevhodné do silně kontaminovaných zemin, nutný kvalitní obsyp potrubí, obtížné vyhledávání skrytých poruch (při nesplnění systémového monitoringu a umisťování armatur v trase), ovalita potrubí uložená ve svitku, obtížné vyhledání trasy potrubí při poruše měděného vodiče. (Hessel 2007, Kročová 2006)

SKLOLAMINÁT

Sklolaminát (ozn. GRP) je složen z polyesterových pryskyřic, křemičitého písku a skelných vláken. Jejich největší výhodou je tepelná stálost od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy neměknou. Jsou vhodné do silně korozivního prostředí s malým množstvím směrových změn. Hlavní využití je převážně v dlouhých zásobních a přiváděcích řadech od průměru DN 400. Výrobci těchto trub udávají životnost přes 100 let, prozatím nejstarší vodovod z tohoto materiálu je provozován 30 let. Spojování těchto trub se provádí pomocí speciálních nasuvných spojek s pryžovým těsněním. Výroba těchto trub se provádí dvěma způsoby, buď navíjením, nebo odstředivým litím. (Beránek 2004, Tuhovčák 2007, VHOS 2013)



Obr. 6.6 - Násuvná spojka sklolaminátového potrubí (URL 6)

Výhody: korozivzdornost, trvanlivost, lehká manipulovatelnost, pevnost, rezistentnost proti UV záření.

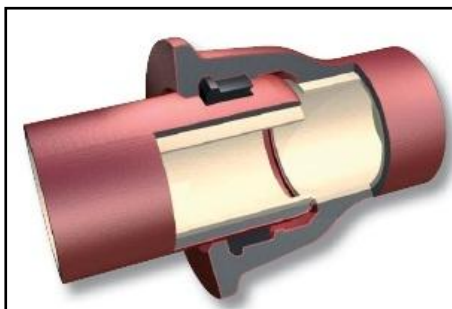
Nevýhody: citlivost na porušení trub, technologie spojování, dostupnost tvarovek - v případě použití Hobas trub musí být použito Hobas tvarovek. (Beránek 2004, Nezbedová a Vinarský 2008)

6.2.3 Další materiály

V malém zastoupení ve vodovodních sítích jsou zastoupeny materiály ze skla, čediče, betonu či azbestocementu. **Azbestocementové** potrubí se v současné době nenavrhuje a nevyrábí z důvodu azbestu. Který se uvolňuje v mikrovláknech a má karcinogenní účinky na lidské zdraví. **Betonové potrubí** se také už nedoporučuje pro výstavbu vodovodů. Hlavními nevýhodami je velká hmotnost, slabá schopnost spojů snášet pohyby půdy, časté poruchy a ztráty. Výhodou je pevnost a odolnost proti namáhání. (Tesařík a kol. 1987, Tuhovčák a kol. 2006)

6.2.4 Trubní spoje

Vodovodní potrubí uložené v podzemí se spojuje převážně hrdly, v malé míře přírubami. Hlavní využití přírub je výhradně uvnitř vodárenských objektů. Pokud jsou použity přírubové spoje, je nutné je spojit nekorodujícími šrouby a maticemi.



Obr. 6.7 - Hrdlový spoj (URL 7)



Obr. 6.8 - Přírubový spoj (URL 8)

Trouby z **tvárné litiny** se nejčastěji spojují hrdly, kde těsnění pak zajišťuje elastický kroužek. V případě použití příruby je těsnost zajištěna pomocí plochého těsnění. **Ocelové** potrubí je nejčastěji svařované, kde výsledný svar musí být opatřen kvalitní protikorozní ochranou. **Sklolaminátové** potrubí se spojuje pomocí násuvných spojek, hrdlovými spoji nebo lepením. Potrubí z **PE (polyetylenu)** se buď polyfúzně svažuje na tupo pomocí CNC svářečky. Nebo se používají elektrotvarovky, kde vzniklé svary vykazují velmi vysokou kvalitu. **PVC** potrubí se spojuje pomocí hrdel. (Beránek 2004, Stephenson 1989, Tuhovčák a kol. 2006)



Obr. 6.9 - Svařování elektrotvarovky (URL 9)

6.2.5 Armatury na vodovodní síti

Armatury jsou zařízení, které ve vodovodních sítích umožňují bezporuchový provoz, ovládání, řízení, odběry vody, čištění a opravy potrubí. Rozdělují se podle funkce a účelu na tři základní skupiny:

- uzavírací** -šoupátka, ventily, klapky a plovákové uzávěry,
- odběrné** -hydranty, vzdušníky, kalosvody a výtokové stojany,
- ostatní** -redukční ventily, kompenzátory, průtokoměry (vodoměry).

- **Uzavírací armatury**

Šoupátka jsou regulační armatury, které umožňují regulovat průtok vody, nebo zcela uzavřít. Na dlouhých příváděcích řadech se umísťují v maximálním rozestupu 500 m. Na rozvětvených rozvodných řadech se navrhuje tak, aby bylo možné uzavřít každý úsek s poruchou. Minimální počet šoupátek v daném uzlu se pak vypočte ze vztahu $n-1$, kde n je počet větví v uzlu

Ovládání šoupěte je buďto ruční nebo v případě větších potrubí než DN 600 elektropohonem. Samotné ovládání je většinou v zemní zákopové soustavě, která je vyvedena až na povrch pomocí teleskopické ovládací tyče. Tato soustava je pak chráněna kulatým šoupátkovým poklopem. Šoupátka se osazují odbočky z řadu vedoucí k hydrantům, vzdušníkům nebo kalosvodům.. (Chejnovský 2007)



Obr. 6.10 - Šoupátko (URL 10)

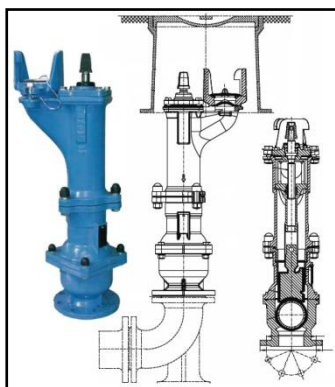


Obr. 6.11 - Zpětná klapka (URL 11)

Klapky jsou jednoduché uzavírací armatury, které se podle funkce dělí na zpětné, koncové (žabí), uzavírací (motýlkové). Zpětné klapky jsou neregulovatelné armatury, které zabraňují zpětnému směru toku vody ve výtlačném potrubí čerpadel apod. (Chejnovský 2007)

- **Odběrné armatury**

Hydranty jsou odběrné armatury sloužící k odběru vody z rozvodné sítě pro požární účely, údržbu zpevněných ploch, ke kropení zeleně a hlavně plní i funkci kalosvodů a vzdušníků. Osazují se na krátkých odbočkách z vodovodního řadu. Podle umístění se rozdělují na hydranty podzemní a nadzemní. (Chejnovský 2007)



Obr. 6.12 - Podzemní hydrant (URL 12)



Obr. 6.13 - Nadzemní hydrant (URL 13)

Odvzdušňovací a zavzdušňovací armatury se vkládají do vodovodních řadů z mnoha důvodů. Během provozu se do vodovodních sítí dostává vzduch, který se akumuluje v nejvyšších místech potrubí. Tento vzduch způsobuje provozní potíže, zejména snížení průtoku, změnu tlaku vody, hydraulické rázy a následné škody. Naopak při náhlém uzavření potrubí na dlouhých gravitačních a příváděcích řadech nebo při vypouštění vzniká podtlak. Kvůli kterému nedojde k úplnému vypuštění vodovodního potrubí. Proto se na vhodných místech ve vrcholových lomech vodovodních řadů vkládají odvzdušňovací a zavzdušňovací armatury. (Chejnovský 2007)

Kalosvody se osazují v nejnižších místech potrubí a slouží k odpuštění nahromaděných sedimentů (písku, kalu, inkrustů a korozních produktů). Samotný kalosvod může být i požární hydrant, nebo pouze boční odbočka se šoupátkovou armaturou.

- **Ostatní armatury**

Redukční ventily jsou speciální armatury, které se využívají ke snižování tlaku v potrubí. Používají se na gravitačních přívodních řadech, či v rozvodných

sítích na rozhraní jednotlivých tlakových pásem. Nejjednodušším řešením je pružinový redukční ventil.

Vodoměry slouží k měření množství odebrané, proteklé, dodané nebo čerpané vody. Samotné měření se řídí dle zákona č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve znění zákona č. 119/2000 Sb. Rozdělují se na pracovní měřidla stanovená a nestanovená. (Chejnovský 2007)

Pracovní měřidla stanovená podléhají pravidelnému ověřování a kalibraci. Z důvodu účtování plateb za množství proteklé vody. Do této skupiny patří klasické domovní vodoměry včetně vodoměrů, které jsou určeny pro měření množství předané nebo převzaté a odebírané vody z podzemních a povrchových zdrojů. Současná maximální doba pro ověření vodoměru je 6 let pro studenou vodu. (Chejnovský 2007)

Pracovní měřidla nestanovená jsou všechna ostatní měřidla, která slouží pouze u provozovatelů nebo vlastníků vodovodů. Jedná se o vodoměry v úpravnách vody, čerpacích stanicích, vodojemech nebo sekční v rozvodných sítích. Slouží hlavně k řízení provozu a k indikaci poruch a úniků vody. (Chejnovský 2007)



Obr. 6.14 - Redukční ventil (URL 14)



Obr. 6.15 - Vodoměr (URL 15)

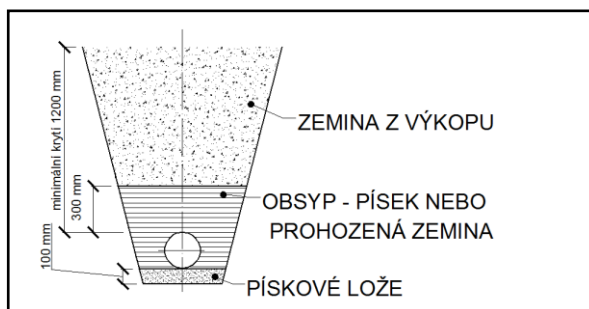
6.2.8 Uložení vodovodního potrubí

Ukládání potrubí vodovodu se řídí dle ČSN 75 5401 nebo vyhláškou č. 428/2001 Sb. Podélné sklony nivelety dna potrubí se řídí v závislosti na DN (od 0,5‰ do 3‰). Základem pro **zemní uložení** vodovodního potrubí je upravené dno výkopu zemní rýhy. Následuje 10 cm vrstva písku, na kterou se položí potrubí. Obsyp položeného potrubí by měl být do výšky 0,3 m nad vrchol potrubí. Provádí se z vytríděné zeminy nebo opět písku, pokud se pokládá potrubí z PVC nebo PE. K celkovému zásypu se použije vytěžená zemina, která se v chodnicích a vozovkách musí ztuhnout.

Minimální hloubka uložení potrubí je závislá na nezámrazné hloubce. Pro profily menší než DN 400 se doporučuje v hlinitých zeminách **krytí 1,2 m**,

v písčitých zeminách 1,4 m. V intravilánu má být krytí maximálně 2 m, naopak v extravilánu nemá být větší než 1 m oproti doporučenému krytí.

Vodovodní potrubí se při křížení s kanalizacemi pokládá výše než stoka. V případě použití kovového potrubí je nutné ho nepokládat do ochranného pásma dráhy z důvodu bludných proudů. (Čermák a kol. 1991, Hasík 2007)



Obr. 6.16 - Uložení potrubí (Hasík 2007)

6.2.9 Objekty na vodovodních řadech

Vodovodní řady a rozvodné sítě vodovodů se vybavují různými objekty, které umožňují vlastní bezporuchový provoz, kontrolu a údržbu nebo křížení s překážkami. Mezi základní objekty patří:

- **čerpací stanice**
- **vodojemy**
- **vodovodní přípojky**
- **armaturní šachty**
- **podchody a nadchody.** (Chejnovský 2007, Nováček 2011)

Čerpací stanice se využívají pro přepravu vody do vyšších míst (např. vodojemu). Jsou to samostatné objekty na vodovodní síti nebo součást jiných objektů (jímacího objektu, úpravný vody). (Beránek 2004)

Vodojem slouží pro krátkodobou akumulaci upravené vody. Z konstrukčního hlediska se rozdělují na vodojemy zemní a věžové. Zemní vodojemy se budují pod terénem nebo na terénu, z důvodu tepelné izolační schopnosti zeminy. Naopak věžové vodojemy jsou náročné na ekonomiku provozu a jsou výrazným estetickým prvkem v krajině. (Grünwald 1998)



Obr. 6.17 Věžové vodojemy (URL 16)



Obr. 6.18 Zemní vodojem (URL 17)

Vodovodní přípojka je definována jako samostatná stavba tvořená úsekem potrubí od odbočení z vodovodního řádu k vodoměru. V případě absence vodoměru je to úsek odbočení z řádu k vnitřnímu uzávěru připojené nemovitosti. Pro jednoho odběratele se navrhuje pouze jedna vodovodní přípojka. Samotné dimenzování přípojky se provádí dle zásad navrhování vnitřních vodovodů, včetně protipožárního zabezpečení připojené nemovitosti. (Chejnovský 2007)

Armaturní šachty se navrhují pro zařízení (vodoměry, redukční ventily apod.), která nejsou vhodná pro uložení do země. Zakládají se v exponovaných a významných uzlech na vodovodních sítích. Tyto objekty by měly být situovány mimo komunikace a zpevněné plochy, kde jsou označeny příslušnou tabulkou. Každou šachtu je nutné odvodnit. Z toho důvodu se odvodnění provádí buď gravitačně, nebo čerpáním. (Nováček 2011)



Obr. 6.19 - Vodoměrná šachta (URL 18)

Podchody a nadchody jsou navrhovány pro převedení vodovodního potrubí přes dráhu, pozemní komunikaci nebo vodní tok. Při volbě podchodu by měli být nejdříve preferovány stávající propustky, podjezdy a mostní otvory. Pokud nelze jinak, tak pro překonání dráhy nebo pozemní komunikace se využije bezvýkopové technologie s uložením do chráničky. Při křížení vodovodu s vodním tokem se provádí buď po mostě, kde se vodovodní potrubí musí izolovat, nebo pomocí shybky. (Chejnovský 2007)

7. ZTRÁTY VODY

7.1 Ztráty vody obecně

Každý vlastník, nebo provozovatel výroby a distribuce vody sleduje a vyhodnocuje hospodaření s vodou. Výsledná data jsou vyžadována odběrateli a zástupci obcí, kde je obec většinou vlastníkem distribuční sítě. Vykazování ztráty vody se tradičně udává v procentuelních hodnotách vůči celkovému množství dodané vody (ztráty vody v % z vody k realizaci). V poslední době se užívají i tzv. jednotkové úniky, které nejsou zatím všeobecně a celostátně vžity.

Provozovatelé jsou často vyzýváni, aby se držely pravidel mezinárodní organizace IWA. Kde jsou definována kritéria pro vykazování ztrát vody. Tímto lze srovnávat větší počet provozovatelů a regionů mezi sebou. Cena vody a lidské práce je dnes na tak vysoké úrovni, že se vyplatí investovat do moderních technologií, které pomáhají snižovat ztráty vody. Tím ale nastává jakýsi paradox, kdy snížením ztrát a spotřeby vody vzrůstá množství nefakturované vody. (Kročová 2006, Novák a kol. 2003, Synáčková 2006)

7.1.1 Terminologie

Existuje řada pojmů jak ve výrobě, distribuci tak i ve fakturaci, které mají svůj přesný význam. Stává se, že dojde k porovnávání výsledků tuzemských a zahraničních provozovatelů vodovodních sítí, kde se srovnávají nesrovnatelné výsledky. Například do ztrát vody se většinou v České republice nezahrnuje voda dodaná zdarma (není vyfakturovaná), naopak v západních zemích se do ztrát započítávají všechny nefakturované vody. Proto je důležité uvést přesný význam pojmů: (Novák a kol. 2003)

VS Voda surová je objem vody odebraný ze zdroje (podzemní vrt, řeka, apod.), který je následně přiveden do úpravny vody.

VT Voda technologická je objem vody, který je spotřebován v procesu výroby pitné vody (praní filtrů, odkalování čičičů apod.). Obvykle se toto množství vody pohybuje v rozmezí 2,5 – 5 % VS.

$$VT = VV - VS$$

VV Voda vyrobená je objem vody, který je upraven na vodu pitnou a je dodán do distribuční sítě vodovodu.

$$VV = VS - VT$$

$V_{přev}$ Voda převzatá je objem vody nakoupený od jiného provozovatele (vlastníka) distribuční sítě vodovodů.

$V_{před}$ Voda předaná je objem vody prodaný k jinému vlastníkovi (provozovateli) distribuční sítě vodovodu.

VR Voda k realizaci je objem vody určené k dodání odběratelům z distribuční sítě vodovodu. Voda k realizaci se dále rozděluje na vodu fakturovanou (VF) a nefakturovanou (VNF).

$$VR = VV + V_{přev} - V_{před} \quad \text{nebo} \quad VR = VF + VNF$$

VF Voda fakturovaná je objem vody vyfakturované všem odběratelům za dané období. Samotný objem je odečten z vodoměrů v kombinaci s paušálem na základně počtu obyvatel připojených na přípojku.

VNF Voda nefakturovaná je veškerá voda, která byla do distribuční sítě vodovodu dodána, ale nebyla finančně zhodnocena. Tudíž jde především o ztráty ekonomického pohledu. Jedná se o nejsledovanější položku v hospodaření s vodou, kterou lze rozdělit do tří základních částí: *ostatní voda nefakturovaná, vlastní potřeba, ztráty vody*.

$$VNF = VR - VF$$

$$VNF = OVNF + VP + ReF + (SkÚ + Hav)$$

- **OVNF - ostatní voda nefakturovaná (1 % VNF)**

Jedná se tzv. vodu „zdarma“ určenou pro komunální potřebu (kropení parků, silnic, apod.) a požární účely.

- **VP - vlastní potřeba (2 – 5 % VNF)**

Jedná se o vodu potřebnou na proplachy a odkalování vodovodních sítí a vodojemů, nebo určenou pro laboratoře a vlastní kanceláře.

- **Ztráty vody**

- **ReF - rezerva ve fakturaci (1 – 2 % VNF)**

Tato rezerva zahrnuje černé odběry (nelegální přípojky, krádeže vody z hydrantů, neplatiče) a nepřesnosti měřidel, které jsou většinou předimenzované. Nepřesné měření lze snížit periodickým cejchováním měřidel, nebo jejich výměnou.

- **Ú - úniky (90 – 95 % VNF)**

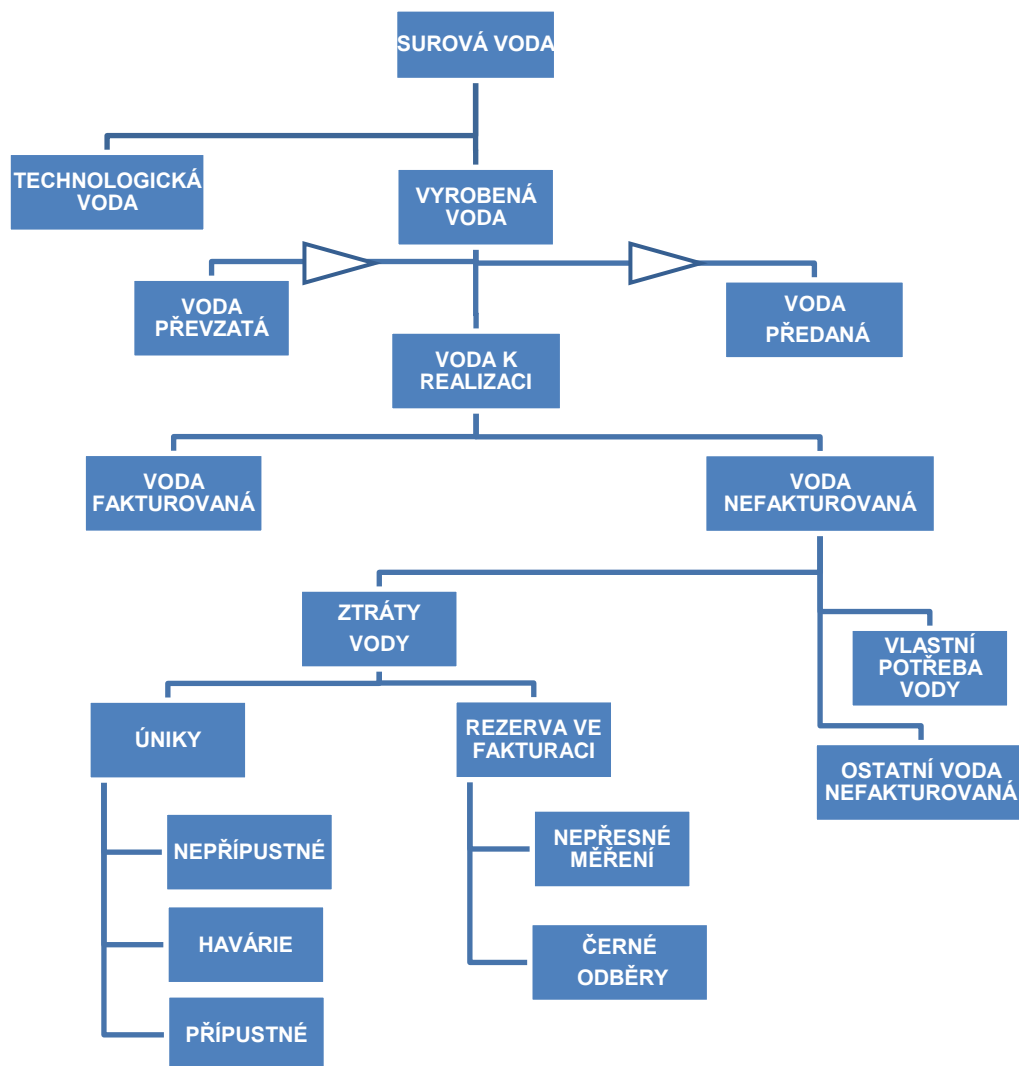
Úniky se rozdělují na dvě základní složky a to na **skryté úniky (SkÚ = 98,5 % Ú)** a **havárie (Hav= 1,5 % Ú)**. Samotné skryté úniky lze

ještě rozdělit na přípustné (**SkÚp**) a nepřípustné (**SkÚn**). Přípustné úniky dosahují takového objemu vody, který z ekonomického hlediska není nutné vyhledávat nebo opravovat. Naopak nepřípustné ztráty překračují svým objemem hranici přijatelného množství. Proto se jimi vlastníci či provozovatelé vodovodních sítí intenzivně zabývají. (Anderlová 2013, Milersky 2009, Novák a kol 2003, Synáčková 2006)

$$\dot{U} = Sk\dot{U} + Hav$$

JÚ **jednotkový únik** – objem nefakturované vody unikající z jednoho kilometru přepočítané délky vodovodní sítě na profil DN 150 za jednotku času. (Čiháková a Radkovská 2005)

7.1.2 Schéma hospodaření s vodou



Obr. 7.1 - Schéma hospodaření s vodou (Čiháková 2005)

7.2 Kritéria ztrát

V podmínkách vodárenství je vhodné pro vyhodnocování ztrát vody používat několik kritérií. Které napomáhají ke sledování vnitřního vývoje vodárenské společnosti s možností porovnání vodárenských společností mezi sebou. Tato kritéria jsou pro svůj minimální počet dat a chyb jednoznačně stanovitelná. Některé kritéria jsou již několik let sledována a mají svojí historickou řadu měření. Je ale nutné počítat s některými omezeními a brát je v úvahu. Základním předpokladem je vhodnost použití daného kritéria vzhledem k části distribučního systému. Základním kritériem zůstávají **procenta vody nefakturované % VNF**, v případě získání přesnějších údajů se používá **jednotkových úniků JÚ**. (Čiháková a Radkovská 2005, Farkey a Trow 2003, Veselá 2008)

7.2.1 Měrné ztráty

Měrné ztráty patří mezi nově zavedené kritérium ztrát u sítí, kde není známa skladba profilů. Pro výpočet měrných ztrát (MZ) je nutné zjistit ztráty (Z). Do těchto ztrát se nezapočítává „ostatní voda nefakturovaná“ ani „vlastní potřeba vody“. Dalším parametrem je skutečná délka vodovodní sítě včetně přípojek (L_{skut}). Měrné ztráty lze udávat za den nebo rok. (Anderlová 2013, Čiháková a Radkovská 2005, Milerski 2009)

$$MZ = \frac{Z}{L_{skut}} \left[\frac{m^3}{km * den} \right]$$

MZ měrná ztráta
 Z ztráty
 L_{skut} skutečná délka sítě včetně přípojek

7.2.2 Specifické množství vody nefakturované

Používá se pro zjištění průměrného množství VNF přepočteného na jednoho obyvatele. (Anderlová 2013)

$$SPVNF = \frac{VNF}{PO} \left[\frac{l}{os * den} \right]$$

$SPVNF$ specifické množství vody nefakturované
 VNF voda nefakturovaná
 PO počet obyvatel

7.2.3 Procento vody nefakturované

Jedná se o základní a kdysi jedno z nejpoužívanějších kritérií ve výpočtech ztrát. V případě výrazné změny VR a VF je výsledek % VNF ovlivněn právě těmito

faktory, aniž by byl změněn stav vodovodní sítě. Naopak v případě dlouhodobého sledování vývoje VR a VF, nebo pokud se tyto hodnoty dlouhodobě nemění, lze výsledek % VNF považovat za vyhovující. Mezi největší přednosti tohoto výpočtu patří dostupnost údajů, jako je VR a VF. Výhodou je jednoduché stanovení a nezávislost na objemu vody pro **vlastní potřebu (proplachy sítě apod.)**, někteří provozovatelé tento objem započítávají do % VNF. Tímto vzniká nevýhoda ve srovnání různých vodohospodářských společností, které % VNF vyhodnocují.

Mezní hodnotou se v České republice považuje VNF do 20 % v husté zástavbě, v řídké zástavbě by měla být ještě nižší. (Anderlová 2013, Farkey a Trow 2003, Veselá 2008)

$$\%VNF = \frac{VR-VF}{VR} * 100 [\%]$$

$$\%VNF = \frac{VNF}{VR} * 100 [\%]$$

VR voda k realizaci
 VF voda fakturovaná
 VNF voda nefakturovaná

7.2.4 Jednotkový únik

Je přesnějším kritériem než % VNF, do kterého vstupuje kromě ztrát i technický stav vodovodní sítě. Umožňuje vzájemné porovnání provozovatelů s různou skladbou sítě. Především je nutné přepočítat délky vodovodní sítě na jednotný omočený profil DN 150. V důsledku stálého poklesu spotřeby vody se i dimenzování potrubí stále snižuje, proto je možné provést přepočet na omočený obvod DN 100. (Veselá 2008)

PDVS přepočtená délka vodovodní sítě – je skutečná délka vodovodní sítě s různými profily (DN), přepočtená na jednotný omočený profil DN 150 eventuelně na DN 100.

Tab. 7.1 - Koeficienty pro přepočtenou délku vodovodní sítě (Novák a kol. 2003)

DN	koeficient	DN	koeficient	DN	koeficient
60	0,4	250	1,67	600	4
80	0,53	300	2	650	4,33
100	0,67	350	2,33	700	4,67
125	0,83	400	2,67	800	5,33
150	1	450	3	900	6
200	1,33	500	3,33	1000	6,67
225	1,5	550	3,67	počet přípojek * 10m	0,2

$$L_{přep} = \sum_{n=1}^i L_{skut,n} * k_{p,n}$$

$L_{přep}$ přepočtená délka sítě
 L_{skut} skutečná délka sítě
 k_p přepočtový koeficient

Výhodou jednotkového úniku je zohlednění velikosti profilů potrubí, množství tvarovek a armatur, kde tyto faktory ovlivňují velikosti úniků. Nevýhodou je nutnost znát všechny profily a jejich délky. (Veselá 2008)

$$JÚ = \frac{VNF}{L_{přep}} \left[\frac{tis * m^3}{km * rok} \right]$$

$JÚ$ jednotkový únik
 VNF voda nefakturovaná
 $L_{přep}$ přepočtená délka profilu

V rozvodné síti v městské zástavbě je přípustná hodnota **2,6** tis.m³.km⁻¹.rok⁻¹. Pro vlastní potřebu je orientačně dáno **0,6** tis.m³.km⁻¹.rok⁻¹. Celkově je pro rozvodnou síť v městské zástavbě stanovena minimální hranice jednotkového úniku včetně vlastní potřeby na hodnotu **3,2** tis.m³.km⁻¹.rok⁻¹. (Čiháková a Radkovská 2005, Veselá 2008)

Tab. 7.2 - Vyhodnocení stavu sítě podle JÚ (Čiháková a Radkovská 2005)

Stav sítě	Do 20 tis. obyvatel	Nad 20 tis. Obyvatel
Dobrý	< 2	< 3
Vyhovující	2 – 4	3 - 6
Nevyhovující	> 4	> 6

7.2.5 Ztráty vody na 1 km přepočtené délky vodovodního řadu

Toto kritérium se přepočítává ze ztrát a přepočtené délky řadu na DN 150. Oproti výpočtu pomocí jednotkového úniku JÚ jde o přesnější údaje o množství uniklé vody. Sledováním vývoje a jeho trendu vzniká přibližný odhad budoucích ztrát, proto je vhodné toto kritérium používat v rámci jednoho provozu. (Milerski 2009, Veselá 2005)

$$Z = VNF - VP - OVNF$$

VNF voda nefakturovaná
 VP vlastní potřeba
 $OVNF$ ostatní voda nefakturovaná

$$ztráty = \frac{Z}{L_{přep}} \left[\frac{m^3}{km * den} \right]$$

Z ztráty
L přepočtená délka profilu

7.2.6 Ztráty na přípojku

Je vhodný v regionech, kde není přehled o distribuční síti, ale je znám počet přípojek, kterých je přibližně stejně jako odběratelů. Tyto ztráty lze udávat za den nebo za rok. (Anderlová 2013, Milerski 2009)

$$ZP = \frac{Z}{P} \left[\frac{m^3}{ks * den} \right]$$

ZP ztráty na přípojku
Z ztráty
P počet přípojek

7.2.7 Tekoucí havárie – počet poruch na jednotku délky sítě

Toto kritérium je ukazatelem ztrát a technického stavu sítě, který dokumentuje předchozí péči o vodovodní síť. Výsledek tekoucích havárií je spolu s objemem ztrát významným údajem pro možnou rekonstrukci dané sítě.

Do tohoto parametru se započítávají pouze tekoucí havárie, nikoliv nefunkční armatury. (Milerski 2009, Synáčková 2006, Veselá 2008)

$$TH = \frac{H}{L_{skut}} \left[\frac{ks}{km * den} \right]$$

TH tekoucí havárie
H počet havárií
L_{skut} skutečná délka sítě

Tab. 7.3 - Stav sítě v závislosti na počtu havárií (Čiháková a Radkovská 2005)

Stav sítě	Počet poruch*km ⁻¹ *rok ⁻¹
Dobrý	0 - 1
Zhoršený	1 - 2
Nevyhovující	2 a více

7.2.8 Minimální (noční) průtok

Znalost minimálního průtoku na km umožňuje rychlou reakci k odstranění poruchy při nárůstu úniku. Mezi výhody patří průběžné sledování daného úseku a

nezávislost na fakturaci. Naopak nevýhodou je nutná znalost skladby sítě a nočních odběrů (množství a lokalizace). (Veselá 2008, Anderlová 2013)

$$Q_{min} = \frac{Q}{L_{přep}} \left[\frac{l * s^{-1}}{km} \right]$$

Q_{min} *minimální noční průtok*
 Q *nejnižší průtok v době měření*
 $L_{přep}$ *přepočtená délka sítě*

7.2.9 Infrastrukturní ztrátový index ILI

Jedná se o poměr technických indikátorů skutečných ztrát (SZ) a ročních nevyhnutelných ztrát (TNZ), které vyjadřují v jakém stavu se nachází daná vodovodní síť. Skutečné ztráty (SZ) se udávají v l*přípojku⁻¹*den⁻¹. Technicky nevyhnutelné ztráty (TNZ) se udávají ve stejných jednotkách, ale v závislosti na hustotě přípojek a provozního tlaku. Ztrátový index ILI je závislý na objemu ztrát, počtu přípojek, skutečné délce sítě a provozním tlaku.

Průzkumem se došlo k závěru, že index ILI se pohybuje od 2,0 do 14,1 při čemž průměrná hodnota pro Českou republiku je 5,5. (Lambert a kol. 2000, Veselá 2008)

Tab. 7.4 - Hodnocení vodovodních sítí pomocí indexu ILI (Veselá 2008)

Kategorie sítě	venkovská	příměstská	městská
dobrá	< 1,5	< 3	< 7
vyhovující	1,5 - 2,5	3 - 5	7 - 10
nevyhovující	2,5 - 4	5 - 8	10 - 15
špatná	> 4	> 8	> 15

7.2.10 Jednotkové úniky a minimální průtok

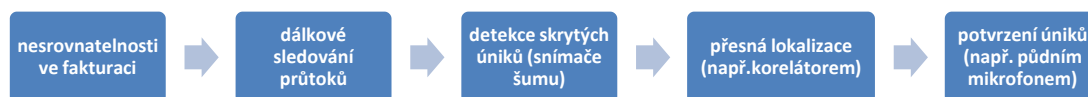
Pro podrobnější posouzení stavu sítě se používá porovnání výsledného jednotkového úniku s minimálním průtokem. Mohou nastat různé případy: (Čiháková a Radkovská 2005)

- JÚ vyhovuje, Q_{min} vyhovuje *vyhovující stav sítě,*
- JÚ vyhovuje, Q_{min} nevyhovuje *špatně stanovená hodnota Q_{min} a netypické rozdělení odběrů,*
- JÚ nevyhovuje, Q_{min} vyhovuje *nedostatečná fakturace,*
- JÚ a Q_{min} nevyhovuje *výskyt skrytých úniků.*

7.3 Detekce úniků z vodovodních sítí

Vodovodní síť je nutné pravidelně kontrolovat prohlídkami nebo monitorování stavu. Tím je zabezpečena i budoucí účinnost zásobování s vodou. Aby došlo k trvalému snížení ztrát nebo udržení stávajících ztrát, je nezbytné ihned vyhledat a odstranit větší úniky. Vyhledávání menších úniků je většinou poměrně nákladné a zdouhavé. V tomto případě je brána v potaz výhodnost případných nákladů na odstranění oproti přínosu, který je tím získán. (Milerski 2009, Thornton 2002)

Úniky ve vodovodních sítích lze detekovat pomocí **akustických** nebo **neakustických** přístrojů. Mezi akustické patří půdní mikrofony, korelátory, poslechové tyče apod. Mezi neakustické patří vyhledávání pomocí formovacieho plynu, termokamery, georadaru, kamery. (Thornton 2002)



Obr. 7.2 - Postup ve vyhledávání úniků (Radeton 2011)

7.3.1 Měrná kampaň

Tato metoda spočívá v rozdělení vodovodní sítě na menší okrsky. Do každého nátoku do okrsku se umístí měřicí zařízení (stálé nebo mobilní), která snímají v pravidelných intervalech okamžité **průtoky a objemy protéké vody**. (Anderlová 2013, Millerski 2009)

Průběh kampaně závisí na měřicím zařízení – průtokoměru a podrobné znalosti vodovodní sítě. Kampaň se provádí v noci, kdy se noční průtoky v menších lokalitách blíží k nule. V případě větších lokalit je vhodné uvažovat s minimálním nočním odběrem mezi 0,2 – 0,4 l/s na 1000 obyvatel. Pokud se v lokalitě nachází noční velkoodběratel, je nutné ho měřit zvlášť. (Anderlová 2013)

Samotné měření při měrné kampani se může provést dvěma způsoby. Za prvé pomocí **ultrazvukových průtokoměrů** s libovolným připojením na vodovodní potrubí. Za druhé **datalogery**, které měří jak průtok, tak i tlak a připojují se k vodoměrům nebo průtokoměrům. Jejich výhodou je automatické odesílání dat pomocí GSM sítě. (Radeton 2011)



Obr. 7.3 - Ultrazvukový průtokoměr (URL 19)



Obr. 7.4 - Datalogger (URL 20)

7.3.2 Snímače šumu

Snímače šumu využívají **tzv. akustického interního šumu**, který vzniká chvěním potrubí při úniku vody. Představují nejvyšší stupeň vyhledávání skrytých úniků. Tyto snímače se osazují pomocí magnetu na hydranty, šachty a šoupata ve strategických místech vodovodní sítě. Jsou většinou dlouhodobě umístěné na jednom místě. Snímače šumu *Phocus.sms* od firmy *Radeton* jsou vybaveny slotem na SIM kartu, které umožní při zjištění úniku automatické odesílání SMS na dispečink provozovatele vodovodní sítě. (Radeton 2011)



Obr. 7.5 - Instalace snímače šumu na šoupě (URL 21)

7.3.3 Korelace

U korelace se využívá **tzv. akustického interního šumu** šířícího v obou směrech kvůli chvění potrubí při úniku vody. Na dvou místech potrubí (hydrant, šoupátko) se umístí senzory (hydrofony, loggery), které umožňují tento šum snímat. Následně je tento šum zesílen a vysílačem předán ke korelátoru. Ten provede korelaci (porovnání) obou či více příchozích signálů a vypočítá vzdálenost k místu poruchy. (Radeton 2011, Vodárenská akciová společnost 2009, SebaKMT 2014)



Obr. 7.8 Korelátor (URL 22)



Obr. 6.9 - Měření (URL 23)

7.3.4 Půdní mikrofony

Jedná se o **akustickou terénní metodu** pro zjištění úniku vody. V místě porušení se vytváří tlak vody, který naráží do okolní zeminy a vytváří tzv. **specifický externí šum**. Tento šum je přenášen až na povrch půdy. Ke hledání úniku slouží půdní zvon nebo dotykové tyče, které se připojují k hlavní měřicí jednotce a následně ke sluchátkům. Sluchátka slouží k poslechu zesíleného signálu a k potlačení rušivých zvuků z okolí. (Anderlová 2013, Radeton 2011)



Obr. 7.5 - Půdní mikrofonský systém (URL 24)



Obr. 7.6 - Vyhledávání úniku (URL 25)

7.3.5 Poslechové tyče

Jedná o **akustickou terénní metodu** k preventivním průzkumům. Vytékající voda z místa porušení rozkmitává potrubí a vytváří tzv. **interní šum**, který se dá snímat poslechovou tyčí. Měřicí jednotka této tyče disponuje vysoce akustickou citlivostí, proto je schopná detekovat velice tiché úniky. V případě použití „trojnožky“ lze z poslechové tyče udělat půdní mikrofonský systém. (Radeton 2011, Vodárenská akciová společnost 2009)



Obr. 7.7 - Poslechová tyč s příslušenstvím (URL 26)

7.3.6 H₂ metoda

Pro detekci těch nejmenších úniků je využíváno **neakustického** vyhledávání pomocí formovacího plynu vodíku a dusíku v zastoupení směsi 5 % a 95 %. Tato směs je napuštěna do potrubí přes hydrant nebo domovní přípojku. V místech poruchy uniká vodík kolmo k povrchu, kde prochází půdou nebo asfaltem. Lokalizace poruchy je vyhodnocena senzorem koncentrace unikajícího vodíku z potrubí. (Radeton 2011, SebaKMT 2014)



Obr. 7.8 - H₂ senzor (URL 27)

7.3.7 Smartball

Jedná se o moderní zařízení s vysoce citlivým **akustickým** senzorem uloženým v hliníkové kouli o průměru 66 mm, který je chráněn v polyuretanovém obalu. Tento volně plavoucí míč je možné použít i v plně zatopeném potrubí od průměru 300 mm. Slouží jak pro lokalizaci místa poruchy, tak i pro detekci vzduchových kapes. Vkládá se v místě hydrantů nebo odvzdušňovacích ventilů. Balonek je schopný zrevidovat až 23 km potrubí a pracovat až 13 hodin, kdy po celou dobu sbírá akustické šумы vyvolávající poruchou. Pro vyjmutí z potrubí slouží opět hydranty nebo odvzdušňovací ventily. (Kůra 2010, Sebak 2014)



Obr. 7.9 - Smartball (URL 28)

7.4 Vlivy na ztráty vody a jejich vývoj

Poruchovost potrubí včetně úniků jsou způsobeny několika faktory, které působí na vodovodní sítě. Tím nejhlavnějším faktorem je stáří a materiál dané sítě. Následuje vliv těžké dopravy a ve specifických oblastech důlní činnost. (Řehoř a Chalupa 1986)

7.4.1 Příčiny poruch vodovodních sítí

K běžnému opotřebení řadů dochází u kovového potrubí vlivem vnější a vnitřní koroze. Degradaci dochází i u spojovacího a těsnícího materiálu, kde jejich porušení ovlivňuje velikost ztrát a nutnost opravárenského zásahu. Mezi hlavní příčiny patří:

- **Výrobní vady materiálu**, které představují největší podíl příčin poruch.
- **Poškození potrubí a jeho izolace během dopravy**,
- **Vadná instalace těsnění a spojů**, při neodborné montáži.
- **Zatížení trubní sítě** vlivem těžké dopravy, otřesy a pohybem zemin. Při pohybech zemin se potrubí vysunuje z hrdel, nebo se *příčně láme* i ve spojích. Proto je nutné obsypávat potrubí např. pískem. Specifickým zatížením je vliv poddolovaného území.
- **Povětrnostní vliv** jako je mráz, jarní tání a sucho hrozí na potrubí *příčným lomem*. Největší riziko je v namrzavých jílovitých zeminách bez adekvátní vrstvy obsypu, kde tlak zeminy může způsobit *podélné trhliny*. Zdvih v důsledku mrazu, nebo poklesu při vysychání zeminy může mít v případě dotyku kamene s potrubím destruktivní bodový tlak.
- **Agresivita prostředí** se rozumí agresivita zemin a podzemní vody, která působí na vnější povrch potrubí. Agresivitu projevují jílovité půdy, strusky nebo zeminy s chemickým působením.
- **Vliv uložení potrubí** v případě rozbahnění nebo vyplavení zeminy z důvodu porušení potrubí.
- **Tlak vody** – při nadměrném a kolísavém tlaku, možnost podélného lomu.
- **Bludné proudy** – porušují litinové potrubí bodovým odnosem materiálu.
- **Inkrustace** – závisí na materiálu, drsnosti stěn a jakosti dopravované vody. Zvýšená tvorba inkrustace je v potrubí z kovových materiálů.
- **Stáří potrubí** – jde spíše o stupeň opotřebení, kdy je nutné potrubí rekonstruovat.
- **Provozní nedostatky** – příčinou poruch je zanedbání údržby a neodborné provádění oprav. (Řehoř a Chalupa 1986, Smith a kol. 2000)

7.4.2 Opatření k omezování ztrát vody

Každý provozovatel vodovodní sítě by měl mít zpracovaný „program pro snižování ztrát vody“. Doporučuje se celá řada opatření pro snižování ztrát, kterými jsou:

- **Nepřesností měření vody** – kde se jedná o měření vody vyrobené, převzaté, dodané odběrateli a předané. Eliminace ztráty se provede pouze osazením odpovídajícím měřidlem.
- **Poruchy a netěsnosti** – jsou nejobjemnější částí ztrát v síti. Z dlouhodobého hlediska mají zjevné poruchy viditelné pouhým okem menší vliv na ztrátu vody než poruchy skryté. Pro identifikaci je

využívána nejmodernější technika, která je popsána v této bakalářské práci.

- **Krádeže vody** – z důvodu růstu cen za vodné a stočné přibývá i nepoctivých odběratelů. Využívajících požárních hydrantů, neregistrovaných přípojek, odběrů před vodoměrem, apod. Jediným opatřením je pravidelný dohled nad sítí.
- **Voda dodaná zdarma** – zbytečně zhoršuje ukazatel ztrát, doporučuje se její změření nebo odhad, který by měl být max. 2 % z vody k realizaci. Někteří provozovatelé si nadhodnocují právě vodu dodanou zdarma, aby mohli vykazovat nižší hodnoty ztrát.
- **Prevence** – uplatňování lepšího technického řešení, kvalitnějšího potrubí, armatur a zlepšování technického stavu sítí. Tam kde je možné, snížit provozní tlak vody. Odstranění nevyužívaných vodovodních řadů a přípojek. Dobrá organizace pohotovostního týmu a zkracování doby nutné na odstavení a opravu poruchy od jejího nahlášení. (Novák a kol. 2003, Řehoř a Chalupa 1986)

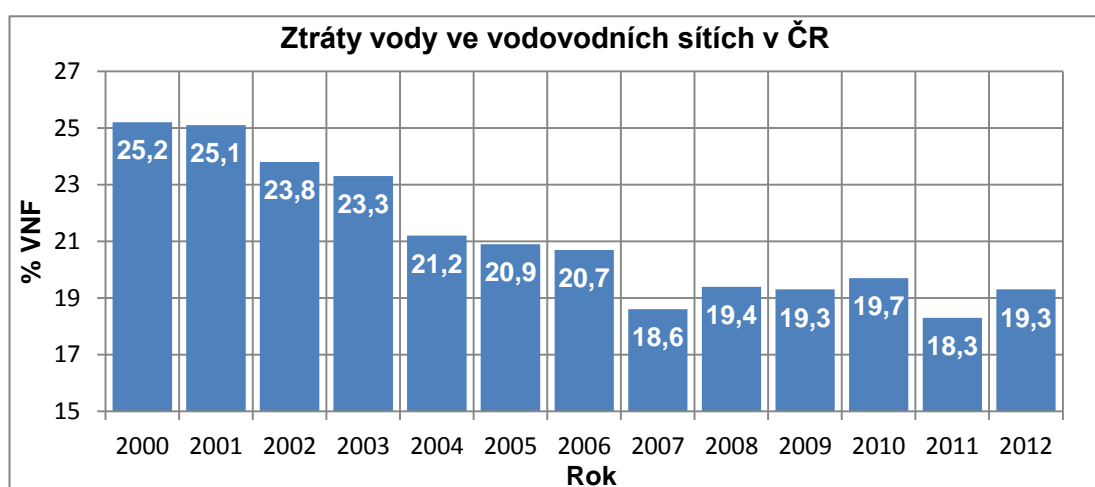
7.4.3 Vývoj ztrát v České republice

V roce 2012 bylo zásobováno z vodovodů 9,8 mil. obyvatel, což činí **93,5 %** obyvatel České republiky. V daném roce bylo vyrobeno 623,5 mil. m³ pitné vody, z toho 480,7 mil. m³ bylo vyfakturováno a 119,0 mil m³ připadalo na ztráty vody z vodovodní sítě. U vody fakturované byl zaznamenán meziroční pokles o 0,6 %, z toho důvodu se specifické množství fakturované vody na osobu snížilo o 0,5 litru na konečných 88,1 litru za den. (MZe 2012)

Tab. 7.1 - Vývoj ukazatelů vody v České republice (MZe 2012)

Ukazatel	Měrná jednotka	1989	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Obyvatelé (střední stav)	tis. obyv.	10 364,0	10 267,0	10 323,0	10 430,0	10 491,0	10 517,0	10 495,0	10 509,0
Obyvatelé skutečně zásobováni vodou z vodovodů	tis. obyv.	8 537,0	9 483,0	9 525,0	9 664,2	9 733,0	9 787,5	9 805,4	9 823,1
	%	82,4	92,4	92,3	92,7	92,8	93,1	93,4	93,5
Voda vyrobená z vodovodů	mil. m ³ /rok	1 251,0	699,0	683,0	667,1	653,3	641,8	623,1	623,5
	% k 1989	100,0	55,9	54,6	53,3	52,2	51,3	49,8	49,8
Voda fakturovaná celkem	mil. m ³ /rok	929,4	528,1	531,7	516,5	504,6	492,5	486,0	480,7
	% k 1989	100,0	56,8	57,2	55,6	54,3	53,0	52,3	51,7
Specifická potřeba z vody vyrobené	l/os. den	401,0	202,0	196,0	188,0	184,0	180,0	174,0	173,8
	% k 1989	100,0	50,4	48,9	46,9	45,8	44,8	43,4	43,3
Specifické množství vody fakturované celkem	l/os. den	298,0	153,0	153,0	146,0	142,0	137,9	135,8	134,1
	% k 1989	100,0	51,3	51,3	49,0	47,7	46,3	45,6	45,0
Specifické množství vody fakturované pro domácnost	l/os. den	171,0	97,5	98,5	94,2	92,5	89,5	88,6	88,1
	% k 1989	100,0	57,0	57,6	55,1	54,1	52,3	51,8	51,5
Ztráty vody na 1 km řadů	l/km den	16 842,0 ¹⁾	5 673,0	4 893,0	4 889,0	4 705,0	4 673,0	4 220,0	4 351,0
Ztráty vody na 1 zásob. obyvatele	l/os. den	90,0 ¹⁾	42,0	36,0	37,0	35,0	35,0	32,0	33,0

V dlouhodobém horizontu mají nejen ztráty, tak i voda k realizaci a fakturovaná snižující trend. Hodnotou ztrát se řada provozovatelů v České republice dostala na evropskou úroveň. Příčinou tak razantního snižování je stále se zvyšující náklady na provoz. Naopak v dobách socialismu se cena vodného upravovala vnějšími ekonomickými zásahy. Symbolická a řadu desetiletí nezvyšovaná cena nenutila spotřebitele k hospodárnému využití vody. V důsledku neustálého rozšiřování kapacit distribučních sítí se už nedostávaly finanční prostředky na obnovu a rekonstrukce už stávajících sítí. Od roku 1990 docházelo ke změnám provozovatelů ze státních na soukromé. Většina distribučních sítí je v nevyhovujícím stavu (stáří, použitý materiál, předimenzované rozvody). Proto jsou náklady na obnovu vodovodní sítě promítnuty i do cen vodného. (Kročová 2006, MZe 2008)



Obr. 7.10 - Vývoj ztrát v České republice (ISSaR 2014)

7.4.4 Vývoj ztrát v Praze

Vodovodní a kanalizační soustavy v Praze jsou v majetku hlavního města Prahy. Správcem těchto sítí je Pražská vodohospodářská společnost a.s. (PVS), která je nadřízeným orgánem Pražských vodovodů a kanalizací a.s. (PVK). Samotné PVK, a.s. je provozovatelem vodohospodářské infrastruktury, zajišťující výrobu a distribuci vody včetně fakturace vodného a stočného. 100 % akcionářem PVK, a.s. je od roku 2002 Veolia voda Česká republika a.s. (PVK 2013, PVS 2014)

Nejvýznamnější podíl v zásobování Prahy zajišťuje úpravna vody **Želivka** (72 % k roku 2012) a **Káraný** (28 % k roku 2012). Úpravna vody v Podolí je od roku 2002 využívána jako záložní zdroj. PVK, a.s. zásobuje pitnou vodou 1,24 mil. obyvatel hl. m. Prahy a cca 200 tis. obyvatel Středočeského kraje. (Magistrát hl. m. Prahy 2011, PVK 2013)

V roce 2013 PVK, a.s. řešili 4717 havárií na vodovodní síti s průměrnou dobou přerušení skoro 8 hodin. Nejčastější příčinou byla koroze materiálu s počtem 3 431 havárií, následována pohybem půdy s 984 haváriemi. Oba tyto důvody zaujímají 93,6 % všech případů. Dodnes nejvíce poruchové potrubí je z tzv. „polské litiny“, která byla hojně využívána při stavbách sídlišť v 70. letech. Ztráty vody se snížily v roce 2013 na **20,31 %** oproti roku 2012, kdy činily **21,27 %**. Další snižování ukazatele ztrát bude čím dál obtížnější. Doposud se dařilo snižovat objem ztrát rychleji, než klesala spotřeba vody a tím klesal i ukazatel % VNF. Je možné, že nastane jakýsi paradox, kdy i při stálém snižování objemu ztrát se navýší ukazatel % VNF v případě dalšího snižování spotřeby vody. (Magistrát hl. m. Prahy 2011, PVK 2013)



Obr. 7.11 - Vývoj ztrát v Praze (Magistrát hl. m. Prahy 2011, PVK 2013)

Distribuce vody na území Prahy je pro složitou morfologii území velmi náročná. Pro dopravu vody je využíváno vodovodní sítě o délce 3 496 km bez přípojek. Tato síť je rozdělena na 4 základní **oblasti (1, 2, 3, 3')**. Každá tato oblast je dále rozdělena na více samostatných zásobních pásem. Počet samostatných zásobních pásem bylo 172 k roku 2011, toto číslo se časově nepatrně mění z důvodu budování nových nebo rušení starých pásem. (Anonym 2014, Magistrát hl. m. Prahy 2011)

U PVK, a. s. se čtvrtletně sledují v každém zásobním pásmu vývoje **VR [m³]**, **VF [m³]**, **VNF [%]**, **JÚ [tis.m³/km*rok]**, **Q_{min} [l/s]**. Z hodnot minimálních průtoků je pak možné zjistit, zda případný problém na zásobním pásmu je způsoben únikem nebo nedostatečnou fakturací. (Radkovská 2004)

8. POPIS KONKRÉTNÍ OBLASTI

8.1 Tlakové pásmo Rohožník

Pro vyhodnocení ztrát vody z vodovodní sítě bylo vybráno menší tlakové (zásobní) pásmo. Podmínkou výběru bylo, aby lokalita spadala pod hlavní město Praha. Z důvodu zajištění potřebných dat pro vyhodnocení ztrát a dalších faktorů od firmy PVK, a.s. Proto byla vybrána lokalita **sídliště Rohožník**, spadající pod katastrální území Újezdu nad Lesy.

Charakteristickým znakem sídliště je plynulá zástavba od rodinných domů na východě, až po sedmipodlažní budovy směrem na západ. Občanskou vybaveností je supermarket, poliklinika, malé divadlo a školka.

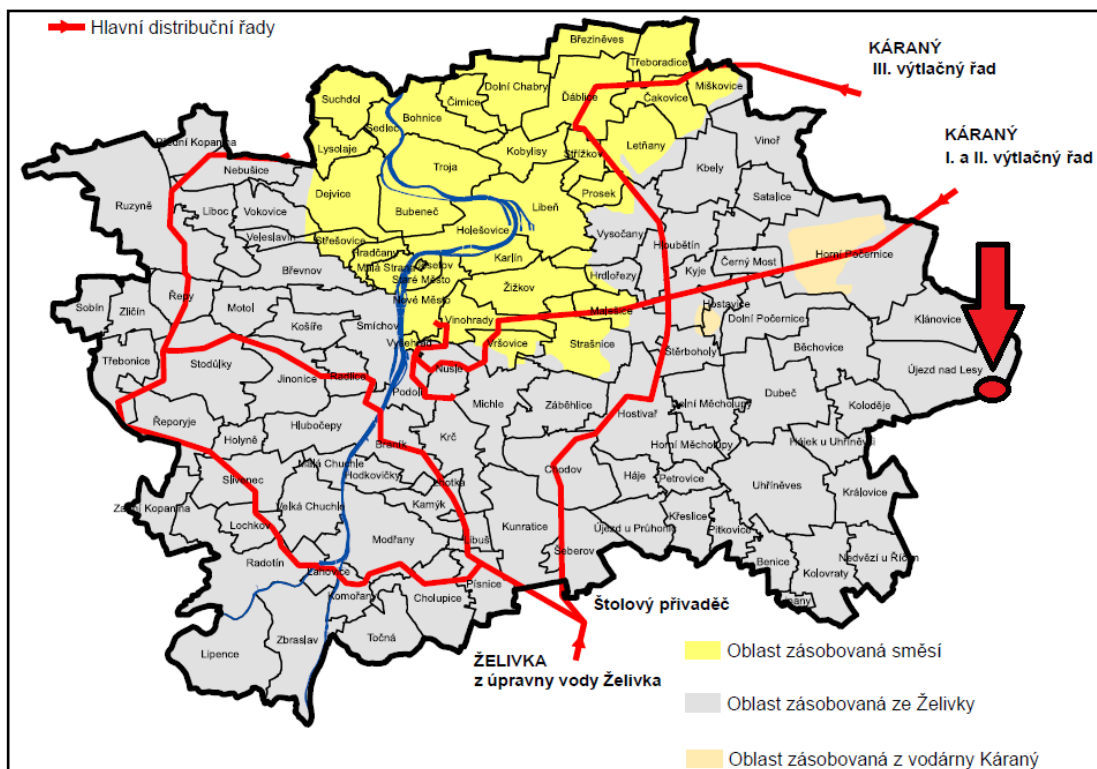
Základní data:

- kraj hlavní město Praha,
- městský obvod Praha 9,
- správní obvod Praha 21 - Újezd nad Lesy
- výstavba sídliště od roku 1980,
- rozloha 0,14 km²,
- počet obyvatel cca 3 000. (Praha 21 2014, Pražský deník 2007)

Vodohospodářské data:

- číslo pásma 103 (nebo 0103),
- přepočtená délka potrubí 3,792 km (k roku 2013, včetně přípojek),
- rozvodné potrubí převážně litina DN 200 a DN 150, DN 100 PVC,
- čerpací stanice automatická čerpací stanice (ČS),
- počet přípojek 103 (proměnlivá hodnota),
- průměrný tlak v pásmu 46,7 [m. vodního sloupce]. (PVK 2014b)

Rozvodná vodovodní síť je převážně okruhového typu vybudována v roce 1982. Většina potrubí je z litiny, pouze nepatrná část z celkových 3,792 km je z PVC (70 m). Dostatečný tlak vody ve vodovodní síti zajišťuje automatická čerpací stanice (ČS) na východní straně sídliště. Tato čerpací stanice je napojená na přiváděcí řad o průměru DN 200 z roku 1982 vedený z centra Újezdu nad Lesy. Samotný Újezd nad Lesy je ale zásobován gravitačně z vodojemu Kozinec. Důvodem výstavby ČS v oblasti Rohožníku byl nedostatečný tlak právě z vodojemu Kozinec. (Anonym 2014, PVK 2014b)



Obr. 8.1 - Lokalizace tlakového pásma Rohožník (Magistrát hl. m. Prahy 2011)

8.2 Čerpací stanice Rohožník

Jedná se o přízemní budovu umístěným na oploceném pozemku. Samotná budova se skládá z vodojemu, armaturní komory přítoku, haly čerpací stanice, rozvodny (dozorny) a sociálního zázemí obsluhy. K vlastní budově přiléhají 2 podzemní armaturní šachty.

Při výpadku ČS je možné zásobní pásmo Rohožník tzv. přepásmovat. Kdy následně dojde k napojení na sousední zásobní pásmo v oblasti Újezdu nad Lesy, zásobený gravitačně z vodojemu Kozinec. Propojení těchto dvou pásem pak zajišťuje litinové potrubí o DN 200 z roku 1994 a délky 15 m v západní části sídliště. Za normálních okolností a při správném fungování ČS je toto potrubí uzavřeno uzavírací armaturou. (PVK 2014d)

Technické parametry ČS:

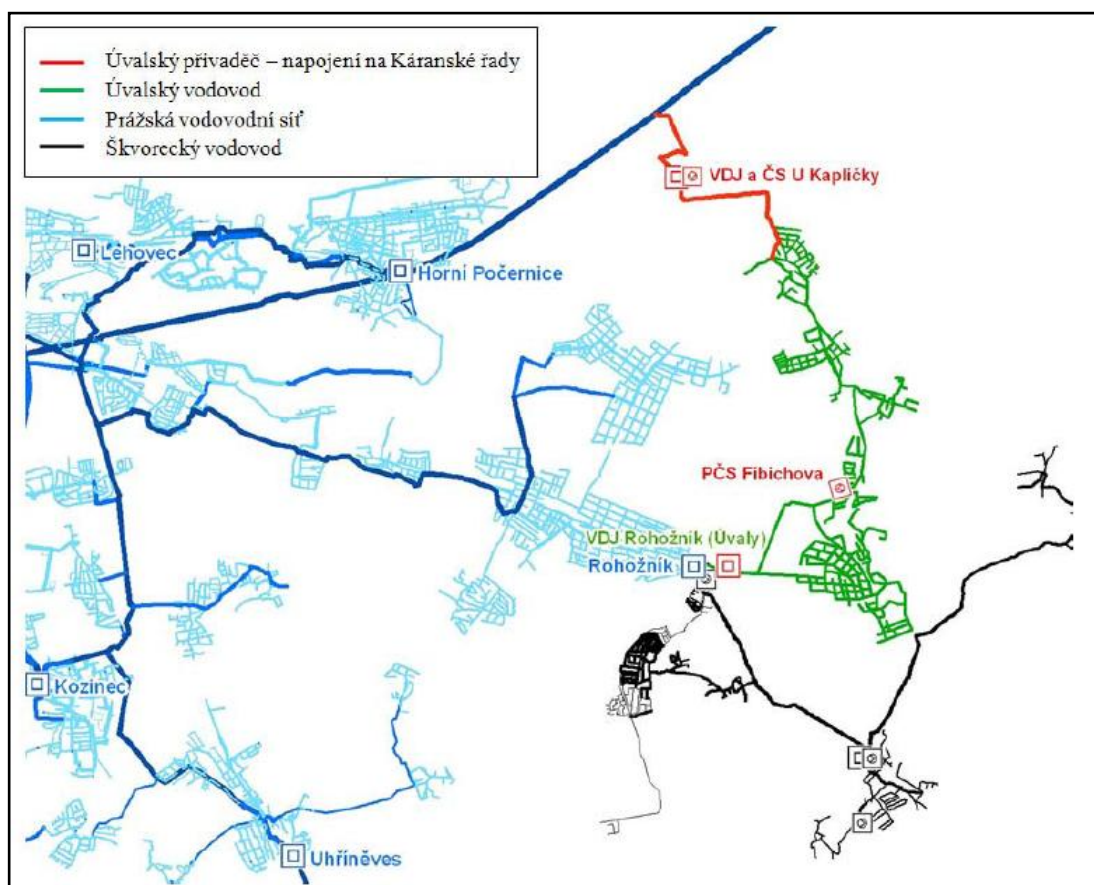
- průtok Q 28 l/s,
- výtlačná výška H 48 m vodního sloupce,
- čerpadla 4 x čerpadla Grunfos (souběh max. 3 čerpadel).

Technické parametry vodojemu v ČS:

- objem vodojemu 120 m³
- kóta vodojemu 287,4 m n.m.
- kóta přeřadu 290,5 m n.m.

Vodojem v ČS tvoří železobetonová komora sloužící pro akumulaci vody. Tlak na výtlačku čerpací stanice je udržován na hodnotě 0,460 MPa, tj. čerpání na kótu 333 m n. m. Tento tlak je konstantně udržován a řízen otáčkami čerpadel s frekvenčními měniči. Jedno čerpadlo má výkon $P = 7,5$ kW; výtlačnou výšku $H = 53,1$ m a průtok $Q = 8,3$ l/s. ČS pracuje v automatickém provozu s možností dálkového ovládání z centrálního dispečinku Flóra. (PVK 2014d)

Priváděcí řad do ČS Rohožník je napojen na pražskou vodovodní síť. Která je napojena i na vodojem (VDJ) Rohožník (Úvaly). Z tohoto vodojemu jsou ale zásobovány od začátku 70. let Úvaly a nikoliv sídliště Rohožník. VDJ Rohožník disponuje akumulačním objemem 1000 m³. Nachází se ale mimo oblast hl. m. Prahy, tudíž jeho provozovatelem je 1. SčV (kde drží 100 % akcií opět firma Veolia voda). (Berka a kol. 2010, město Úvaly 2009)

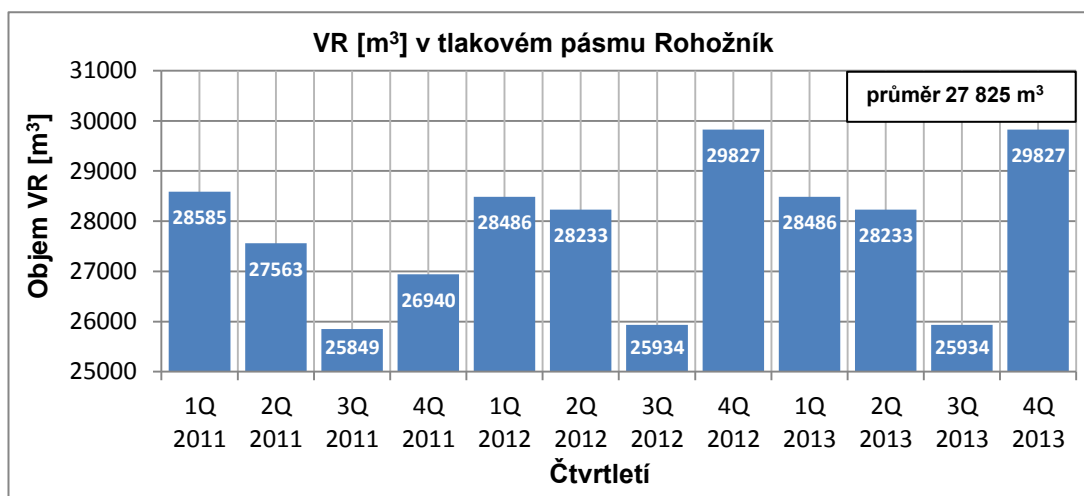


Obr. 8.2 - Místní situace (Berka a kol. 2010)

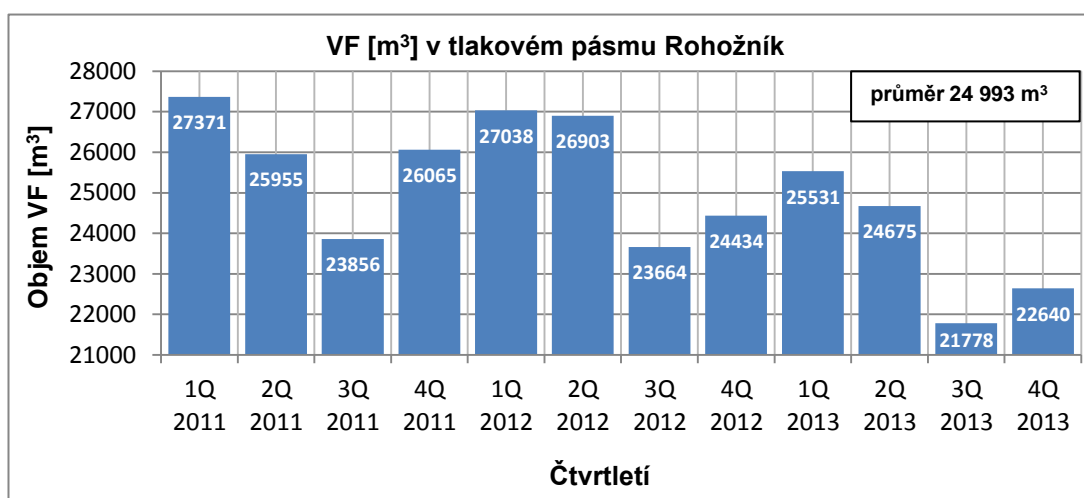
9. VÝSLEDKY

9.1 Vyhodnocení měření Rohožník

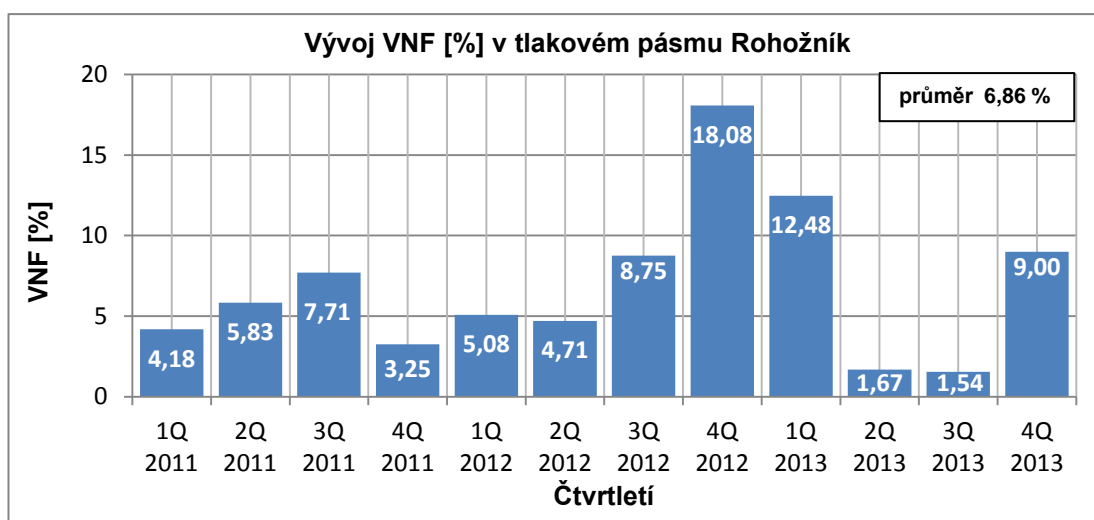
V této kapitole jsou vyhodnoceny nejdůležitější ukazatelé při vyhodnocování ztrát za delší období z tlakového pásma Rohožník. Jedná se o čtvrtletně rozdělené roky 2011, 2012 a 2013. Mezi nejdůležitější hodnoty patří sledování **VR [m³]**, **VF [m³]**, **VNF [%]**, **JÚ [tis.m³/km*rok]**. Monitorují se i noční průtoky Q_{\min} [l/s] a Q_{\min} na přepočtenou délku dané sítě. V případě náhlé změny sledovaných hodnot svědčí o možné havárii či chybě ve fakturaci.



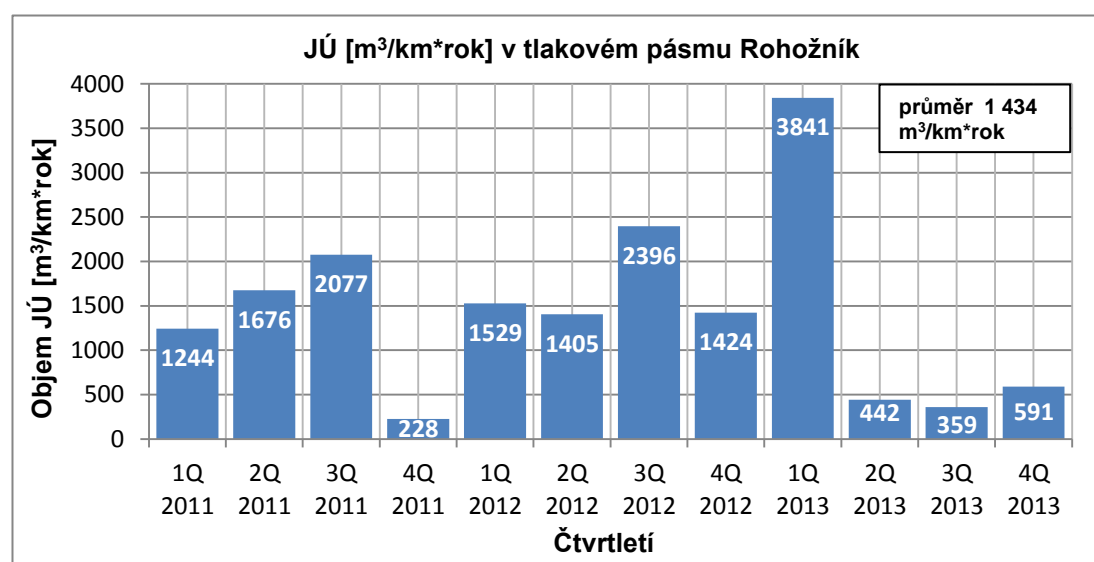
Obr. 9.1 - Vývoj VR v tlakovém pásmu Rohožník (autor práce 2014)



Obr. 9.2 - Vývoj VF v tlakovém pásmu Rohožník (autor práce 2014)



Obr. 9.3 - Vývoj VNF v tlakovém pásmu Rohožník (autor práce 2014)



Obr. 9.4 - Vývoj JÚ v tlakovém pásmu Rohožník (autor práce 2014)

Průměrné hodnoty za 3 roky měření v tlakovém pásmu **Rohožník**:

- VR 27 825 m³,
- VF 24 993 m³,
- VNF 6,86 %,
- JÚ 1 434 m³/km*rok.

Při sledování většiny čtvrtletích hodnot v dlouhodobém časovém horizontu je patrná závislost. Největší objemy VR jsou v tlakovém pásmu Rohožník zaznamenané opakovaně v zimním období. Nejmenší naopak v letním období.

V případě nezaznamenané výrazné čtvrtletní anomálie na síti, vzniká **snížením VR snížení VF, to je pak příčinou zvýšení % VNF a JÚ**. Pokud se na daném tlakovém pásmu neprovádí, či neprovedli žádné zásahy, jako jsou rekonstrukce či výměny potrubí a armatur. Z tříletého sledování v tlakovém pásmu Rohožník je patrná výrazná změna od normálu v období čtvrtého čtvrtletí roku 2012 v % VNF, kdy ztráty dosáhly hodnoty 18,08 % VNF. Tato ztráta pak ovlivnila JÚ až v prvním čtvrtletí roku 2013, kdy stoupla na hodnotu 3 481 m³/km*rok.

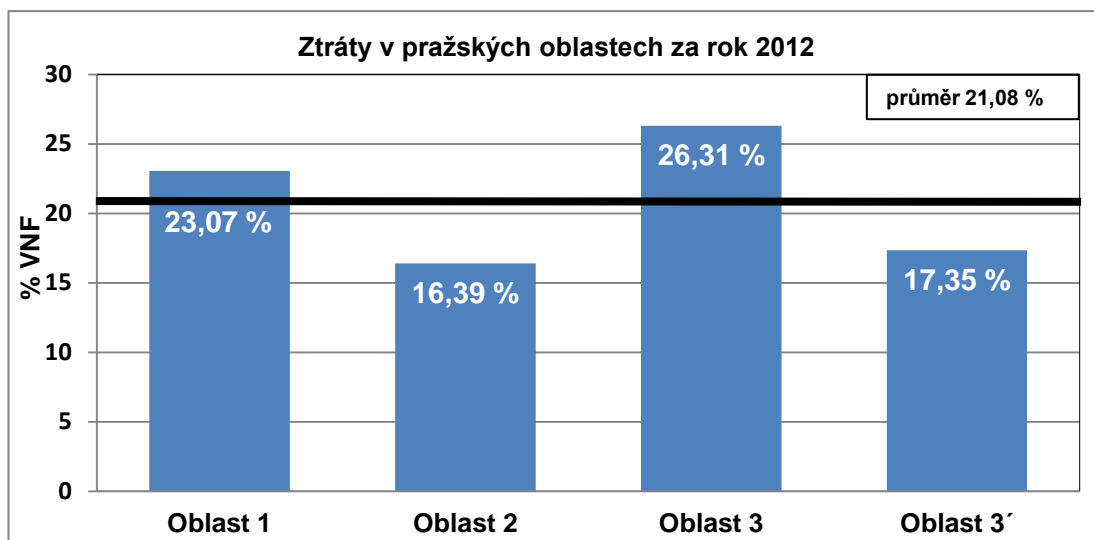
Samotné odečítání z domovních vodoměrů se provádí u PVK, a.s. jednou ročně. Celkové vyhodnocování všech veličin od VR až po JÚ je u PVK, a.s. počítáno čtvrtletně. Proto je nezbytné, aby se hodnoty které jsou měřeny jednou ročně, rozdělily na čtvrtletí. Například u VF nelze přesně stanovit čtvrtletně výslednou hodnotu, protože odečet se provádí právě pouze jednou ročně. Předpokládá se určitá závislost na VR, kterou už provozovatel sítě má možnost čtvrtletně změřit. Na začátku roku lze pak přibližně stanovit vývoj VF během roku za pomoci složitých početních algoritmů v příslušných programech na PC. Do těchto výpočtů jsou zohledňovány vývoje i z předešlých let. (Anonym 2014, PVK 2014c)

9.2 Vyhodnocení v hl. m. Prahy

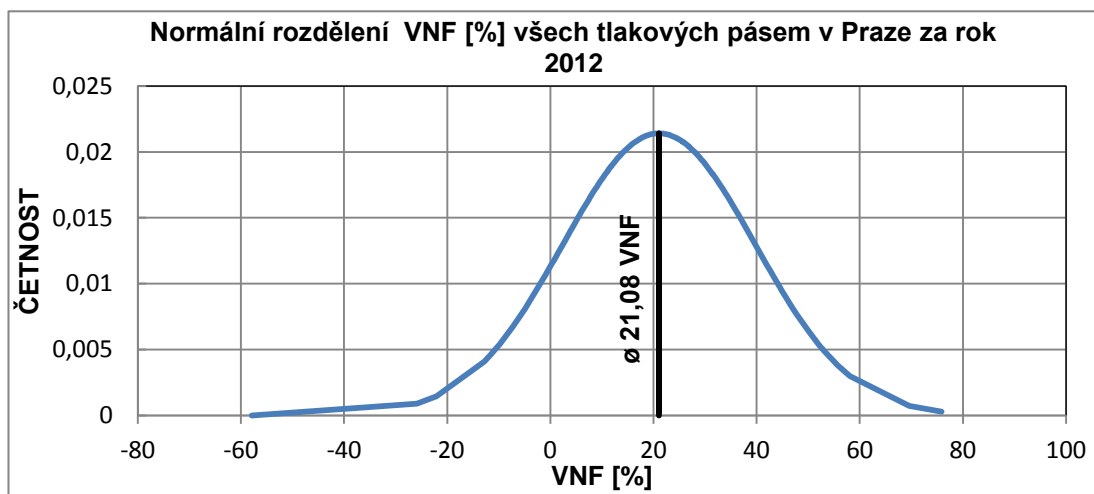
Další získané data od PVK, a.s. představovaly všechny dlouhodobě sledované hodnoty ve všech tlakových (zásobních) pásech. Pro vyhodnocení posloužily pouze % VNF ze všech tlakových (zásobních) pásem z let 2012 a 2013. Výsledky průměrných ztrát v hl. m. Praze z let 2012 a 2013 lze porovnat s oficiálními ročenkami apod. Uvedené grafy v této kapitole jsou dvojího druhu. První vyhodnocení % VNF bylo provedeno za pomoci aritmetických průměrů pro čtyři oblasti, do kterých je Praha dle PVK, a.s. rozdělena. Druhé vyhodnocení je opět % VNF, ale za pomoci normálního rozdělení podle gaussovy křivky s hustotou pravděpodobnosti, kde je v jejím vrcholu opět vyznačen aritmetický průměr. Tato křivka vystihuje rozsah všech naměřených hodnot a jejich četnosti.

V roce 2012 bylo v Praze 172 tlakových pásem:

- 1. oblast 59 tlakových (zásobních) pásem,
- 2. oblast 47 tlakových (zásobních) pásem,
- 3. oblast 39 tlakových (zásobních) pásem,
- 3'. oblast 27 tlakových (zásobních) pásem.



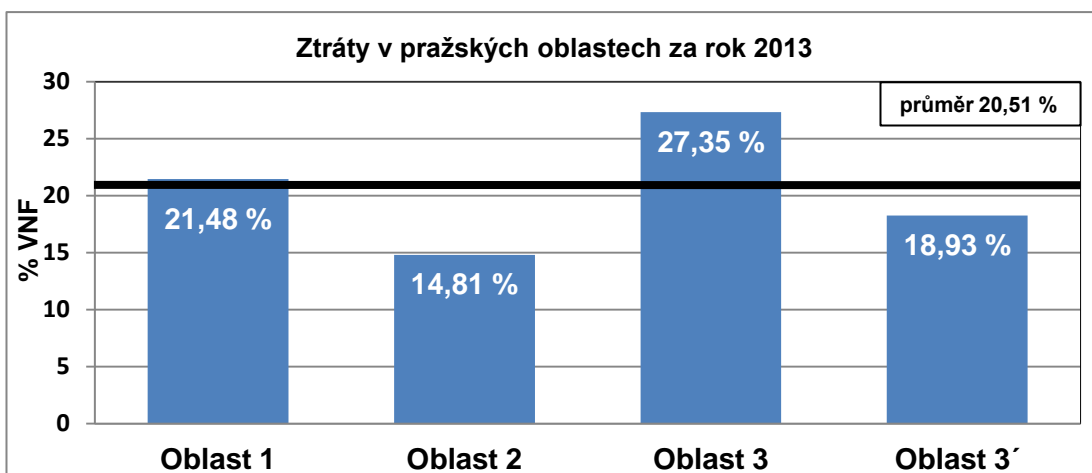
Obr. 9.5 - Oblastní ztráty v roce 2012 v Praze (autor práce 2014)



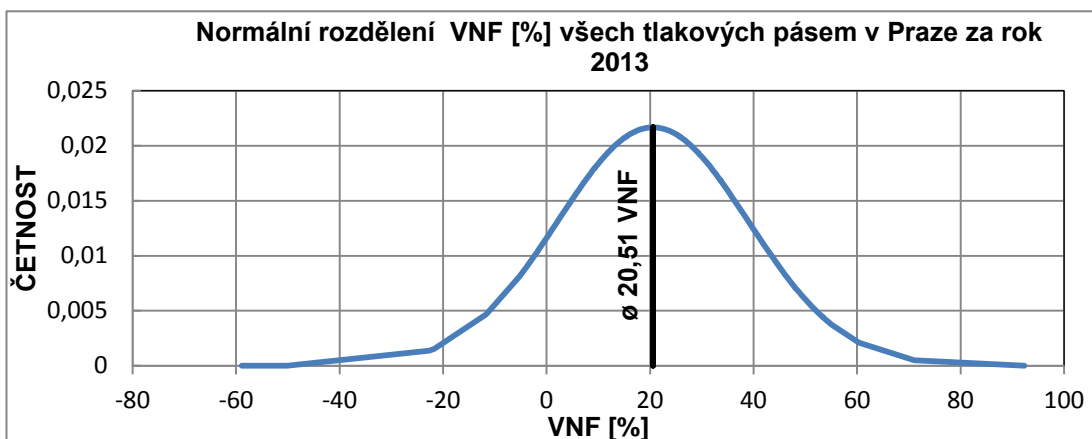
Obr. 9.6 - Gaussova křivka ztrát v roce 2012 v Praze (autor práce 2014)

V roce 2013 bylo v Praze 179 tlakových pásem:

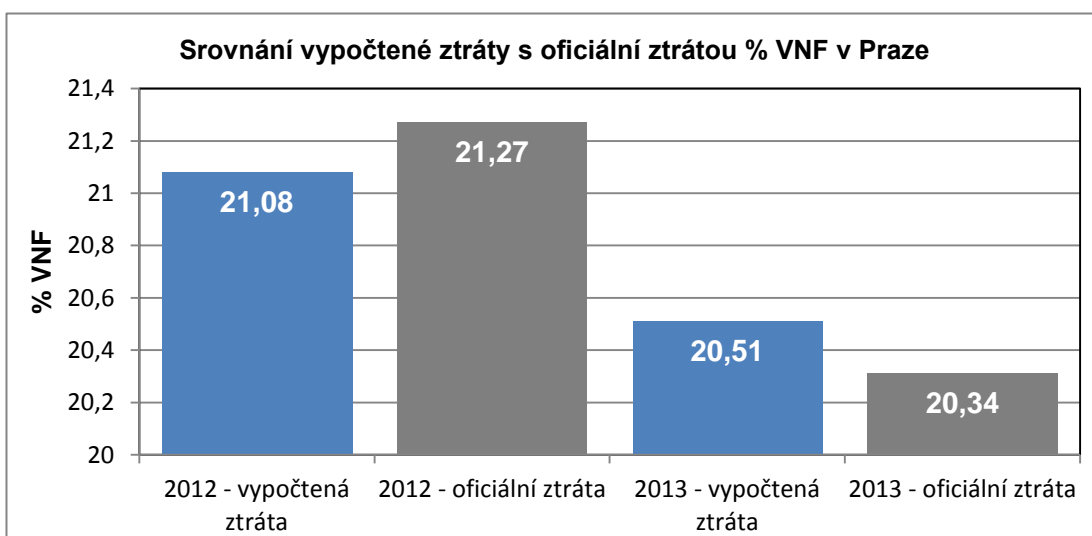
- 1. oblast 60 tlakových (zásobních) pásem,
- 2. oblast 50 tlakových (zásobních) pásem,
- 3. oblast 42 tlakových (zásobních) pásem,
- 3'. oblast 27 tlakových (zásobních) pásem.



Obr. 9.7 - Oblastní ztráty v roce 2013 v Praze (autor práce 2014)



Obr. 9.8 - Gaussova křivka ztrát v roce 2013 (autor práce 2014)



Obr. 9.9 - Srovnání vypočtených ztrát s oficiálními ztrátami v Praze (autor práce 2014)

10. DISKUZE

Ztráty vody jsou v rámci České republiky od roku 1989 velmi sledovanou položkou při distribuci pitné vody. Výrazné změny nastaly při změnách struktur provozovatelů vodovodních a kanalizačních sítí, kdy většina přešla ze státního sektoru na soukromý. Existuje mnoho společností, kde 100 % akcií vlastní nadnárodní společnosti jako je Veolia Environnement, Suez Environnement, Energie AG apod. Rozhodně bezesporou výhodou s příchodem těchto zahraničních akcionářů je dispozice know - how včetně mnohaletých zkušeností. Je jen otázkou, pokud by zůstala příslušná obec majoritním akcionářem dané vodohospodářské společnosti. Jak by se vyvíjely ceny vodného a stočného, rekonstrukce, či snižování ztrát bez těchto nadnárodních společností. Nelze opomenout i využívání peněz z fondů EU. V případě, že určitá vodohospodářská společnost, která má pouze jednoho soukromého investora, který drží 100 % akcií. Včetně nájemní smlouvy na provozování sítě na mnoho let dopředu. Pak zrovna toto jsou většinou důvody k zamítnutí dotace nebo k dlouhodobému vyjednávání obou zainteresovaných stran. Názorným příkladem je zamítnutí dotace několika mild. Kč z fondu EU pro Ústřední čistírnu odpadních vod (ÚČOV) v Praze na Císařském ostrově. Kvůli dlouhodobě nevyhovující smlouvě firmy Veolia voda Česká republika a.s. v PVK, a.s. včetně toho, že prodej PVK, a.s. kdysi proběhl bez řádného výběrového řízení.

V současné době spotřebitelé z finančních důvodů šetří s vodou. Napomohlo tomu i mnoho produktů, které záměrně snižují objem protékající vody. To má za následek výrazný pokles spotřeby vody od roku 1989. Tento pokles se dnes dostal na své optimum, kde už nelze očekávat další výrazné snižování. Snižováním spotřeby a ztrát v sítích se dospělo i ke snížení potřeby.

Z ekonomických důvodů bylo i ve vodohospodářských společnostech přistoupeno k razantnímu snižování, a to ztrát. Protože velká část vody k realizaci byla v neúnosných mírách nefakturována. Tudiž daným provozovatelům ucházel zisk z fakturace. Proto byly realizovány nákladné rekonstrukce vodovodní sítě, které pokračují i v současnosti. Velmi důležitým činitelem ve snižování ztrát je použitý materiál na těchto sítích. Šedá litina a momentálně i PVC se nedoporučují pro výstavbu. Například v hl. m. Praze jsou doposud největší problémy s tzv. „polskou litinou“, která je extrémně poruchová. Výrazný technologický pokrok byl zaznamenán v oblasti vyhledávání skrytých úniků. Kde je vrcholem ve vyhledávání pomocí korelátorů, které jsou stále přesnější a fungují na čím dál delších trasách.

Včetně možnosti osazení průtokových dataloggerů, které nepřetržitě vyhodnocují a ihned odesílají změřené hodnoty provozovateli sítě.

Cena vodného a stočného je dnes velmi diskutovaným tématem. Výsledná cena se skládá z variabilní složky a fixní složky. Variabilní složka (20 % ceny vodného a stočného) je náklad na samotnou vodu, její dodání a odvedení. Fixní složka (80 % ceny vodného a stočného) jsou náklady údržbu, rekonstrukce, mzdy, nájem obcím v případě cizího provozovatele. Většina lidí se přiklání k názoru, že výsledná cena je důsledkem špatné transformace společností ze státního sektoru na soukromý. Nelze opomenout, že provozovatelům vzrostly náklady na surovou vodu. Cca 30 % nákladů je na nájemné, které se platí vlastníkům sítí a to obcím. Část peněz jde na obnovu sítě, protože řada vodovodních sítí přežívá svojí životností. Je nutné připomenout i přísnou evropskou legislativu, kvůli které musela Česká republika proinvestovat mnoho miliard korun na čištění odpadních vod a odkanalizování obcí. Regulace ceny za vodné a stočné podléhá ministerstvu financí (MF), která ve svém věstníku vydává postupy na tvorbu výsledné ceny. Kde jsou započítány oprávněné náklady a přiměřený zisk. V případě pochybení v určení ceny jsou provozovatelé sítí postihováni finančními sankcemi. Všeobecným vodítkem pro cenovou regulaci je doporučení Světové zdravotnické organizace a Světové banky, kde je definována cena za vodné a stočné do výše 2 % průměrného příjmu domácností.

Ztráty vody v hl. m. Prahy byly v roce 2013 na historickém minimu 20,34 % dle oficiálních zpráv. Jde o dlouhodobě výrazné zlepšení, kdy ztráty gradovaly v roce 1996 na hodnotě 46,3 %. Za tímto výrazným poklesem stojí nejmodernější technika ve vyhledávání, rekonstrukce sítí a snaha o komplexní snížení ztrát. V nejbližší době už nelze očekávat výrazné snížení z mnoha důvodů. Nejzásadnějším důvodem je neustálé snižování spotřeby a potřeby pro domácnosti, protože domácnostem patří největší podíl spotřebitelů využívající vodovodní síť. Velký vliv na výsledky ztrát má tlak v síti a zimní období, kdy v případě tuhé zimy lze očekávat zvýšení a naopak při mírné zimě snížení ztrát. K udržení stávajících hodnot ztrát okolo 20 % VNF bude zapotřebí efektivněji využívat dotace z EU než doposud. Další snížení pod 20 % je už z ekonomického hlediska spíše ztrátové, případně pod 10 % je už prakticky nemožné.

Dlouhodobě sledované tlakové pásmo Rohožník se předvídatelně vyvíjí ve všech sledovaných veličinách. Za tříletého sledování na tomto pásmu je patrná pouze jedna výrazná anomálie a to ve čtvrtém čtvrtletí 2012 % VNF s ovlivněním prvního čtvrtletí 2013 JÚ. Dle pracovníků PVK, a.s. nedošlo k žádné havárii, ale

pouze byl přerušen provoz ČS z důvodu výměny šoupat na síti. Následný proplach a naplnění sítě (VP - vlastní potřeba vody) zapříčinily rozdíl ve fakturaci a zvýšení % VNF a JÚ. Někteří provozovatelé sítí ale nezapočítávají vodu pro vlastní potřebu (VP) do % VNF. Z výsledku je patrné, že tato voda k vlastní potřebě (VP), byla započítána do % VNF. V takto malém tlakovém pásmu jako je Rohožník, výrazně ovlivnila VP výslednou hodnotu % VNF. V případě dlouhé sítě s malým počtem odběratelů bude jiné vykazování % VNF, než u krátké sítě s velkým počtem odběratelů. Tímto je nutné konstatovat, že % VNF je nevyhovujícím kritériem pro hodnocení mezi různými vodohospodářskými společnostmi.

Při vyhodnocování ztrát všech tlakových pásem v hl. m. Praze se dospělo k nepatrnému rozdílu oproti oficiálním zprávám. Rozdíly činní desetiny %, příčinou je použitá statistická metoda aritmetického průměru v této práci. Z dostupných informací z PVK, a.s. jsou tyto výpočty provedeny programem na PC přes složité algoritmy. Z grafů gaussova rozdělení všech ztrát, lze vyzorovat záporné hodnoty % VNF. Příčinou záporné hodnoty je „přepásmování“ tlakových pásem. Ke kterému dochází při havárii ČS nebo vodojemu, kdy se dané pásmo napojí na nejbližší pásmo. Tím následně dojde k výrazným rozdílům ve fakturaci obou tlakových pásem. V jednom pásmu chybí velké množství VF a ve druhém naopak přebývá VF. Vyšší VF než VR v pásmu má za následek zápornou hodnotu % VNF. Naopak z pásma odkud byla brána voda, se může chvilkově jevit jako velmi poruchové z důvodu vysoké hodnoty % VNF a JÚ. Aby nedocházelo k těmto chybám při fakturaci, je třeba objem vody dodané do cizího pásma změřit a správně vyfakturovat ve správném pásmu.

11. ZÁVĚR

Tato práce měla shrnout komplexně téma ztrát vody z vodovodních sítí. Existuje mnoho oblastí jak hmotného tak i nehmotného charakteru, které ztráty vody přímo ovlivňují. Proto je začátek této práce věnován potřebě vody z důvodu jejího dlouhodobého poklesu. Včetně vysvětlení základních terminologií, výpočtů, ročních či hodinových potřeb a spotřeb vod.

Každý správce vodovodní sítě musí bezpodmínečně znát svoji spravovanou síť. Dokonalá znalost struktury sítě je předpokladem rychlého a efektivního vyhledání případného úniku vody. Tyto úniky se buď vyskytují v rozvodných sítích různého druhu vedoucí ke spotřebitelovi, nebo v privádním řadu většinou s výrazně vyšším únikem vody než v rozvodné síti. Dále bylo nezbytné si vysvětlit i základní

výpočty vodovodního potrubí, tlakové pásma a hydraulické ztráty. Protože pojem ztráty ve vodovodní síti lze rozdělit právě na hydraulické a nefakturované. Ztráty vody úniky závisí velkou měrou na použitých kovových nebo nekovových materiálech, trubním spojení, uložení potrubí a armaturách na síti.

Hlavní kapitola ztrát vody nejdříve objasňuje základní terminologii používaných zkratk při fakturaci vody. Jakou je voda k realizaci (VR), voda fakturovaná (VF) apod. Ve vyhodnocování ztrát vody lze používat několik kritérií, než doposud známých (% VNF a JÚ). Momentálně nejrozšířenější je stále procento vody nefakturované (% VNF) a přesnější jednotkový únik (JÚ) na přepočtenou délku sítě. Další podkapitola se věnuje detekci úniků pomocí akustických nebo neakustických přístrojů. Tyto přístroje prošly výraznou modernizací a využívají ty nejlepší moderní technologie. Ztráta vody je vždy důsledkem nějaké příčiny, jako je vada materiálu, poškození, pohyb půdy, stáří, apod. Důležitým krokem ve snížení ztráty je opatření k jejímu omezování, jako je volba správného materiálu, přesnější měření, apod.

Pro názornou ukázkou vývoje ztrát byla vybrána lokalita sídliště Rohožník, tak i všechny tlakové pásma v celém hl. m. Praze. V případě Prahy se dostupné výsledky z dvouletého měření porovnaly s oficiálními výsledky. Byly shledány nepatrné rozdíly v desetinách %, které jsou zapříčiněny odlišným matematickým postupem. PVK, a.s. využívá pro tyto operace složité algoritmy výpočtů pomocí PC, kdežto v této práci bylo použito pouhého aritmetického průměru všech % VNF. V případě vyhodnocení sídliště Rohožník se dospělo k výsledku, že provozovatel PVK a.s. započítal do % VNF i vodu pro vlastní potřebu (VP).

Plánovaný cíl bakalářské práce byl splněn. To znamená, že došlo ke sjednocení roztráštěných informací k problematice ztrát vody z vodovodní sítě. Včetně autorova prohloubení znalostí ve vodárenství a hlavně ztrát vody z vodovodních sítí. Objasnila se nevýhodnost vykazování ztrát vody v % VNF, která neumožňuje reálného srovnání většiny provozovatelů. Příčinou jsou rozdílné délky sítí a počty odběratelů. Jako nejvýhodnější se jeví kritéria JÚ a měrných ztrát (MZ).

Do doby zpracování této bakalářské práce jsem předpokládal, že nejvíce ztrát vody je v důsledku černých odběrů. V průběhu zpracování práce jsem dospěl k názoru, že tomu tak není a že černé odběry zaujímají pouze velmi malý podíl ztrát. Touto prací jsem se utvrdil o mém zájmu všeobecně o vodu, tak i o obor vodárenství. V budoucnosti bych chtěl pokračovat v tomto oboru i v mém zaměstnání.

12. POUŽITÉ ZDROJE

Kniha:

- **ADERLOVÁ B., 2013:** Ztráty vody – měření na síti – opatření ke snížení ztrát s aplikací na lokalitě Vizovice. „*Nepublikovaná diplomová práce*“, ČVUT, FSv, Praha, 72 s.
- **AMBRUSOVÁ E. a ŠROMOVÁ E., 2009:** Vyvlastňovací řízení od A do Z. *nakladatelství ANAG, Olomouc, 232 s.*
- **BERÁNEK J., 2004:** Inženýrské sítě. *VUT Brno, Brno, 199 s.*
- **BREEN J., 2006:** Expected lifetime of existing PVC water distribution systems. *TNO Report, Eindhoven, 68 s.*
- **BUTLER D. a MEMON F. A., 2006:** Water demand management. *IWA Publishing, London, 361 s.*
- **ČERMÁK O., MARTOŇ J., ČERMÁKOVÁ M., BISKUPIČ F., 1991:** Vodárenstvo: Návodý na cvičenia 1. *Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, 258 s.*
- **ČIHÁKOVÁ I., 2005:** Očekávaný vývoj v zásobování a distribuci pitné vody v České republice. *ČVUT Praha, Praha, 26 s.*
- **FARLEY M. a STUART T., 2003:** Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, Monitoring and control. *IWA, London, 282 s.*
- **GRÜN WALD A., MACEK L., ŠRYTR P., 1998:** Vodárenství. *Český svaz stavebních inženýrů, Praha, 189 s.*
- **HASÍK O. a DOSTÁLOVÁ J., 2002:** Stavby pro zásobování vodou a odkanalizování. *VŠB Ostrava, Ostrava, 116 s.*
- **HASÍK O., 2006:** Stavby vodovodů a kanalizací. *VŠB Ostrava, Ostrava, 132 s.*
- **HESEL J., 2007:** 100 Jahre Nutzungsdauer von Rohren aus Polyethylen. *3R International, Eindhoven, 64 s.*
- **CHEJNOVSKÝ P., 2007:** Vodárenství – vodovodní sítě. *Medim, Líbeznice, 66 s.*
- **JERMÁŘ M., 1982:** Vodní hospodářství. *Nakladatelství technické literatury, Praha, 218 s.*
- **KRÁLODVORSKÉ ŽELEZÁRNY, 1997:** Vodovodní potrubí z tvárné litiny. *Královské železářny, Králův Dvůr, 98 s.*
- **KROČOVÁ Š., 2004:** Provozování distribučních sítí pitných vod. *VŠB Ostrava, Ostrava, 84 s.*
- **KROČOVÁ Š., 2006:** Havárie a řízení vodního hospodářství. *VŠB Ostrava, Ostrava, 96 s.*

- **MILERSKY M., 2009:** Vliv dopravy na ztráty vody. „Nepublikovaná diplomová práce“, ČVUT, FSv, Praha, 72 s.
- **NOVÁK J. a kol., 2003:** Příručka provozovatele vodovodní sítě. *Medium, Líbeznice, 151 s.*
- **NEUWIRTH A., 1996:** Úvod do vodního hospodářství. *VŠB Ostrava, Ostrava, 171 s.*
- **PAVLOK B., 2011:** Potrubní systémy a armatury. *VŠB Ostrava, Ostrava, 142 s.*
- **RATNAYAKA D. D., BRANDT M.J., JOHNSON M., 2009:** Water supply. *Butterworth – Heinemann, Oxford, 704 s.*
- **ŘEHOŘ E. a CHALUPA M., 1986:** Ztráty vody a jejich omezování. *Ministerstvo lesního a vodního hospodářství, Praha, 331 s.*
- **SMITH A. L., FIELDS K. A., CHEN A. S. C. TAFURI A. N., 2000:** Options for leak and break detektion and rapair of drinking water systems. *Battelle Press, Columbus OH, 180 s.*
- **STEPHENSON D., 1989:** Pipeline Design for water engineers. *Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 262 s.*
- **SYNÁČKOVÁ H., 2006:** Vyhodnocení ukazatelů ztrát vod. „Nepublikovaná diplomová práce“, ČVUT, FSv, Praha, 60 s.
- **SYNÁČKOVÁ M., 1996:** Čistota vod. *ČVUT Praha, Praha, 208 s.*
- **ŠRYTR P. a kol., 1998:** Městské inženýrství I. *Academia, Praha, 434 s.*
- **TESAŘÍK I., 1985:** Vodárenství. *Nakladatelství technické literatury, Praha, 487 s.*
- **TESAŘÍK I., 1987:** Vodárenství. *Nakladatelství technické literatury, Praha, 436 s.*
- **THORNTON J., 2002:** Water Loss control manual. *McCraw – Hill Professional, Richmond, 645 s.*
- **TUHOVČÁK L., ADLER P., KUČERA T., RACLAVSKÝ J., 2006:** Vodárenství. *VUT Brno, Brno, 252 s.*
- **VIŠŇOVSKÝ P., 1980:** Vodárenstvo I. *Edičné stredisko Slovenské vysoké školy technické, Bratislava, 300 s.*
- **VRÁNA J., 2005:** Voda a kanalizace v domě a bytě – Instalátérské práce. *Grada Publishing, a.s., Praha, 148 s.*
- **ZLÁMAL K., 1977:** Hledání poruch ve vodovodním potrubí. *SZN, Praha, 125 s.*

Článek v časopise:

- **ČIHÁKOVÁ I. a RADKOVSKÁ E., 2005:** Kritéria vyhodnocování hospodaření s vodou. *Sovak 2005/11: 6 - 8.*
- **KABELE K. a MUSIL R., 2006:** Analýza spotřeby vody v bytových domech. *Topenářství instalace 2006/7: 32 - 34.*
- **KŮRA O., 2010:** Smartball – úspěšná premiéra v České republice. *Nodig 2010/16: 5 - 7.*
- **LAMBERT A. O., BROWN T. G., TAKIZAWA M., WEINER D., 1999:** A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *J water SRT - aqua 1999/48: 227 - 237.*
- **MACEK L., 2004:** Navrhovat okružové nebo větvné sítě?. *Sovak 2004/4: 26 - 28.*
- **NEZBEDOVÁ E. a VINARSKÝ P., 2008:** Specifikace aplikace sklolaminátových potrubí. *Slovgas 2008/1: 4 - 7.*
- **RADKOVSKÁ E., 2004:** Kritéria pro vykazování ztrát vody u společnosti Veolia water v České republice. *Sovak 2004/4: 3 - 4.*
- **ZEITER P., 2010:** Korrekte Ermittlung von Zeta-Werten. *GWA 2010/10: 883 - 893.*

Internetové zdroje:

- **BERKA J., KASAL R., CIHLÁŘ J., 2010:** Měření a výpočet kapacity vodovodních přivaděčů – matematické modelování. *VRV a.s., Praha, online: www.smv.cz/res/data/051/005770.pdf?seek=5, cit. 5. 3. 2014.*
- **HRDLIČKA P., 2011:** Zásobování pitnou a požární vodou. *online: http://15124.fa.cvut.cz/?download=/_predmet.tzi2/zasobovani-vodou---11.10.2011.pdf, cit. 4. 3. 2014*
- **ISSaR, 2014:** Ztráty vody ve vodovodní síti, ČR [%]. *online: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1632>, cit. 4. 3. 2014*
- **KOHOUTOVÁ Z., 2008:** Kolik vody spotřebujete a kde všude se dá ušetřit. *MF DNES, Praha, online: http://finance.idnes.cz/kolik-vody-spotrebujete-a-kde-vsude-se-da-usetrit-fbw-/viteze.aspx?c=A080331_012434_viteze_hla, cit. 30. 12. 2013*
- **MAGISTRÁT HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY, 2011:** Praha životní prostředí 2011. *online: [http://envis.praha-mesto.cz/\(zxuigiae1l0uje45pl11y355\)/zdroj.aspx?typ=3&ld=83851&sh=682057822](http://envis.praha-mesto.cz/(zxuigiae1l0uje45pl11y355)/zdroj.aspx?typ=3&ld=83851&sh=682057822), cit. 11. 3. 2014*
- **NOVÁČEK P., 2011:** Požadavky na provádění vodovodních řadů a přípojek. *Ostravské vodárny a kanalizace a.s., Ostrava, online: <https://verejnezakazky.ostrava.cz/files/46802a44259755d/52d916a90bc26ZD-Priloha-8-209-2013.pdf>, cit. 23. 2. 2014*

- **MĚSTO ÚVALY, 2010:** Dostavba a rekonstrukce vodovodu Úvaly. *online:*
http://www.mestouvaly.cz/e_download.php?file=data/messages/obsah61_4.pdf&original=zduvodneni_projektant.pdf, cit. 15. 3. 2014
- **MZe, 2008:** Plán rozvoje vodovodů a kanalizací na území České republiky. *online:*
http://eagri.cz/public/web/file/40130/PRVKU_CR_Souhrnna_zprava.pdf, cit. 14. 2. 2014
- **MZe, 2012:** Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky. *online:*
http://eagri.cz/public/web/file/271059/Modra_zprava_final.pdf, cit. 4. 3. 2014
- **PRAHA 21, 2014:** Městská část Praha 21. *online:* <http://www.praha21.cz>, cit. 15. 3. 2014
- **PRAŽSKÝ DENÍK, 2007:** Sídliště Rohožník má pitnou vodu s fekáliemi. *online:*
http://prazsky.denik.cz/zpravy_region/sidliste_rohoznik20070623.html, cit. 15. 3. 2014
- **PVK, 2012:** Spotřeba vody, *online:* <http://www.pvk.cz/spotreba-vody.html>, cit. 11. 3. 2014
- **PVK, 2013:** Výroční zpráva PVK 2013, *online:* <http://www.pvk.cz/vyrocnizpravy.html?downloadID=1562>, cit. 11. 3. 2014
- **PVK, 2014a:** Cena vody v r. 2014 zůstane pod celostátním průměrem, *online:*
<http://www.pvk.cz/clanek/v-praze-se-zvysi-cena-vody-jen-o-2-procenta.html#UxT9eEqLnF8>, cit. 4. 3. 2014
- **PVS, 2014:** O firmě, *online:* <http://www.pvs.cz/#2/17/profil/o-firme>, cit. 12. 3. 2014
- **SEBAK, 2014:** Smartball – systém kontroly tlakových potrubí, *online:*
<http://www.sebak.cz/?left=1&pg=system-kontroly-tlakovych-potrubi>, cit. 3. 3. 2014
- **SEBAKMT, 2014:** Detekce úniků vody, *online:*
<http://www.sebakmt.com/cz/products/vodovodni-site/detekce-uniku-vody.html>, cit. 2. 3. 2014
- **SYNÁČKOVÁ M., 2010:** Vodárenství. *online:* www.nestorage.czu.cz, cit. 14. 2. 2014
- **TLAKINFO, 2011:** PN se týká ČSN EN 1333/130009/. *online:*
<http://www.tlakinfor.cz/t.py?t=2&i=1819>, cit. 14. 2. 2014
- **VaK HODONÍN, 2007:** Hodonínské standardy - pro vodovodní síť. *online:*
http://www.vak-hod.cz/vak/vak/zakaznickeCentrum/technicke/standardy_vodovodni.pdf, cit. 14.2.2014
- **VESELÁ R., 2008:** Vývoj ztrát vody a jejich hodnocení v ČR. VUT FAST Brno, Brno, *online:*
http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/3/Vesela_Renata_CL.pdf, cit. 27. 2. 2014

- **VHOS, 2013:** Technické standardy pro vodovody a vodovodní přípojky, které provozuje VHOS, a.s.. *online:* [http://www.vhos.cz/eag_cz/resources/608322290843725615_634210849983931025_XV3N\\$6gl.pdf](http://www.vhos.cz/eag_cz/resources/608322290843725615_634210849983931025_XV3N$6gl.pdf), cit. 19. 2. 2014.
- **VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, 2009:** Detekce a lokalizace poruch. Brno, *online:* <http://www.vodarenska.cz/divize-brno-venkov/detekce-a-lokalizace-poruch>, cit. 2. 3. 2014

Ostatní zdroje:

- **Anonym, 2014:** Konzultace se zaměstnancem PVK a.s., který nechtěl být jmenován
- **PVK, 2014b:** Výkresy vodovodních sítí dodané firmou PVK a.s.
- **PVK, 2014c:** Celkové přehledy všech tlakových pásem v Praze za rok 2012 a 2013
- **PVK, 2014d:** Provozní řád čerpací stanice a vodojemu Rohožník

Internetové zdroje obrázků:

- **URL 1:** Cast Iron Pipe Mould (online) [cit. 2. 2. 2014], dostupné z <http://image.ec21.com/image/haventung/oimg_GC04105734_CA04163837/Cast_Iron_Pipe_Mould.jpg>
- **URL 2:** Kompletní dodávky trubních materiálů (online), [cit. 2. 2. 2014], dostupné z <<http://www.jokva.cz/gal/1289831891.JPG>>
- **URL 3:** Stainless Steel Feed Water Pipe (online), [cit. 3. 2. 2014] <http://www.mockroos.com/ro/monthlyImages/2010-05/316_Stainless_Steel_Feed_Water_Pipe.JPG>
- **URL 4:** Asset Management: Using Alternative Materials to Address Replacement Cost and Maintenance Concerns (online), [cit. 3. 2. 2014] dostupné z <<http://www.waterworld.com/content/dam/ww/print-articles/2013/03/baird-blue-pvc-pipes-1303ww.jpg>>
- **URL 5:** PE potrubí vodovodní tlakové (online), [cit. 3. 2. 2014] dostupné z <<http://www.gascontrolplast.cz/photo/vodovodni01.jpg>>
- **URL 6:** HOBAS GRP pipe (online), [cit. 3. 2. 2014] dostupné z <http://gs-press.com.au/images/news_articles/cache/GRP_Jacking_Coupling1-600x0.jpg>
- **URL 7:** SAINT-GOBAIN PAM CZ (online), [cit. 3. 2. 2014] dostupné z <<http://www.trubnisystemy.info/download/cms/images/77-1360832921.jpg>>
- **URL 8:** Katalog produktů ATJ special (online), [cit. 4. 2. 2014] dostupné z <<http://www.atj.cz/produkty/foto/209.jpg>>

- **URL 9:** Přivaděč pitné vody d630 mm - Dolní Roveň (online), [cit. 5. 2. 2014] dostupné z <<http://www.titan-metalplast.cz/Reference/akce/privadec/PICT0041.JPG>>
- **URL 10:** Katalog produktů ATJ special (online), [cit. 5. 2. 2014] dostupné z <http://www.atj.cz/userfiles/image/rez_soupatkem.jpg>
- **URL 11:** DeZURIK products (online), [cit. 6. 2. 2014] dostupné z <<http://www.dezurik.com/products/apco-cushioned-swing-check-valves-cvs-image-1.jpg>>
- **URL 12:** Armatury vodárenské (online), [cit. 6. 2. 2014] dostupné z <<http://www.plastmont.cz/voda/armatury5/o01.jpg>>
- **URL 13:** Lov na nadzemní hydranty (online), [cit. 6. 2. 2014] dostupné z <<http://storage.pozary.cz/2007/09/48283f2eea83d/4c8184b6901a6/1024x768.jpg>>
- **URL 14:** Ventily pro redukci tlaku (online), [cit. 7. 2. 2014] dostupné z <http://www.hawle.cz/CatalogSheetsCache/1500/1500_1.jpg>
- **URL 15:** Průmyslové vodoměry Helix (online), [cit. 7. 2. 2014] dostupné z <<http://www.pokorny-vodomery.cz/static/gallery/produkty/prumyslove-vodomery-h4000-helix-wp-8/main-prumyslovy-vodomer-h4000-helix-wp.jpg>>
- **URL 16:** Lešení už vodojem nesvívá, uvnitř práce pokračují (online), [cit. 7. 2. 2014] dostupné z <http://g.denik.cz/57/54/25_3909_vodojem_hladnov_denik-380.jpg>
- **URL 17:** Výstavba inženýrských a průmyslových – reference (online), [cit. 7. 2. 2014] dostupné z <<http://www.eko-kv.cz/stavby/vitkovahora/vit6.JPG>>
- **URL 18:** Kompaktní vodoměrné šachty Aquion Danwell (online), [cit. 9. 2. 2014] dostupné z <http://www.stavebnictvi3000.cz/obr/clanky2/2008/09_aquion-sachta_1.jpg>
- **URL 19:** Přenosný ultrazvukový průtokoměr PrimeFlo-T (online), [cit. 15. 2. 2014] dostupné z <<http://www.radeton.cz/ckfinder/userfiles/images/pics/products/cs/Voda/PrimeFlo-T/instal.jpg>>
- **URL 20:** Datalogger XiLog med SMS (online), [cit. 15. 2. 2014] dostupné z <http://www.detektor.no/Resource/File/0/xilog3_sharp.jpg>
- **URL 21:** Snímač šumu s dálkovým přenosem Phocus.sms (online), [cit. 20. 2. 2014] dostupné z <http://www.radeton.cz/data/fotogalerie/59/PhocusSMS_new1.jpg>
- **URL 22:** Korelátor Eureka3 (online), [cit. 20. 2. 2014] dostupné z <<http://www.radeton.cz/data/fotogalerie/123/foto4.jpg>>
- **URL 23:** Korelátory (online), [cit. 20. 2. 2014] dostupné z <http://www.sebakmt.com/uploads/tx_j2prodpics/Correlux-P250-Illustration.jpg>

- **URL 24:** Půdní mikrofony (online), [cit. 15. 2. 2014] dostupné z <http://www.radeton.cz/data/fotogalerie/66/mikron_1.jpg>
- **URL 25:** Poslechový systém Mikron (online), [cit. 17. 2. 2014] dostupné z <http://www.radeton.cz/data/fotogalerie/57/hykron_4.jpg>
- **URL 26:** Dotyková tyč do jedné ruky (online), [cit. 17. 2. 2014] dostupné z <http://www.radeton.cz/data/fotogalerie/65/LS01_2.JPG>
- **URL 27:** Půdní mikrofony a H2 (online), [cit. 20. 2. 2014] dostupné z <http://www.sebakmt.com/uploads/tx_j2prodpics/HL-H2.jpg>
- **URL 28:** Leak detector is on a roll (online), [cit. 21. 2. 2014] dostupné z <<http://www.canadianbusiness.com/wp-content/uploads/2011/05/2dad76c946c0aa7d82732bfd09c9.jpeg>>

13. PŘÍLOHY

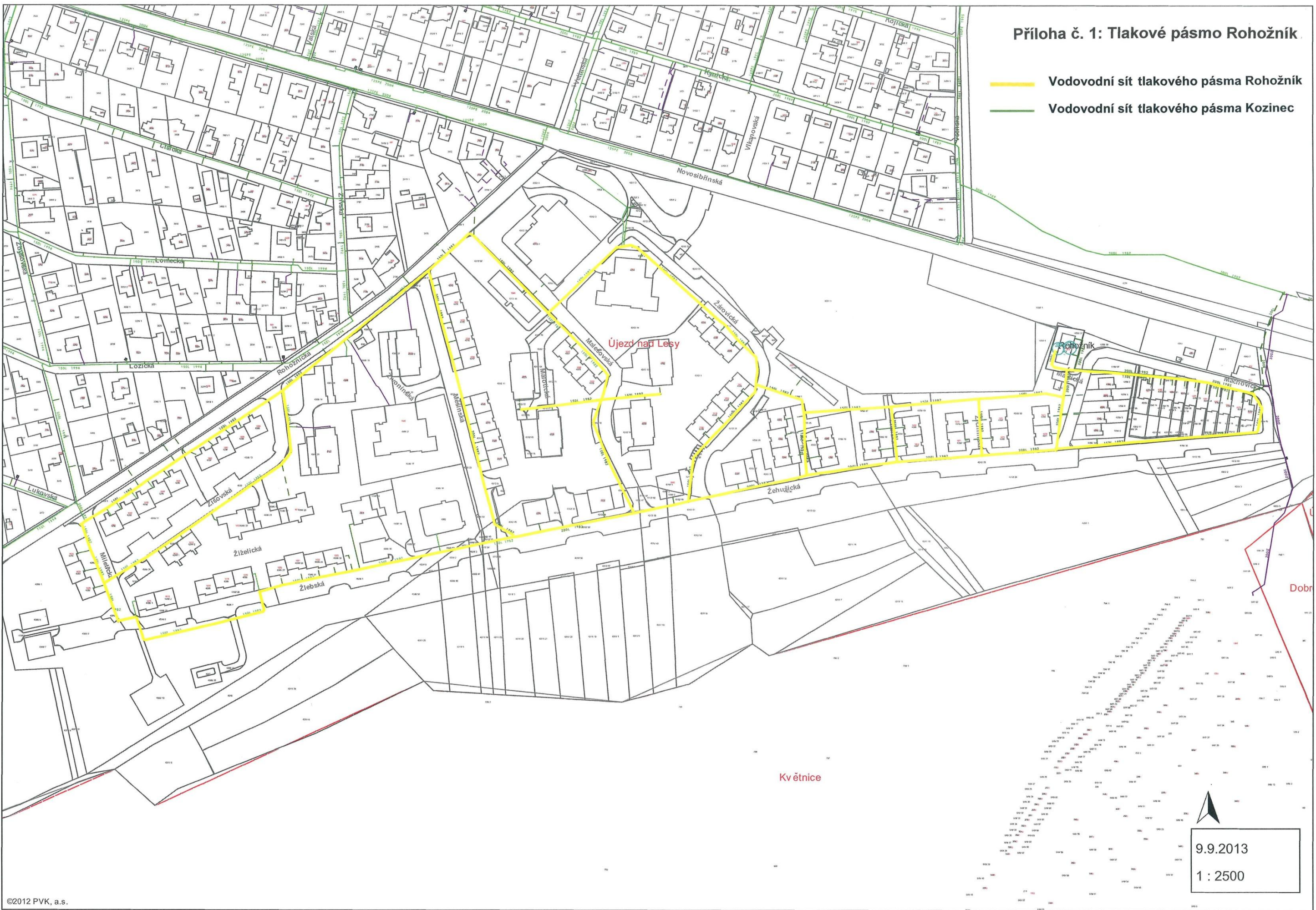
Příloha č. 1: Tlakové pásmo Rohožník

Příloha č. 2: Automatická čerpací stanice Rohožník

Příloha č. 3: Fotodokumentace

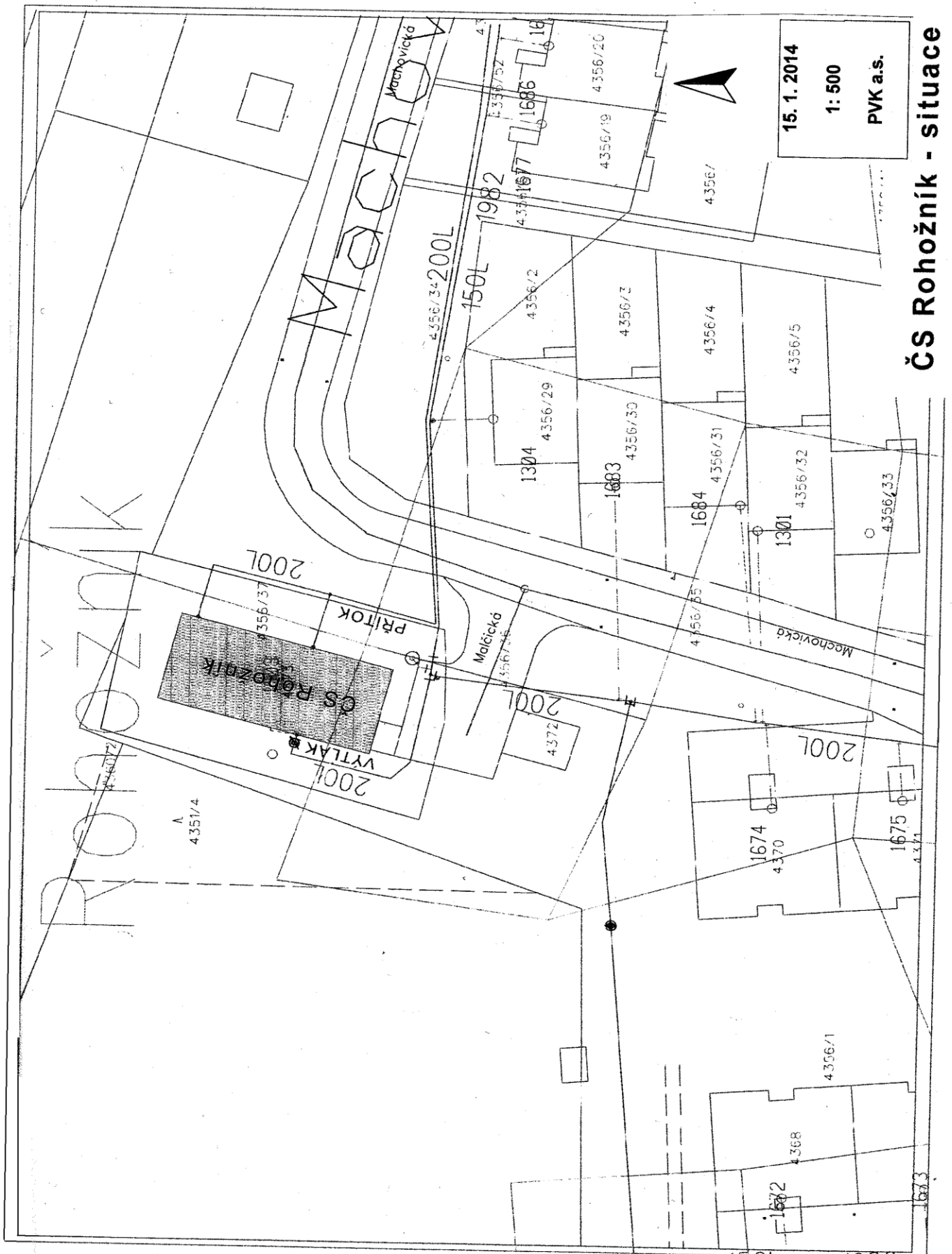
Příloha č. 1: Tlakové pásmo Rohožník

-  **Vodovodní síť tlakového pásma Rohožník**
-  **Vodovodní síť tlakového pásma Kozinec**



9.9.2013
1 : 2500

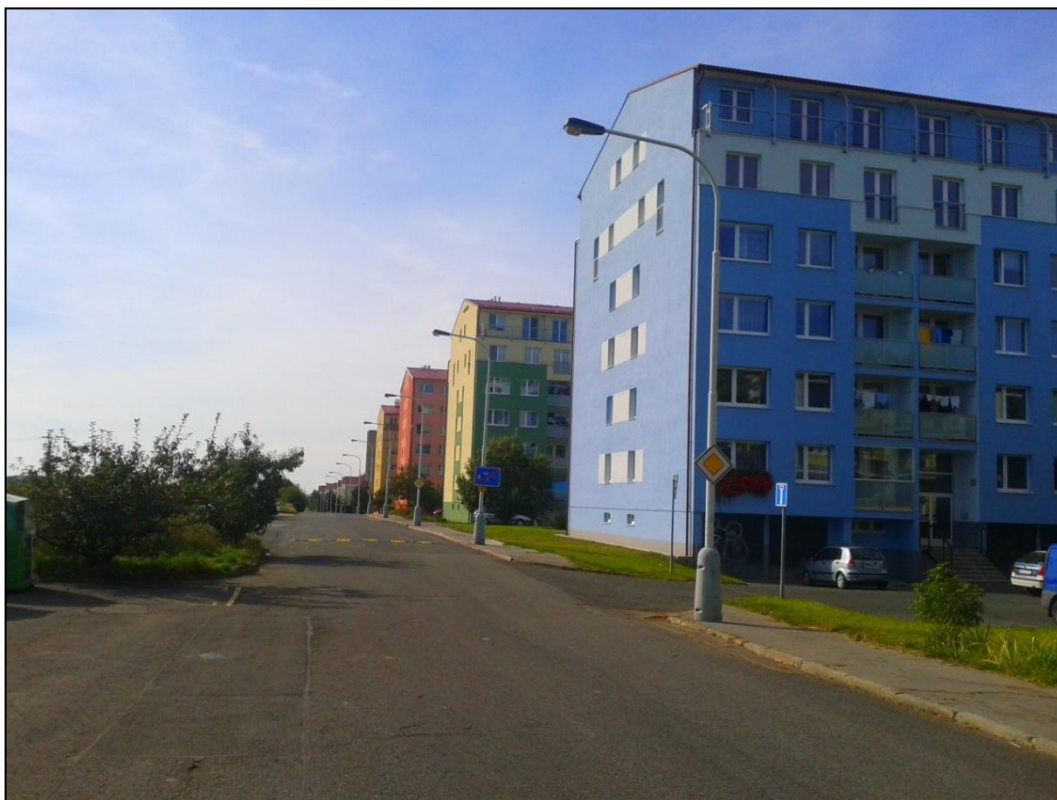
Příloha č. 2: Automatická čerpací stanice Rohožník



Příloha č. 3: Fotodokumentace



Obr. 3.1 - Pohled na východ na sídliště Rohožník (autor práce 2013)



Obr. 3.2 - Pohled na západ na sídliště Rohožník (autor práce 2013)



Obr. 3.3 - Pohled na čerpací stanici Rohožník (autor práce 2013)



Obr. 3.4 - Pohled na čerpací stanici Rohožník (autor práce 2013)



Obr. 3.5 - Zásahové vozidlo pro vyhledávání úniků ze sítě (autor práce 2014)



Obr. 3.6 - Vnitřek zásahového vozidla pro vyhledávání úniků ze sítě (autor práce 2014)



Obr. 3.7 - Příčný lom a následný únik vody (<http://www.allianceforwaterefficiency.org> 2014)



Obr. 3.8 - Oprava příčného lomu (<http://www.ahaonline.cz> 2014)