



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

SLEDOVÁNÍ JAKOSTI VODY VE VYBRANÉM VODOVODU

WATER QUALITY MONITORING IN THE SELECTED WATER SUPPLY SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marie Janišová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

BRNO 2018




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

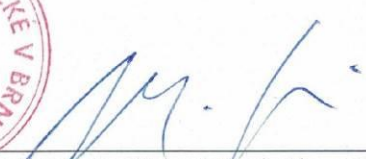
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ing. Marie Janišová
Název	Sledování jakosti vody ve vybraném vodovodu
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017


doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu


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



PODKLADY A LITERATURA

[1] LETTERMAN, Raymond D. (ed.). Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5th ed. New York: McGraw-Hill, c1999. ISBN 0070016593.

[2] TILLMAN, Glenn M. Water treatment: troubleshooting and problem solving. Chelsea, Mich.: Ann Arbor Press, c1996, 156 s. ISBN 15-750-4001-8.

[3] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].

[4] KRIŠ, Jozef, Oskár ČERMÁK a Ivona ŠKULTÉTYOVÁ. Vodárenstvo 1: Zásobovanie vodou. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2426-2.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude zabývat jakostí vody ve vybraném vodovodu. Cílem bude provést zhodnocení možného vlivu distribuční sítě na jakost dopravované vody. Studentka vyhodnotí časovou řadu výsledků rozborů jakosti vody (povinně prováděných i provozních), dále bude ve vytipovaných místech sítě provedena kontrolní série rozborů vybraných ukazatelů jakosti přímo studentkou. Výsledky rozborů budou porovnávány s evidencí stížností odběratelů. Součástí práce bude i návrh potenciálních opatření k eliminaci nepříznivých vlivů distribuční sítě na jakost pitné vody.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Záměrem bakalářské práce je posouzení jakosti vody ve vybraném vodovodu a vlivu distribuční sítě na jakost dopravované vody. První část práce obsahuje teoretické ukotvení tématu, v další části jsou uvedeny informace o vybrané oblasti, rozvodné síti a prováděných rozborech vody. Zde je navázáno vlastními sériemi rozborů vody a samotnou analýzou výsledných hodnot rozborů vybraných ukazatelů jakosti vody. V poslední části práce je zhodnocen vliv sítě na vlastnosti vody a proveden návrh opatření k eliminaci nepříznivých účinků distribuční sítě.

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to assess the quality of the water in the water supply system and the influence of the distribution system on the quality of the transported water. The first part of thesis defines the theoretical basis on which it is based on practical part. The next part contains information about the area, the distribution system and water analyzes. This is followed by its own series of water analyzes and the analysis of the resulting values of water quality indicators. The last part of the thesis evaluates the influence of the network on the water properties and has been designed measures to eliminate the adverse effects of the water supply.

Klíčová slova

Jakost vody, odkalování vodovodu, rozbor vody, distribuční síť

Keywords

Water quality, Decontamination of Water Supply System, Water Analysis, Water Supply

Bibliografická citace

Marie Janišová *Sledování jakosti vody ve vybraném vodovodu*. Brno, 2018. 54 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 19. 5. 2018

OBSAH

Úvod.....	9
1 Cíle práce, metody a postupy zpracování	10
1.1 Cíle práce	10
1.2 Metody a postupy zpracování	10
2 Teoretická východiska práce	11
2.1 Legislativa v oblasti jakosti vody.....	11
2.1.1 Senzorika pitné vody v legislativě ČR.....	12
2.2 Limity ukazatelů kontrola jakosti pitné vody.....	13
2.2.1 Limity pitné vody.....	13
2.2.2 Rozbory vody.....	14
2.3 Metody stanovení vybraných ukazatelů jakosti vody	14
2.4 Vlastnosti pitné vody.....	15
2.4.1 Organoleptické vlastnosti	15
2.4.2 Fyzikální a chemické vlastnosti.....	16
2.5 Příčiny zhoršení jakosti pitné vody	18
2.5.1 Biologické zdroje a procesy.....	18
2.5.2 Vliv distribuční sítě na jakost vody	19
2.6 Provozní činnosti údržby vodovodů.....	21
3 Lokalita pro rozbor jakosti vody.....	22
3.1 Vodovody a kanalizace Jesenicka, a.s.....	22
3.2 Skupinový vodovod Jeseník - Mikulovice	23
3.2.1 Zdroje surové vody	23
3.2.2 Úpravna vody.....	23
3.2.3 Vodojemy ve vodovodu.....	23
3.2.4 Distribuční síť	24
4 Zhodnocení jakosti vody.....	26
4.1 Analýza úplných a krácených rozborů vody	26
4.1.1 Jakost vody na úpravně vody Adolfovice.....	26
4.1.2 Jakost vody ve vodojemu Křížový vrch	27
4.1.3 Jakost vody v rozvodné síti.....	29
4.2 Analýza vlastních sérií rozborů vybraných ukazatelů jakosti vody.....	29

4.2.1	Lokalita pro rozbory vody	29
4.2.2	Měřené ukazatele jakosti vody	30
4.2.3	Přístroje pro měření jakosti vody	31
4.2.4	Výsledné hodnoty sérií měření	31
5	Závěr	48
	Seznam použité literatury	50
	Seznam grafů	52
	Seznam tabulek	53
	Seznam obrázků a rovnic	54
	Přílohy	55

ÚVOD

Pitná voda podle platné právní úpravy je zdravotně nezávadná voda, která při trvalém požívání negativně nepůsobí na zdraví osob. Vodárenské společnosti se při úpravě vody ze surové na pitnou řídí požadavky na zdravotní nezávadnost a jakost dodávané pitné vody. Jakost pitné vody je upravena vyhláškou a hodnoty stanovených ukazatelů jsou podle předpisu kontrolovány.

Za nedílnou součást jakosti vody je nutno považovat to, jak vnímá kvalitu vody veřejnost. Je nutné, aby měli spotřebitelé důvěru ve vodu jako produkt. K tomu je zapotřebí, aby měla voda uspokojivé ty vlastnosti, které je schopen každý člověk individuálně hodnotit a přirozeně si podle nich dělá úsudek o kvalitě vody. Jedná se o organoleptické vlastnosti zahrnující především barvu, chuť a pach. *„Vodárenské společnosti nemohou nikdy považovat za vyhovující stav, při němž pitná voda sice odpovídá všem hygienickým požadavkům, ale spotřebiteli nechutná“* (M. Rouse, prezident IWA – International Water Association, 2003).

Bakalářská práce je zaměřena na posouzení jakosti vody ve vodovodu. Byly provedeny rozbory vody a vyhodnocen vliv distribuční sítě na dodávanou pitnou vodu.

1 CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

1.1 CÍLE PRÁCE

Globálním cílem práce je určit, zda jakost vody ve vybraném vodovodu odpovídá hygienickým požadavkům na pitnou vodu dle souvisejících právních předpisů, zhodnotit vliv a navrhnout opatření k eliminaci nepříznivých účinků distribuční sítě na jakost pitné vody.

Tohoto hlavního cíle bude dosaženo prostřednictvím vypracování dílčích cílů:

- vypracování podkladů k posouzení jakosti vody v navazujících částech práce,
- analýza možných vlivů na jakost vody,
- zhodnocení časové řady výsledků rozborů vody,
- provedení rozborů vzorků vody ve stanovené oblasti,
- posouzení organoleptických vlastností vody z hlediska přijatelnosti a důvěryhodnosti pro odběratele,
- zhodnocení vlivu distribuční sítě na jakost pitné vody.

1.2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce je rozdělena na tři základní části. První část je teoretická, jsou zde na základě odborných zdrojů vymezeny východiska pro praktickou část. V další části jsou uvedeny informace o vybrané obci a distribučním systému vody, o lokalitě vytipované pro měření jakosti vody a o možných vlivech sítě na jakost vody, na což bylo navázáno v poslední části práce při rozboru vzorků vody a jejich vyhodnocení.

V práci jsou dále využity metody deskripce, komparace, analogie, indukce a dedukce.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

V následující části práce je uvedeno teoretické ukotvení tématu, k čemuž jsou využity relevantní zdroje.

2.1 LEGISLATIVA V OBLASTI JAKOSTI VODY

Mezi stěžejní legislativní dokumenty oblast vodárenství patří zákon č. **274/2001Sb. o vodovodech a kanalizacích, vyhláška č. 428/2001Sb.**, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. v platném znění a **vyhláška č. 252/2004Sb.**, kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost kontroly pitné vody.

Tyto dokumenty spolu s níže uvedenými tvoří legislativní rámec oblasti jakosti pitné vody.

Podle § 14odst. 1 zákona č. 274/2011Sb. musí pitná voda dodávaná odběratelům vodovodem splňovat požadavky na zdravotní nezávadnost pitné vody, stanovené zvláštními právními předpisy.

Těmi je **zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví**, kde jsou vymezeny hygienické požadavky na vodu v §3 takto:

*„Pitnou vodou je veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů a k dalším účelům lidské spotřeby. **Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody (dále jen "jakost pitné vody") se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů, které jsou upraveny prováděcím právním předpisem, nebo jsou povoleny nebo určeny podle tohoto zákona příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví. Hygienické limity se stanoví jako nejvyšší mezní hodnoty, mezní hodnoty a doporučené hodnoty.**“*

Hygienické limity v pitné vodě jsou v souladu se **Směrnicí Rady 98/83/ES** ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě, kdy je podpořena zásada **„předběžné opatrnosti“**. Tato zásada říká, že zmiňované hodnoty byly zvoleny k zajištění dlouhodobé bezpečné konzumace vody určené k lidské spotřebě, takže představují vysokou úroveň ochrany zdraví.

Dále v zákoně č. 275/2013 Sb. je pod § 14 odstavcem 2 uvedeno:

„Práva a povinnosti provozovatele a odběratele související se zdravotní nezávadností pitné vody stanoví zvláštní zákon.“

Pro účely práce bylo navázáno na zákon o ochraně veřejného zdraví. V souvislosti se zdravotní nezávadností pitné vody jsou zde uvedeny také tyto informace:

- Provozovatel je povinen zajistit, aby byly na jejich internetových stránkách nebo způsobem v místě obvyklým veřejně přístupné aktuální informace o jakosti dodávané pitné vody a chemických látkách a chemických směsích použitých k úpravě této vody.
- Provozovatel je povinen vypracovat provozní řád, který obsahuje:
 - a) údaje o zdroji a místu odběru vzorků surové vody,

- b) základní údaje o technologii úpravy vody, používaných chemických látkách a chemických směsích,
 - c) údaje o opatřeních nutných pro omezení nepříjemných rizik v celém systému zásobování,
 - d) předpokládaný počet zásobovaných osob,
 - e) monitorovací program,
 - f) posouzení rizik,
 - g) způsob vedení záznamů o kontrole funkce systému zásobování a o provádění údržby.
- Příslušný orgán ochrany veřejného zdraví rozhodnutím rozsah a četnost kontrol pitné vody stanovené prováděcím právním předpisem.
 - Nedodržení nejvyšší mezní hodnoty nebo mezní hodnoty jakéhokoli ukazatele, stanoveného prováděcím právním předpisem nebo povoleného nebo určeného podle tohoto zákona příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví, je provozovatel neprodleně prošetřit, zjistit jeho příčinu a přijmout účinná nápravná opatření. O těchto skutečnostech je povinen neprodleně informovat příslušný orgán ochrany veřejného zdraví. Orgán ochrany veřejného zdraví postupuje při šetření příčiny nedodržení hodnot ukazatelů jakosti pitné vody a určení nebo změně nápravných opatření.
 - Je-li nedodržení nejvyšší mezní hodnoty nebo mezní hodnoty ukazatelů pitné vody způsobeno vnitřním vodovodem nebo jeho údržbou, je provozovatel povinen informovat o tom odběratele.

Ve vyhlášce č. **252/2004 Sb.**, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody jsou vymezeny základní pojmy jakosti vody a kontrolní postupy. Příloha tohoto dokumentu obsahuje hygienické limity pro mikrobiologické, biologické, fyzikální a chemické ukazatele.

Minimální roční četnost odběrů a rozborů vzorků pitné vody pro provádění kontroly, zda voda má jakost pitné vody je stanovena v příloha č. 4 vyhlášky č. 252/2004 Sb. a závisí na počtu obyvatel v zásobené oblasti a na objemu rozváděné či produkované vody v oblasti (v m³/den).

Vyhláška dále říká, že se při odběru vzorku pitné vody postupuje podle metod obsažených v českých technických normách – např. ČSN EN ISO 5667-3 (Pokyny pro konzervaci vzorků a manipulaci s nimi), ČSN ISO 5667-14 (Pokyny k zabezpečení jakosti odběru vzorků vod a manipulace s nimi), ČSN ISO 5667-5 (Pokyny pro odběr vzorků pitné vody a vody využívané při výrobě potravin a nápojů).

2.1.1 Senzorika pitné vody v legislativě ČR

Senzorickým vlastnostem vody se postupem času dostává více pozornosti a jejich výskyt začíná být přísněji sledován. Na rozdíl od verbálních specifik organoleptických vlastností vody prof. Gustava Kabrhela v 30. letech 20. století:

- voda pitná svými vlastnostmi zevnějšími nesmí buditi odpor nebo ošklivost,
- voda pitná má míti po celý rok náležitou, přiměřenou studenost, která jest dána, jestliže teplota její udržuje se v mezích 7 – 11 °C,
- voda pitná má býti dobré a lahodné chuti (5, str. 10),

jsou v dnešní době upraveny vyhláškami a sledovány kontrolními orgány.

V roce 1991 nabyla účinnosti norma ČSN 75 71111 Jakost vod, která říká, že jakost vody tkví v tom, že její *smyslově postižitelné vlastnosti nebrání jejímu požívání* (6, str. 4). Tato norma byla v roce zrušena a nahrazena již zmiňovanou vyhláškou 252/2004 Sb., která byla dvakrát novelizována. Barva a zákal mají dané limitní (numerické) hodnoty, pach a chuť nejsou přímo vymezeny, je pouze stanoveno, že mají být přijatelné pro odběratele.

Důvodem pro regulaci „estetického“ aspektu vody je odradit spotřebitele od hledání snesitelnějších, ale možná méně bezpečných, zdrojů pitné vody (2, str. 147).

2.2 LIMITY UKAZATELŮ KONTROLA JAKOSTI PITNÉ VODY

Pro řádné provádění kontroly jakosti pitné vody by měla být dodržena četnost a rozsah rozborů vody podle odpovídajícího právního předpisu. Je také stanoven požadavek na místo pro odběr vzorků. Voda odpovídá jakosti pitné, pokud splňuje limity pro pitnou vodu.

2.2.1 Limity pitné vody

V § 2 vyhlášky 252/2004 Sb. jsou stanoveny dva typy limitů pitné vody. Těmi jsou mezní hodnota a nejvyšší mezní hodnota.

Mezní hodnota (MH) představuje hodnotu ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jedná se o horní hranici rozmezí přípustných hodnot.

Nejvyšší mezní hodnota (NMH) je hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví na základě zákona jinak.

Dále je stanoven třetí typ limitu dle § 3 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb., a to doporučená hodnota:

Doporučené hodnoty (DH) jsou nezávazné hodnoty ukazatelů jakosti pitné vody, které stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace dané látky.

Podle výše uvedené vyhlášky také nesmí pitná a teplá voda obsahovat **mikroorganismy, parazity a látky** jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví.

Podle § 3 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb. nesmí být u surových nebo pitných vod, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku, po úpravě obsah hořčíku nižší než 10 mg/l a obsah vápníku nižší než 30 mg/l. Radiologické ukazatele pitné vody a jejich limity stanoví zvláštní právní předpis - Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.

Tabulka v příloze č. 1 obsahuje mikrobiologické a biologické ukazatele pitné vody, jejich jednotky a limity. V příloze č. 2 jsou uvedeny ukazatele fyzikální a chemické. V příloze č. 4 je uveden souhrn organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody z přílohy č. 1B k vyhlášce č. 252/2004 Sb.

2.2.2 Rozbory vody

Ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. jsou definovány 2 druhy rozborů vody. Jedná se o úplný a krácený rozbor.

Podle přílohy č. 5 k vyhlášce č. 252/2004 Sb. je *Účelem kráceného rozboru ověřovat, zda jsou u odběratele dodržovány limitní hodnoty klíčových mikrobiologických, fyzikálně-chemických a organoleptických ukazatelů stanovených touto vyhláškou nebo příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví na základě zákona.*“

Jedná se o **22 ukazatelů**, které mohou být rozšířeny o relevantní ukazatele vyplývající z posouzení rizik. Ze skupiny mikrobiologických ukazatelů je možné uvést ukazatel *Escherichia coli*, koliformní bakterie a mikroskopický obraz (abioseston, počet organismů a živé organismy), který se stanovuje se v případě, je-li zdrojem povrchová voda. Dále z části fyzikálně-chemických a organoleptických ukazatelů jsou prováděny rozborů ukazatelů dusičnany, dusitany, hliník (v případě použití koagulačního činidla na bázi hliníku), chlor volný nebo jiná aktivní látka chemické dezinfekce, chuť, konduktivita, a další.

Účelem **úplného rozboru** je ověřovat, zda jsou dodržovány limitní hodnoty všech ukazatelů stanovených výše uvedenou vyhláškou v příloze č. 5, v tabulce B., nebo příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví. Jedná se o **65 ukazatelů** s předepsaným místem odběru vzorků vody.

V § 5 vyhlášky 252/2044 Sb. je uvedeno, že místa odběru vzorků u spotřebitele musí být volena tak, aby u zásobovaných oblastí zásobujících více než 5000 obyvatel více než 50 % míst odběru nebylo trvalých, ale měnilo se každý rok; u zásobovaných oblastí zásobujících 5000 a méně obyvatel nesmí být trvalých více než 65 % míst odběru. Měnící se místa odběru se vybírají metodou náhodného výběru nebo jinou vhodnou metodou, která zaručí, že žádný ze zásobovaných objektů nebude vyloučen z možnosti kontroly.

Minimální roční četnost odběrů vzorků pitné vody pro krácený a úplný rozbor se určí podle počtu obyvatel zásobované oblasti a podle objemu vody rozváděné (či produkované) v zásobované oblasti v m³/den.

2.3 METODY STANOVENÍ VYBRANÝCH UKAZATELŮ JAKOSTI VODY

Metody pro stanovení ukazatelů pitné vody jsou upraveny **českými technickými normami**. Pro klíčové ukazatele jakosti vody, obsažené v kráceném rozboru vody, se jedná například v případě **volného chloru** o ČSN ISO 7393-2 – Stanovení volného a celkového chloru, **CHSK_{Mn}** (Chemická spotřeba kyslíku): ČSN EN ISO 8467 - Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem, **dusitany**: ČSN EN 26777 - Stanovení dusitanů. Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda.

Pro mikrobiologické a biologické analýzy platí při stanovení ukazatele **koliformních bakterií** v pitné vodě norma ČSN EN ISO 9308-1 - Stanovení *Escherichia coli* a koliformních bakterií, **mikroskopický obraz** (počet organismů, živé organismy, abioseston):

Posuzování organoleptických vlastností vody se rovněž řídí normami, přičemž zákal je upraven ČSN EN ISO 7027 (757343) - **Stanovení zákalu**. Stanovení pachu a chuti: ČSN EN 1622 (757330) - **Stanovení prahového čísla pachu (TON) a prahového čísla chuti (TFN)**, TNV 75 7340 - Jakost vod - Metody orientační senzoričké analýzy. **Stanovení barvy** vody je upraveno normou ČSN EN ISO 7887 (757364). Metody pro stanovení **teploty** jsou upraveny v ČSN 75 7342.

2.4 VLASTNOSTI PITNÉ VODY

V následující části práce jsou popsány vybrané vlastnosti pitné vody, fyzikální, chemické a organoleptické.

2.4.1 Organoleptické vlastnosti

Při hodnocení kvality pitné vody se spotřebitelé spoléhají hlavně na své smysly, přičemž jsou pachové, chuťové a vzhledové charakteristiky vody ovlivněny chemickými, fyzikálními a mikrobiálními složkami vody. Pokud je voda mírně zakalená, má nepříjemnou chuť, nebo zapáchá, mohou ji spotřebitelé považovat za nebezpečnou, nepříjemnou a odmítají ji. (1, str. 7).

Senzoričké závady mohou, ale nemusí být spojeny se zdravotní závadností vody. Často se objevují v nižší koncentraci, než je zdravotní limit. Jsou spojeny s nespokojeností a stížnostmi spotřebitelů, budí nedůvěru v kvalitu vody. Jsou důležitým indikátorem různých forem znečištění, mohou upozorňovat na zdroje nebo závady v úpravě či distribuci vody. Je nutné vyšetřit příčinu, zvláště jde-li o náhlou změnu (6, str. 10).

Chuť a pach vody

Chuťové aspekty vody pocházejí částečně ze solí (obsah rozpuštěných pevných látek - Total Dissolved Solid - TDS) a přítomnosti kovů železa, mědi, hořčíku a zinku. Obecně platí, že vody s TDS nižší než 1200 mg/l jsou pro spotřebitele přijatelné, ačkoli jsou preferovány hodnoty nižší než 650 mg/l . Specifické soli mohou být z hlediska chuti významnější, zejména **chlorid hořečnatý** a **hydrogenuhličitan hořečnatý**. Bylo zjištěno, že síranové soli - síran hořečnatý a síran vápenatý jsou relativně neškodné. V tabulce níže jsou uvedeny prahové hodnoty chuti prvků (2, str. 149).

Tabulka 1: Prahové hodnoty chuti vybraných prvků (2, 6)

PRVEK	KONCENTRACE (mg/l)
Zinek	4,0 - 9,0
Měď	2,0 - 5,0
Železo	0,3
Hořčík	30,0
Vápník	100 - 300
Mangan	0,1
Sodík	200

Spotřebitelé v souvislosti s chuťovými aspekty vody velmi vnímají **chlor**, který při neutrální hodnotě pH má prahovou hodnotu vnímání chuti $0,3 \text{ mg/l}$ (2, str. 149).

Aktinomycety, houby a zejména řasy způsobují při různých koncentracích ve vodě odlišné pachy. Např. výskyt cyanophyceaeenostoc (sinice jednořadka) se projevuje při nízkých koncentracích zápachem, který lze přirovnat k plesnivinám, při vyšším výskytu ve vodě je cítit pach hniloby. Chuť takto „znečištěné“ vody je nasládlá (2, str. 150).

Zákal a barva

Běžné hodnoty **zákalu** v pitné vodě se pohybují v rozmezí $0,02 - 0,9$ NTU (Nephelometric Turbidity Units – hodnoty zákalu stanovené nefelometricky). Je způsoben přítomností **nerozpuštěných organických anorganických látek**, planktonu a mikroorganismů. Přítomnost zákalu zvyšuje zjevnou, nikoliv skutečnou barvu vody. Zákal je možné měřit dvěma technikami – nefelometricky a turbidimetricky. Jedná se o měření intenzity světla rozptýleného pod určitým úhlem (nefelometrie), nebo procházející vzorkem v původním směru (turbidimetrie). Zdrojem **zbarvení** vody jsou nejčastěji kovové ionty (železo a mangan) – rezavá barva, huminové látky – žlutá až žlutohnědá barva. Měření barvy vody probíhá porovnáním s platino-kobaltovou stupnicí [mg/l Pt] (2, str. 153).

Barva se pohybuje v nižších hodnotách u pitné vody s vyšší alkalitou a pH. Naopak se zvyšující se teplotou vody se hodnoty ukazatele zvyšují (7, str. 17).

Teplota

Teplota vody má vliv na četnost výskytu řady anorganických složek a chemických látek. Vyšší teplota má vliv na zvýšení růstu mikroorganismů a mohou se zde vyskytnout problémy spojené s chutí, zápachem a barvou (1, str. 230).

2.4.2 Fyzikální a chemické vlastnosti

Fyzikální a chemické vlastnosti pitné vody jsou níže popsány ukazateli, které byly vybrány s ohledem k jakostním poměrům ve vybraném vodovodu, kde byly zpracovány kontrolní série měření.

Alkalita

Alkalita vyjadřuje míru stability pH. Snížená alkalita je zpravidla doprovázena snížením pH. Uhličitany (CO_3) mohou ve vodě reagovat se železem za uvolňování (FeCO_3), což vede ke zvýšení zákalu a barvy a poklesu zásaditosti. Alkalita je obvykle měřena v mg/l CaCO_3 . Je možné ji také vypočítat podle rovnice níže (8, str. 600).

Rovnice 1: Rovnice pro výpočet alkality (8)

$$\text{Alkalita} = (\text{HCO}_3^-) + 2 \times (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-) - (\text{H}^+)$$

Vysoká alkalita bývá spojena s vysokým pH. Alkalická voda může být velice měkká, ale pak nemůže být kyselá. Naopak velice tvrdá voda může mít jen velice minimální alkalitu, a tedy velice nestabilní pH. Zpravidla tedy platí, že tvrdost vody způsobují uhličitany (a naopak, že hydrogenuhličitany přítomné ve vodě pocházejí z CaCO_3 a MgCO_3), proto existuje přímá závislost mezi tvrdostí a alkalitou. (KNK je též nazývána „přechodná tvrdost“) (3, str. 328).

Hodnoty alkality vyšší než 40 mg/l působí jako korozní ochrana kovových trub (1, str. 502).

Tvrdość

Tvrdość vody je charakterizována především součtem dvoumocných kationtů vápníku a hořčíku ($\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$). V pitných vodách v České Republice je průměrná koncentrace vápníku 50 mg/l , hořčíku 10 mg/l a průměrná sumární koncentrace $\text{Ca} + \text{Mg}$ je v průměru $1,7 \text{ mmol/l}$ (3, str. 132).

Z hygienického hlediska jsou vápník a hořčík zdravotně nezávadné, naopak se ukazuje, že jejich přítomnost ve vodě je žádoucí. Hořčík působí jako aktivátor několika set enzymových reakcí, jeho nedostatek zvyšuje riziko cévních spasmů a podporuje vznik srdečních arytmií. Vápník snižuje nervosvalovou dráždivost, ovlivňuje srážení krve, je součástí kostí aj. Nezávisí však na absolutní koncentraci obou prvků, ale i na jejich poměru (3, str. 133).

Chuťově jsou nejlepší vody obsahující převážně vápník a hydrogenuhličitany.

Z hlediska tvorby nánosů v potrubí je podstatně závadnější vápník než hořčík, neboť většina vápenatých solí je méně rozpustná než soli hořečnaté. Proto je z hlediska tvorby inkrustací rozhodující koncentrace vápníků, vody se stejnou sumární koncentrací a rozdílným poměrem Ca a Mg , mají odlišné inkrustující vlastnosti (3, str. 133).

Železo

Železo se často vyskytuje ve vodovodních systémech jako produkt koroze. V důsledku koroze kovového potrubí se objevuje červené zbarvení vody. Koroze zahrnuje oxidaci Fe , obvykle rozpuštěným kyslíkem, kdy se vytvoří sraženina železa (III). Tento proces je nevíce ovlivněn pH, koncentrací vápníku a alkalitou.

Chlor

Chlorování se při úpravě vody používá k hygienickému zabezpečení pitné vody a jako oxidační činidlo při úpravě vody. Chlor má ve vodě chlorační a oxidační účinky. Chlorační účinky má zejména molekulový chlor, kyselina chlorná a chlornany mají především účinky oxidační.

Chlor reaguje s řadou organických látek. Vzniká obvykle směs sloučenin, v závislosti na koncentraci chloru, hodnotě pH a reakční době. Chlorací organických látek vznikají toxičtější, biologicky stabilnější a organolepticky závadnější sloučeniny (3, str. 247).

V technologii vody se rozlišuje chlor celkový, volný aktivní chlor, vázaný aktivní chlor a celkový aktivní chlor. Volný aktivní chlor je molekulový chlor, chlornany a ClO_2 , vázaný aktivní chlor představuje chloraminy a organicky vázaný chlor, celkový aktivní chlor jsou všechny formy chloru, které v kyselém prostředí oxidují jodidy na jod – tj. molekulový chlor, chlornany, chloraminy a oxid chloričitý. Pro hygienické zabezpečení vody je nezbytná určitá zbytková koncentrace volného chloru (3, str. 248).

Konduktivita

Konduktivita (elektrická konduktivita) je mírou koncentrace ionizovatelných anorganických a organických součástí vody. V přírodních a užitkových vodách s velmi nízkou koncentrací organických látek je konduktivita mírou obsahu anorganických elektrolytů (aniontů a kationtů). Elektrická konduktivita slouží také ke kontrole výsledků chemického rozboru vody. Z její hodnoty lze posoudit úplnost chemické analýzy vody (3, str. 26).

Konduktivita je převrácenou hodnotou odporu roztoku obsaženého mezi dvěma elektrodami o ploše 1m^2 , které jsou od sebe vzdáleny 1 m. Závisí na koncentraci iontů,

jejich nábojovém čísle a na teplotě. Vzrůst nebo pokles teploty o 1 °C způsobuje změnu konduktivity nejméně o 2 %. Obvykle se měří při teplotě 25 °C, nebo se na tuto hodnotu přepočítává.

Z konduktivity lze určit přibližnou míru koncentrace elektrolytů ve vodě. Vztah mezi konduktivitou (mS/m) a koncentrací iontově rozpuštěných látek (IRL) v mmol/l je vyjádřen rovnicí níže, kde $\sum cz$ vyjadřuje koncentraci IRL, k_1 je empirický koeficient pro odhad celkových iontově rozpuštěných látek a κ odpovídá hodnotě konduktivity (v mS/m).

Rovnice 2: Vztah mezi konduktivitou a koncentrací iontově rozpuštěných látek (3)

$$\sum cz = k_1 \times \kappa$$

Obdobně platí empirický vztah pro celkovou mineralizaci ($\sum p$) v mg/l a konduktivity v mS/m, který udává rovnice níže, kde k_m je hodnota koeficientu závislého na chemickém typu vody.

Rovnice 3: Vztah mezi konduktivitou a celkovou mineralizací (3)

$$\sum p = k_m \times \kappa$$

Rovnice výše lze použít v rozsahu hodnot pH 5 – 9 (3, str. 30).

2.5 PŘÍČINY ZHORŠENÍ JAKOSTI PITNÉ VODY

Mezi nejčastější příčiny zhoršení jakosti pitné vody patří výskyt přírodních anorganických a organických chemických látek v surové vodě, biologické zdroje a procesy (vodní organismy) ve vodě, kontaminace syntetickými látkami, distribuční síť, koroze potrubí, nevhodné materiály ve styku s vodou, úprava vody (např. dezinfekce) a mikrobiální aktivita během akumulace a distribuce již upravené vody (6, str. 11).

2.5.1 Biologické zdroje a procesy

Existuje mnoho různých organismů v pitné vodě, kteří svým množstvím v pitné vodě neovlivňují zdravotní nezávadnost, ale jsou nežádoucí, protože vytvářejí specifické chutě a pachy. Jsou to především aktinomyceta a houby, sinice a řasy, bezobratlí a železité bakterie (1, str. 221)

Aktinomyceta a houby se vyskytují v povrchových vodních zdrojích. V distribučních systémech vody mohou růst zejména na materiálech z pryže. Mezi produkty těchto organismů jsou především geosmin a 2-methylisoborneol.

Sinice a řasy ovlivňují negativně barvu a zákal vody. Taktéž produkují geosmin a 2-methylisoborneol. Tyto látky ovlivňují pach a chuť již v ng/l.

Železité bakterie (např. *Acidithiobacillus ferrooxidans*) získávají energii oxidací železnatých sloučenin na sloučeniny železité. Výskyt ovlivňuje barvu a zákal vody.

2.5.2 Vliv distribuční sítě na jakost vody

Během dopravy vody v potrubí dochází k chemickým a biochemickým procesům, které mohou do značné míry změnit její složení. Proto složení pitné vody u spotřebitele se může lišit od složení vody na výstupu z vodárny. Jakost vody u spotřebitele bývá horší než jaká byla vyrobena v úpravně vody. Lze pozorovat změny v **zákalu**, barvě, **hodnotě pH**, **konduktivitě**, **koncentraci železa**, anorganických forem dusíku, **aktivního chloru**, CHSK. Tyto procesy lze rozdělit do několika skupin:

- tvorba halogenderivátů po dezinfekci vody chlorací,
- dobíhání neutralizačních, srážecích a oxidačně-redukčních reakcí z jednotlivých stupňů vodárenské úpravy,
- koroze ocelového potrubí,
- tvorba biofilmů na stěnách potrubí a vodojemů,
- oxidace amoniakálního dusíku (nitrifikace),
- transport korozních produktů a částí biofilmů z úseků s velkou rychlostí proudění do úseků se stagnující vodou (3, str. 602).

Jedním z nejzávažnějších problémů v distribuční síti je **koroze**. Ta může ovlivnit zdravotní nezávadnost vody, náklady na úpravu vody a přijetí vody spotřebiteli. Koroze způsobuje uvolňování především železa (rezavé zbarvení), mědi (modré zbarvení) a zinku do vody. Všechny prvky způsobují **železitou chuť vody** (2, str. 997).

Koroze

Na vznik a intenzitu koroze má vliv několik aspektů např. povrch materiálu potrubí, teplota, pH a chemické složení vody (2, str. 997).

Podle druhu korozních dějů je možné rozeznat korozi chemickou, elektrochemickou a korozi způsobenou jinými činiteli. Průběh **chemické koroze** se řídí zákony chemické kinetiky. Probíhá v elektricky nevodivém prostředí a platí, že zplodiny zůstávají v místech reakce. **Elektrochemická koroze** probíhá ve vodivém prostředí. Je možné sem zařadit korozi bludnými proudy. Mezi **ostatní typy koroze** je možné zařadit korozi biologickou – účinkem mikroorganismů, nebo kavitaci (14).

Vůči korozi jsou zcela odolná **plastová potrubí**. U **litinového potrubí** je nejčastější příčinou koroze povrchové vrstvy materiálu agresivní voda. V souvislosti s jakostí vody se jedná o potenciální zdroj zákalu a červeného zbarvení vody. U **ocelového pozinkovaného potrubí**, se proces koroze zrychluje v kontaktu s mědí a s vyšší teplotou vody. Koroze tohoto potrubí se stává zdrojem zinku a železa ve vodě. **Azbestocementová potrubí** jsou vůči korozi odolná, avšak agresivní voda přispívá k uvolňování vápníku z cementu. S rostoucím pH roste možnost koroze potrubí (2, str. 999).

Vliv chemického složení vody na průběh koroze

Mezi nevýznamnější faktory ovlivňující procesy koroze v potrubí patří **pH**, rozpuštěný **kyslík**, **zbytkový chlor**, **tvrdost (vápník, hořčík)**, množství amoniaku, polyfosforečnanů, železa, zinku, manganu, mědi a hořčíku ve vodě. Nízké pH přibližně

kolem hodnoty 6 zvyšují možnost koroze potrubí, naopak vyšší pH (hodnota vyšší než 9) „chrání“ potrubí a snižuje možnost koroze. Vyšší hodnoty rozpuštěného kyslíku a zbytkového chloru mohou také přispět ke vzniku koroze, zejména v případě kovového potrubí. Vyšší hodnoty **tvrdosti** vody způsobené vápníkem a hořčíkem přispívají ke snížení tvorby koroze, zejména vápník v podobě uhličitanu vápenatého CaCO_3 ve spojení s vyšším pH má „vyrovnávací“ účinek. Vyšší koncentrace chloridů a síranů zvyšuje korozivní účinek vody na pozinkovaná potrubí. **Amoniak** ve vodě zvyšuje rozpustnost kovových materiálů. Zvýšený výskyt **mědi** ve vodě může zapříčinit bodovou korozi ocelového potrubí. Měď potlačuje tvorbu CaCO_3 (2, str. 1048).

Koroze a stáří trubního materiálu

Po letech využívání kovové trubní sítě - litinových a ocelových trub, dochází k pokrytí vnitřních stěn korozními produkty. Typické zralé korozní vrstvy se obvykle skládají ze **čtyř vrstev**: zkorodovaný kovový povrch, vnitřní vrstva pórovitého jádra, která se přímo dotýká stěny trubky, kompaktní plášťovitá vrstva obklopující jádrovou vrstvu, a nezpevněná vrstva na rozhraní pevná látka-kapalina. Tyto korozní váhy mohou obecně sloužit jako ochranné vrstvy, které zabraňují dalšímu korozi materiálu. V důsledku rušivých vlivů však **korozní vrstvy uvolňují železité nebo železné ionty do vody, čímž se zvětší zákal a barva vody**, což zhoršuje kvalitu pitné vody (8, str. 594).

Vliv koroze na jakost pitné vody

V distribuční síti dochází vlivem koroze k uvolňování železa v železitých sloučeninách, korozivním produktem u litinového potrubí je hydroxid železitý. Uvolňování železa je doprovázeno poklesem zásaditosti, zvýšením zákalu a barvy pitné vody. Při styku korozní vrstvy a vody s vysokou alkalitou je možné zvýšení koncentrace vápníku (8, str. 602).

Další vlivy distribuční sítě na jakost pitné vody

Pitná voda může být do jisté míry ovlivněna nevhodnými materiály nejen potrubí ale i dalších komponent vodovodu. Kromě koroze, popsané výše, se mohou do pitné vody dostávat **vinylchlorid** a olovo ze starších typů PVC potrubí. **Olovo** může do vody proniknout především ze starých olověných přípojek a domovních rozvodů, starších pájek ze slitin typu mosazi nebo bronzu, ze kterého jsou dosud běžně vyráběny regulační ventily a armatury. Z těchto materiálů se může do vody uvolňovat nikl.

Vyšší koncentrace **hliníku** se mohou objevit v potrubí, které bylo nově vycementováno, vyšší koncentrace **mědi** pak v objektech, které mají měděné domovní rozvody a více korozivní vodu.

Specifický problém může vyvolat potrubí z polyethylenu, které je propustné pro těkavé organické látky, a pokud je okolní zemina znečištěna tímto typem látek (např. trichlorethylenem nebo tertachlorethylenem), může dojít i ke kontaminaci vody v potrubí (9, str. 16).

2.6 PROVOZNÍ ČINNOSTI ÚDRŽBY VODOVODŮ

Odkalování vodovodu

Provádět optimální odkalení vodovodních řadů je jednou z podmínek zajištění dobré kvality dopravované vody. Cílem odkalování je vypouštění volných sedimentů, které se v potrubí nashromáždí. Jedná se o produkty koroze potrubí a o částice, které vznikají, pokud v potrubí dobíhají procesy úpravy vody. Místa s nahromaděním volných sedimentů způsobují problémy s barvou, chutí a pachem vody, tak mohou být živnou půdou pro růst mikroorganismů.

Mezi podmínky pro správné odkalování vodovodu patří rozdělení řadů uzávěry na snadno vypustitelné sekce a dodržení rychlosti alespoň $0,5 \text{ m/s}$ v proplachovaném řadu pro odstranění sedimentů. Pokud je dobře vybudován systém uzávěrů, vzdušníků, ručního odvzdušnění a výpustného potrubí, je možné docílit snadnější odstranění sedimentů (10, str. 2).

3 LOKALITA PRO ROZBOR JAKOSTI VODY

Následující část obsahuje informace o skupinovém vodovodu Jeseník – Mikulovice, je zde popsána oblast působení Vodovody a kanalizace Jesenicka, a.s., a lokalita, kde se vybraný vodovod nachází.

3.1 VODOVODY A KANALIZACE JESENICKA, A.S.

Akciová společnost Vodovody a kanalizace Jesenicka vlastní a provozuje vodohospodářskou infrastrukturu na území obcí Bělá pod Pradědem, Česká Ves, Hradec-Nová Ves, Jeseník, Lipová-lázně a Písečná (4).

Celková délka vodovodní sítě pod správou Vak Jesenicka je 179,62 km (11, str. 13).

Délka hlavního přiváděcího řadu je 24,21 km, což představuje 13,5 % z celkové délky sítě. V tabulce níže jsou uvedeny délky vodovodu dle majetkové evidence k 31. 12. 2016 v obcích zásobovaných distribučními řady skupinového vodovodu Vak Jesenicka, a.s. Obec Lipová – je zásobována z přiváděče Lipová o délce 1,23 km. V této obci je 30,61 km distribučních řadů.

Tabulka 2: Délka distribučních řadů skupinového vodovodu Vak Jesenicka

	Jeseník	Česká Ves	Bělá pod Pradědem	Písečná	Hradec - Nová Ves
Distribuční řady (km)	48,33	15,78	24,3	12,33	7,33

Pozn.: Zdroj: Výroční zpráva za rok 2016 VaK Jesenicka, a. s.

VaK Jesenicka, a. s. zásobuje pitnou vodou **19 354 obyvatel**. V obci Lipová - lázně je zásobeno z vodovodu 100 % obyvatel, v Bělé pod Pradědem je podíl napojených obyvatel na vodovod k celkovému počtu obyvatel v obci jen 72,58 %, což je silně pod průměrem v Olomouckém kraji, který dosahuje 91,80 % (Zdroj: ČSÚ, Vodovody, kanalizace a vodní toky, 2016).

Tabulka 3: Počet obyvatel v zásobovaných oblastech

	Jeseník	Česká Ves	Bělá pod Pradědem	Písečná	Hradec - Nová Ves	Lipová - lázně
Počet obyvatel	11 450	2 435	1 827	990	391	2 261
Počet napojených obyvatel	11 434	2 104	1 326	867	312	2 261
Počet napojených obyvatel (%)	99,86	86,41	72,58	87,58	79,80	100,00

Pozn.: Zdroj: Výroční zpráva za rok 2016 VaK Jesenicka, a. s.

3.2 SKUPINOVÝ VODOVOD JESENÍK - MIKULOVICE

Skupinový vodovod Jeseník – Mikulovice je největší vodovodní soustavou VaK Jesenicka. Celková délka vodovodu činí cca 113 km.

Skupinový vodovod obsluhuje město Jeseník a obce Česká Ves, Bělá pod Pradědem, Písečná, Hradec – Nová Ves a Mikulovice, je zásobován převážně z povrchového zdroje vody, který zahrnuje odběr ze Šumného a Borového potoka. Zdrojem pro okrajové části, které většinou spadají do vyšších tlakových pásem, jsou zdroje podzemní vody - Křížový vrch, Lázně, Bělská stráň, Muzikantská stezka.

3.2.1 Zdroje surové vody

Skupinový vodovod Jeseník je zásobován vodou **povrchovou** – ze zdroje Šumný potok v katastru Adolfovice a Borový potok v katastru Domašov, a vodou **podzemní**. Zdroje podzemní vody jsou v Jeseníku situovány nad lázněmi, pod lázněmi u Kalvodovy ulice, nad bývalým Domem dětí a mládeže a na Křížovém vrchu, dále pak v Lipové-lázních Na Pomezí a v Bělé pod Pradědem na Bělské stráni. Jedná se zejména o prameniště Křížový vrch, kde je vybudováno 24 klasických zářezů délky 10 - 15 m a 10 jímacích štol délky 30 m.

Průměrná vydatnost podzemních zdrojů je dle období – zhruba 24 l/s, vydatnost povrchových zdrojů je 55 l/s. Zdroje podzemní vody jsou využívány hlavně pro zásobování vyšších tlakových pásem, většinou bez čerpání, čerpá se pouze část jímané vody v prameništi Lázně a zdroj Na Pomezí (12, str. 17).

3.2.2 Úpravna vody

Úpravna vody se nachází v Adolfovicích. Je dimenzována na maximální výkon 55 l/s upravené vody. Celý proces úpravy je gravitační. Upravuje se převážně voda ze Šumného potoka s posílením z Borového potoka.

Surová voda je z jímacího objektu přiváděna přes lapák písku do sedimentační nádrže a odtud na otevřené pískové rychlofiltry. Filtrovaná voda se shromažďuje v akumulacích nádržích. Voda je dále hygienizována **plynným chlorem** a odváděna přiváděčem do distribučních vodojemů.

Úpravna vody byla modernizována v roce 1995. V roce 2009 a 2010 byly opraveny jímací objekty úpravní, které byly poškozeny lokální povodní v roce 2009. V roce 2017 byla vypracována projektová dokumentace pro rozsáhlou rekonstrukci úpravní vody (12, str. 18).

3.2.3 Vodojemny ve vodovodu

Z úpravní vody Adolfovice je veden hlavní přiváděč gravitačně do vodojemu na **Křížovém vrchu** a do vodojemu na **Čapce**. Dále je přiváděč veden do vodojemů **Česká Ves, Písečná, Hradec** a **Nová Ves**. Odtud jsou vedeny zásobovací řady do jednotlivých obcí. Celkový objem vodojemů je 6480 m³. Obec Široký Brod je napojena z vodojemu Hradec, obec Mikulovice je připojena z vodojemu Nová Ves (12, str. 15).



Obrázek 1: Vodojem na Křížovém vrchu

3.2.4 Distribuční síť

Vodovodní síť byla stavěna od roku 1895, přičemž největší výstavba probíhala v letech 1962 až 1967, kdy byla realizována výstavba skupinového vodovodu Jeseník, která zahrnovala výstavbu úpravny vody v Adolfovicích, přívodní a rozvodné řady v Jeseníku a Lázních Lipová. V 1972 až 1977 byla napojena na vodovod Česká Ves. V polovině osmdesátých let byly postaveny vodojemy města Jeseník.

Největší rozšíření skupinového vodovodu Jeseník nastalo po připojení kaskády obcí v údolí řeky Bělé. Jsou to obce Adolfovice, Písečná, Hradec, Nová Ves, Široký Brod a Mikulovice (13).

Celková délka celé sítě skupinového vodovodu činí cca 113 km, což představuje 63 % celé délky sítě Vak Jesenicka. Příváděcí řady tvoří zhruba 10 %, zbylých 90 % tvoří distribuční řady.

Rozvodná síť je zhotovena z materiálu různého stáří a různé kvality. Na vodovodu jsou řady provedené v litině, tvárné litině, oceli, PVC, PE. Jedná se o profily DN 50 – 300.

Průměrná denní potřeba (pro rok 2015) činila $Q_p = 3232,8 \text{ m}^3/\text{den}$, maximální denní potřeba $Q_d = 4364,2 \text{ m}^3/\text{den}$ (13).

Údržba sítě

Provozní činnosti v oblasti vodovodní sítě jsou zaměřeny především na eliminaci ztrát a zajištění odpovídající jakosti v distribuční síti.

Eliminaci ztrát je dosahováno preventivní kontrolou vodovodního potrubí - přívodních a rozvodných řadů, a včasnou lokalizací zjištěných poruch a jejich rychlé odstranění. V roce 2016 bylo na vodovodu lokalizováno a následně odstraněno 128 poruch (11, str. 14).

Mezi činnosti spojené se zajištěním odpovídající kvality vody patří zejména **odkalování vodovodu**, které probíhá ve všech obcích skupinového vodovodu **jednou měsíčně**, výjimkou je pouze obec Hradec – Nová Ves, kde je odkalování prováděno dle potřeby.

Vzhledem k tomu, že velký průtok vody při odkalování vede k přechodnému ovlivnění tlaku a průtoku vody a ke krátkodobému zhoršení její kvality vlivem uvolněných nečistot, jsou o zahájení odkalování informováni zástupci dotčených obcí. Účinnost odkalování je kontrolována laboratorními rozbory pravidelně odebíraných vzorků vody. Kromě plošného odkalování sítě, je prováděno také lokální odkalení v případě náhlého zhoršení kvality vody nebo vždy po opravě poruchy vodovodu. Současně s odkalením se vždy provádí odvzdušnění.

4 ZHODNOCENÍ JAKOSTI VODY

V následující části práce jsou obsaženy analýzy krácených a úplných rozborů pitné vody provedených v roce 2016 a 2017. Vzhledem k charakteru práce a výběru lokality pro vlastní sérii rozborů vody je níže popsána analyzována jakost vody ve vodojemu Křížový vrch a v rozvodné síti ve městě Jeseník.

Dále jsou zde uvedeny informace o provedených kontrolních sériích rozborů vybraných ukazatelů. Tyto hodnoty jsou v kapitole 4.2 vyhodnoceny s ohledem na vliv distribuční sítě na jakost vody.

4.1 ANALÝZA ÚPLNÝCH A KRÁCENÝCH ROZBORŮ VODY

Níže jsou uvedeny data o jakosti vody na úpravně vody, ve vodojemu a v distribuční síti ve městě Jeseník.

4.1.1 Jakost vody na úpravně vody Adolfovice

Hodnoty ukazatelů v tabulkách, týkající se úpravy vody v Adolfovicích, pochází z monitorovacích a úplných rozborů (dle 428/2001 Sb.). Pro sledování jakosti vody na výstupu z úpravy vody byly využity rozborů provedené v roce 2016 a 2017, hodnoty vybraných ukazatelů jsou obsaženy v tabulkách níže.

Tabulka 4: Vybrané ukazatele jakosti vody na odtoku z úpravy vody – rok 2016

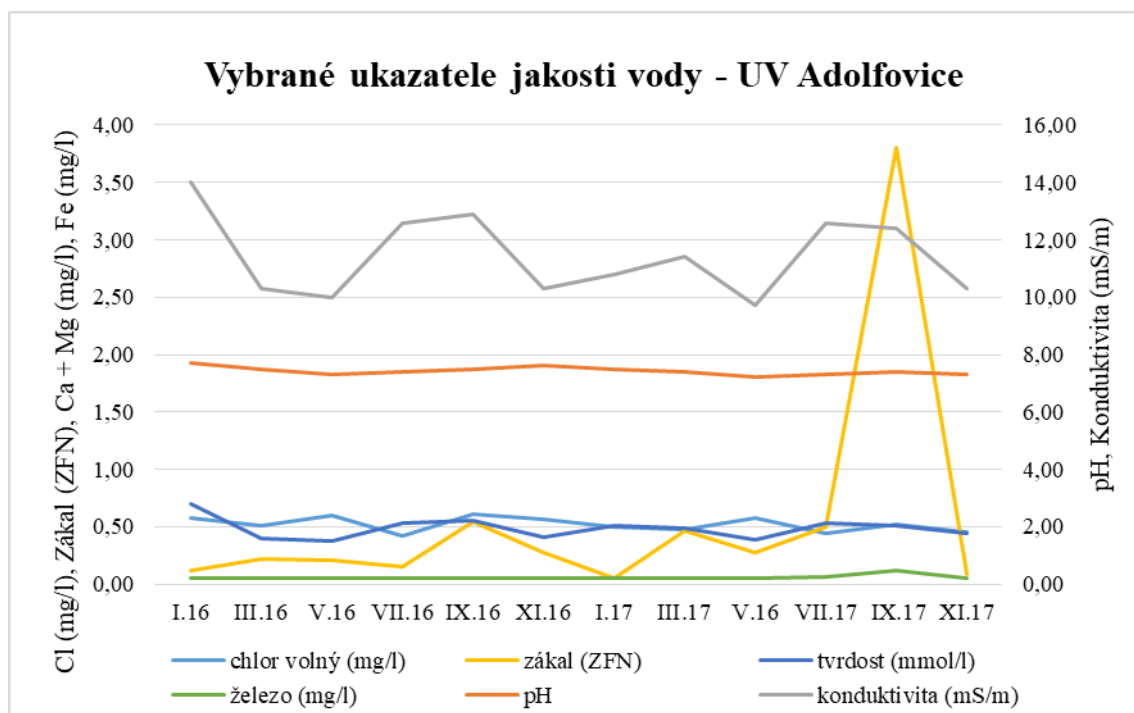
Ukazatel jakosti vody	2016					
	I	III	V	VII	IX	XI
chlor volný (mg/l)	0,58	0,51	0,60	0,42	0,61	0,56
pH	7,70	7,50	7,30	7,40	7,50	7,60
konduktivita (mS/m)	14,00	10,30	10,00	12,60	12,90	10,30
zákal (ZFN)	0,12	0,22	0,21	0,15	0,54	0,28
tvrdost (mmol/l)	0,70	0,40	0,37	0,53	0,55	0,41
železo (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabulka 5: Vybrané ukazatele jakosti vody na odtoku z úpravny vody – rok 2017

Ukazatel jakosti vody	2017					
	I	III	V	VII	IX	XI
chlor volný (mg/l)	0,50	0,48	0,58	0,44	0,52	0,45
pH	7,50	7,40	7,20	7,30	7,40	7,30
konduktivita (mS/m)	10,80	11,40	9,70	12,60	12,40	10,30
zákal (ZFN)	0,05	0,47	0,27	0,50	3,80	0,09
tvrdost (mmol/l)	0,51	0,49	0,39	0,53	0,51	0,44
železo (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,06	0,12	0,05

Hodnoty rozboru vody ukazatele zákal pro listopad 2017 splňují požadavek 5 ZFN dle přílohy č. 1 k vyhlášce č. 252/2004 Sb., avšak dále norma uvádí, že v případech úpravy povrchové vody by voda vycházející z úpravny neměla překročit hodnotu 1 ZFN.

Na grafu níže jsou znázorněny sledované ukazatele v čase.



Graf 1: Vybrané ukazatele jakosti vody na odtoku z úpravny vody

4.1.2 Jakost vody ve vodojemu Křížový vrch

Do vodojemu Křížový vrch je přiváděna pitná voda gravitačně z úpravny vody v Adolfovicích, je zde smíchána s podzemní vodou z prameniště Křížový Vrch.

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty, jejichž zdrojem jsou 4 krácené a 1 úplný rozbor vody v roce 2016 a 2017. Hodnoty ukazatelů pro V. měsíc 2016 a 2017 nebyly k dispozici.

Tabulka 6: Vybrané ukazatele jakosti vody ve vodojemu Křížový vrch – rok 2016

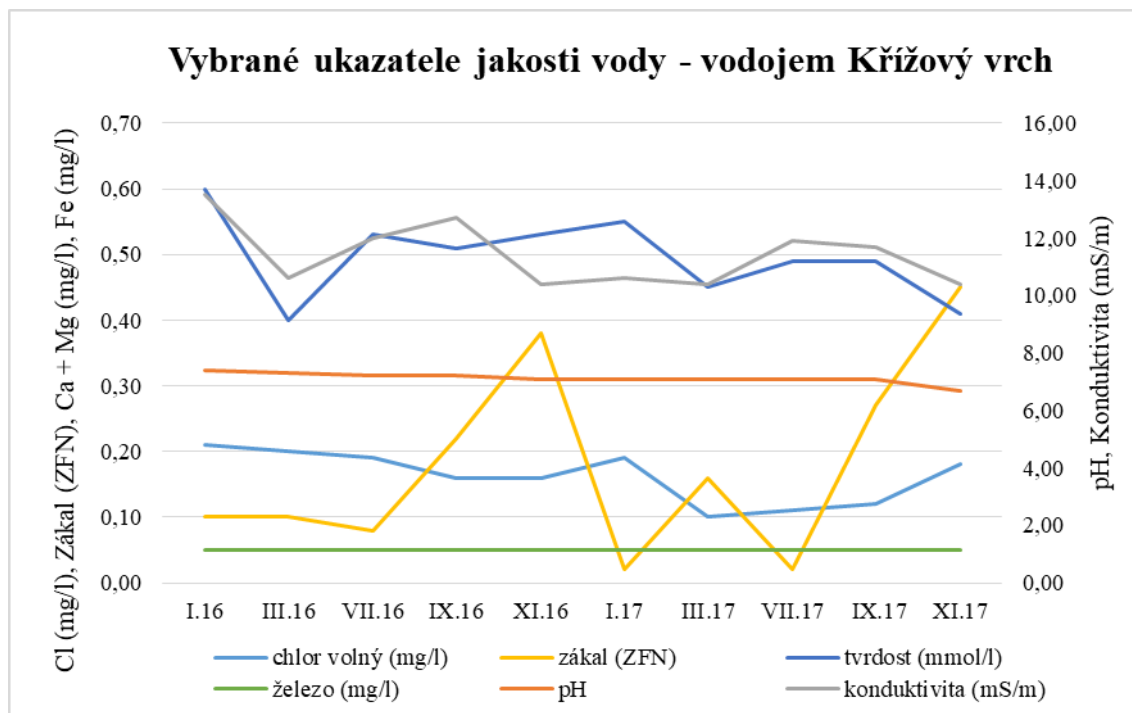
Ukazatele jakosti vody	2016				
	I.	III.	VII.	IX.	XI.
chlor volný (mg/l)	0,21	0,20	0,19	0,16	0,16
pH	7,40	7,30	7,20	7,20	7,10
konduktivita (mS/m)	13,50	10,60	12,00	12,70	10,40
zákal (ZFN)	0,10	0,10	0,08	0,22	0,38
tvrdost (mmol/l)	0,60	0,40	0,53	0,51	0,53
železo (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabulka 7: Vybrané ukazatele jakosti vody ve vodojemu Křížový vrch – rok 2017

Ukazatele jakosti vody	2017				
	I.	III.	VII.	IX.	XI.
chlor volný (mg/l)	0,19	0,10	0,11	0,12	0,18
pH	7,10	7,10	7,10	7,10	6,70
konduktivita (mS/m)	10,60	10,40	11,90	11,70	10,40
zákal (ZFN)	0,02	0,16	0,02	0,27	0,45
tvrdost (mmol/l)	0,55	0,45	0,49	0,49	0,41
železo (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Ukazatele chloru, pH, konduktivity, zákalu, a železa splňují danými podmínky pro pitnou vodu dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Pro ukazatel tvrdosti (Ca + Mg) je ve vyhlášce uvedena doporučená hodnota, která je podle § 3 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb. nezávazná, podle tohoto předpisu není tvrdost na výstupu z vodojemu na Křížovém vrchu v optimálním rozmezí (2 – 3,5 mmol/l). Voda ve vodovodu je měkká.

Na grafu níže jsou znázorněny ukazatele jakosti vody v čase.



Graf 2: Vybrané ukazatele jakosti vody ve vodojemu na Křížovém vrchu

Z vodojemu je distribuována voda o koncentraci železa pod 0,05 mg/l. Tato hodnota byla po dobu sledovaného období neměnná. Od března do září roku 2017 velmi klesla koncentrace volného chloru. pH ve vodě má klesající tendenci, pohybuje se však v rozmezí mezních hodnot 6,5 – 9,5.

4.1.3 Jakost vody v rozvodné síti

Na základě vyhodnocení rozborů jakosti vody v letech 2016 - 2017 byla vybrána oblast pro vlastní série rozborů jakosti vody.

4.2 ANALÝZA VLASTNÍCH SÉRIÍ ROZBORŮ VYBRANÝCH UKAZATELŮ JAKOSTI VODY

Níže jsou uvedeny informace o lokalitě, kde probíhaly kontrolní série měření jakosti vody, o použité technologii a měřených vlastnostech vody. Naměřené hodnoty vybraných ukazatelů jsou dále analyzovány z hlediska časového, místa a konkrétního měřeného ukazatele.

4.2.1 Lokalita pro rozbor vody

Pro vlastní série měření byla vybrána severní část města Jeseník. Lokalitou prochází hlavní komunikace číslo I/44 (ulice Bezručova – na obrázku níže žlutá). Jako odběrná místa pro rozbor vody byly vybrány hydranty na ulicích Bezručova, J. Hory, Nerudova, Husova, Tkalcovská a Zeyerova.

Tato oblast byla vybrána z důvodu blízkosti vodojemu na **Křížovém vrchu** (2x 200 m³; 492,30 – 488,8 m n. m.), nachází se zde potrubí různého stáří, světlosti a materiálu –

staré úseky sítě ve vybrané oblasti se nachází například na ulici Bezručova (litina, DN 80, rok položení 1902), nové potrubí se nachází na ulici Husova (tvárná litina Ducpur, DN 150, položeno v roce 2016).



Obrázek 2: Lokalita pro vlastní sérii rozborů vody

4.2.2 Měření ukazatele jakosti vody

Ve vybrané lokalitě byly analyzovány parametry vody, které byly předem stanoveny s ohledem na stav distribuční sítě. **Jedná se o rozpuštěné železo, tvrdost, celková alkalita, volný chlor, pH, teplota, konduktivita a zákal.**

Měření jakosti vody bylo provedeno dvakrát s odstupem dvou týdnů, přičemž naměřené hodnoty odpovídají jakosti vody v odběrných místech:

- před prvním odkalováním po zimním období,
- bezprostředně po odkalování po odpuštění odpovídajícího množství vody z řadu,
- 14 dnů po odkalování.

První rozborů vody, týkající se prvních dvou bodů, byly uskutečněny 12. - 13. 4. 2018, další série rozborů proběhla 26. - 27. 4. 2018.

Naměřené hodnoty ukazatelů jakosti vody jsou obsaženy v příloze č. 3.

4.2.3 Přístroje pro měření jakosti vody

Ke stanovení hodnot vybraných ukazatelů byl použit přenosný paralelní analyzátor (PPA) **Hach SL1000** s využitím reagensů **Chemkey**. Pomocí těchto reagensů byly měřeny hodnoty ukazatelů jakosti vody – železa, tvrdosti, alkality, chloru a konduktivity, dále pomocí **sondy PPA** bylo měřeno pH a teplota vody. Pomocí turbidimetru **Hach 2100Q IS** byl měřen zákal.

Pro jednotlivé parametry byly zvoleny reagenty Chemkey v následujícím rozsahu měření: železo 0,05 – 3,00 mg/l, tvrdost 3 – 100 mg/l, alkalita 20 – 200 mg/l, volný chlor 0,04 – 4,60 mg/l.

4.2.4 Výsledné hodnoty sérií měření

Níže jsou uvedeny výsledné hodnoty sérií rozborů vody jednotlivých vzorků před odkalováním vodovodu, v jeho průběhu a s odstupem času po odkalování. Odběrná místa jsou vyznačena v mapovém podkladu, který je součástí příloh.

Vzorek č. 1 – ulice J. Hory

Materiál: litina

DN: 175

Rok položení: 1898

Odběrné místo se nachází 250 m od vodojemu Křížový vrch. Leží na přívodní potrubní větvi, která přivádí vodu z vodojemu do výše popsané lokality. Pitná voda je do tohoto místa dopravována potrubím položeným v roce 1898 z litiny o délce 291 m. Odkalování probíhalo z nadzemního hydrantu.

V tabulce níže jsou naměřené hodnoty vybraných ukazatelů pitné vody v odběrném místě č. 1.

Tabulka 8: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 1

Vzorek	Zákal ZFn	Fe mg/l	Tvrdost mmol/l	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Kondukt. mS/m	Odpuštěno m ³
odkalování 12. 4. 2018		0.02	2.10	23.00	0.12	7.19	9.80	9.58	0
		0.04	2.00	N	0.12	7.18	8.20	9.18	3
po odkalování 26. 4. 2018	0.27	0.05	3.40	21.00	0.13	7.19	8.10	9.98	0
	0.14	0.05	2.10	21.00	0.09	7.15	8.10	9.98	5

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota.

Hodnoty naměřené v odběrném místě č. 1 odpovídají všem mezním a doporučeným hodnotám uvedených v právním předpisu. U koncentrace chloru byl limit nejnižší mezní koncentrace pro hygienické zabezpečení vody z vyhlášky 258/2004 vyloučen, dále bude v práci předpokládáno, že nejnižší „doporučená“ hodnota pro chlor v pitné vodě je **0,05 mg/l**.

Vzorek č. 5 – ulice Nerudova

Materiál: litina

DN: 80

Rok položení: 1926

K odběrnému místu č. 5 je voda vedena (od odběrného místa) litinovým potrubím DN 80 (1926) o celkové délce 297 m, 126 m potrubím TLT 150 z roku 2017, 391 m potrubím TLT 150 z roku 2009, 281 m potrubí z LT 175 z roku 1898 napojeného na vodojem. Místo odběru vzorku je vzdálené 552 m od vodojemu. Odkalování probíhalo přes podzemní hydrant.

Tabulka pod textem obsahuje naměřené hodnoty vybraných ukazatelů pitné vody v odběrném místě č. 5.

Tabulka 9: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 5

Vzorek	Zákal ZFn	Fe mg/l	Tvrdost mmol/l	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Kondukt. mS/m	Odpuštěno m ³
odkalování 12. 4. 2018		1.01	1.90	45.00	0.06	N	9.20	9.37	0
		0.07	N	33.00	0.02	7.14	8.30	9.23	2
po odkalování 26. 4. 2018	4.04	0.12	2.30	32.00	0.00	7.17	8.50	9.96	0

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

Před odkalováním byla v potrubí překročena mezní hodnota koncentrace železa (0,2 mg/l). Odkalením vodovodu 2 m³ byla naměřena koncentrace Fe 0,07 mg/l. Po 14 dnech od odkalení vodovodu koncentrace Fe ve vodě vzrostla o 0,05 mg/l na 0,12 mg/l. Vzhledem k těmto okolnostem a vysokému zákalu, je možné říci, že **je nutno toto místo pravidelně odkalovat**, aby se zajistilo plnění požadavků na jakost vody dle právního předpisu. Po odkalování byl zaznamenán

Vzorek č. 8 – ulice Husova

Materiál: tvárná litina Ducpur

DN:150

Rok položení: 2017

K odběrnému místu č. 8 byl uveden do provozu v roce 2017 nový řad o DN 150 z tvárné litiny a celkové délce 629 m, který je napojen na potrubí z litiny o stejném DN položeném v roce 2009 o délce 391m a litinové potrubí (DN 175) z roku 1898 délky 281 m, které je napojeno na vodojem. Odběrné místo je od vodojemu vzdálené 913 m.

Tabulka č. 10 uvádí naměřené hodnoty vybraných ukazatelů pitné vody v odběrném místě č. 8.

Tabulka 10: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 8

Vzorek	Zákal ZFn	Fe mg/l	Tvrдост mmol/l	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Kondukt. mS/m	Odpuštěno m ³
odkalování 12. 4. 2018		0.01	1.90	24.00	0.15	7.13	8.30	9.41	0
		0.03	1.90	N	0.09	7.14	8.10	9.23	4
po odkalování 26. 4. 2018	0.13	0.01	2.30	31.00	0.10	7.13	8.70	10.17	0

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

Rozbory vody z odběrného místa č. 8 poskytují hodnoty ukazatelů, které jsou podle vyhlášky o jakosti vody zcela v limitech pro pitnou vodu.

Vzorek č. 11 – ulice Tkalcovská

Materiál: PVC

DN: 110

Rok položení: 1996

Vzorek č. 11 byl odebrán z místa, které je vzdáleno 247 m od odběrného místa č. 8 a 1160 m od vodojemu na Křížovém vrchu. Voda je přiváděna ze dvou cest. Cesty jsou spojeny v místě vzdáleném 54 m před odběrem č. 11 v ulici Tkalcovská. První z nich je potrubí vedoucí ulicí Husova, u Jatek a Tkalcovská. Jedná se potrubí 54 m o DN 110 z PVC položeného v roce 1996, potrubí v ulici U jatek - LT 80 z roku 1902 o délce 378 m, potrubí v ulici Husova - 629 m DN 150 TLT z roku 2017, potrubí z TLT 150 z roku 2009 o délce 391 m a napojení na přírodní potrubí z vodojemu délky 281 m z litiny z roku 1898. Druhou cestou je doprava vody přes ulici Vanžurova, Zeyerova, Husova - 54 m o DN 110 z PVC, LT 80 o délce 280 m, 440 m potrubí z litiny o DN 150 z roku 1972, 629 m potrubí z tvárné litiny o DN 150 z roku 2017, 391 m potrubí z tvárné litiny o DN 150 z roku 2009, 281 m potrubí z litiny DN 175 z roku 1898. Odkalování probíhalo z podzemního hydrantu.

Tabulka níže obsahuje naměřené hodnoty vybraných ukazatelů pitné vody v odběrném místě č. 11.

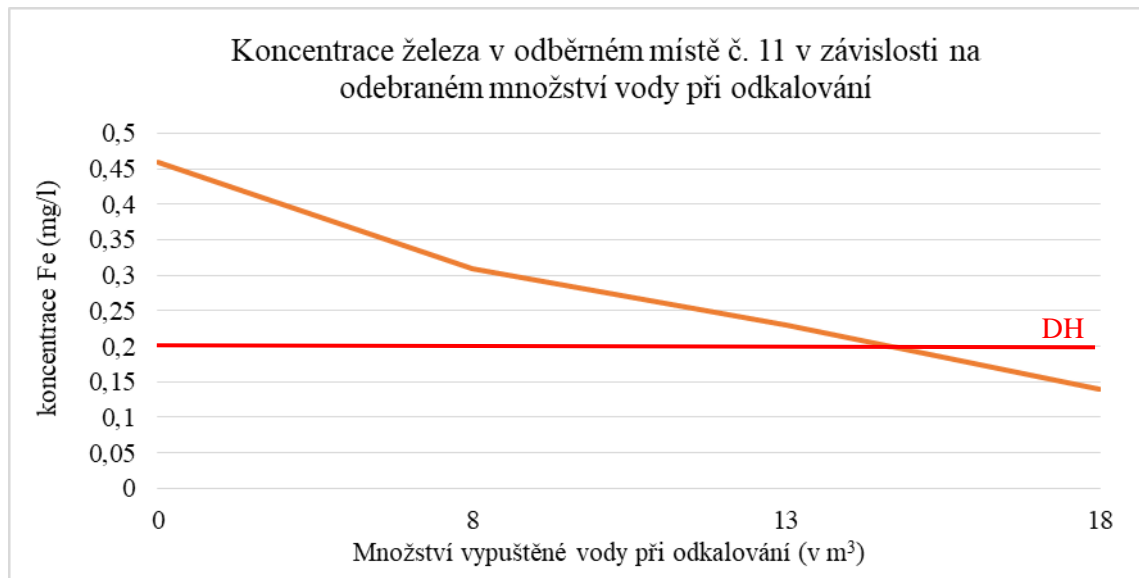
Tabulka 11: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 11

Vzorek	Zákal ZFn	Fe mg/l	Tvrдост mmol/l	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Kondukt. mS/m	Odpuštěno m ³
odkalování 12. 4. 2018		0.46	N	23.00	0.00	7.02	9.20	9.50	0
		0.31	2.00	22.00	0.01	7.12	8.10	9.24	8
		0.23	-	-	0.03	7.17	7.80	9.24	5
		0.14	-	-	0.01	7.15	7.80	9.22	5
		0.20	-	-	0.03	7.15	7.50	9.22	5
po odkalování 26. 4. 2018	2.66	0.04	2.30	24.00	0.00	7.18	10.00	10.09	0
	-	-	-	-	0.00	-	-	-	4

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

Před odkalováním byly z rozboru vody zjištěny nepříznivé koncentrace železa a chloru. Koncentrace železa se podařila po odpuštění 18 m³ vody ze sítě snížit pod vyhláškou požadovanou hodnotu *Fe* 0,2 mg/l. Minimální doporučené množství chloru (0,05 mg/l) se nepodařilo odkalováním ve vodě zjistit. Hodnoty chloru jsou nízké, 14 dnů po odkalování zde nebyly naměřeny žádné hodnoty chloru.

Na grafu níže je znázorněna koncentrace železa ve vodě měřená během odkalování po odpuštění několika m³ vody.



Graf 3: Koncentrace železa v odběrném místě č. 11 v závislosti na odebraném množství vody při odkalování

Vzorek č. 10 – ulice Zeyerova

Materiál: litina

DN: 150

Rok položení: 1972

Odběrné místo č. 10 se nachází 171 metrů od odběrného místa č. 8 v ulici Husova a 1084 m od vodojemu na Křížovém vrchu. Je zde panelová zástavba. Odkalování probíhalo z podzemního hydrantu. Do tohoto místa je dopravována voda přes 169 m dlouhé potrubí z litiny o DN 150 z roku 1972, 629 m potrubím z tvárné litiny o DN 150 z roku 2017, 391m potrubím z tvárné litiny o DN 150 z roku 2009. Posledním úsekem je úsek délky 281 m z roku 1898 z litiny o DN 175. Naměřené hodnoty vybraných ukazatelů jakosti vody v odběrném místě č. 10 jsou shrnuty v tabulce níže.

Tabulka 12: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 10

Vzorek	Zákal ZFn	Fe mg/l	Tvrdost mmol/l	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Kondukt. mS/m	Odpuštěno m ³
odkalování 12. 4. 2018		0.04	N	22.00	0.04	7.20	7.90	9.71	0
po odkalování 26. 4. 2018	0.74	0.11	2.20	29.00	0.03	7.20	8.40	9.98	0
	-	-	-	-	0.08	-	-	-	4

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

Hodnoty naměřené při odkalování 12. 4. 2018 byly (s výjimkou chloru, který nedosahuje koncentrace 0,05 mg/l) v souladu s vyhláškou č. 252/2004 Sb. Při další sérii měření dne 26. 4. 2018 bylo minimální doporučené koncentrace chloru dosaženo při odpuštění 4 m³ vody z vodovodu.

Vzorek č. 12 – ulice Bezručova

Materiál: litina

DN: 80

Rok položení: 1902

Vzorek č. 12 byl odebrán z pozemního hydrantu v ulici Bezručova. Pitná voda je přiváděna potrubím o délce 505 m z litiny o DN 80 položeného v roce 1902, dále potrubím z PVC 110 o délce 152 m z roku 1996, potrubím z litiny o DN 80 a délce 378 m z roku 1902. Na konci tohoto úseku se nachází odběrné místo č. 8, pitná voda tedy prochází dále přes potrubí z tvárné litiny Ducpur z roku 2017 o DN 150 o délce 629m a TLT 150 z roku 2009 o délce 391m, napojeného na potrubí z litiny z roku 1898 délky 281 m DN 175. Voda je vedena 2334 m potrubím. Odkalování probíhalo přes podzemní hydrant.

V tabulce níže jsou obsaženy naměřené hodnoty vybraných ukazatelů pitné vody v odběrném místě č. 11.

Tabulka 13: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 12

Vzorek	Zákal ZFn	Fe mg/l	Tvrđost mmol/l	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Kondukt. mS/m	Odpuštěno m ³
odkalování 12. 4. 2018		0.24	2.20	24.00	0.00	7.1	7.70	9.63	0,0
		0.11	1.90	19.00	0.01	7.16	7.60	9.16	3,0
		-	-	-	0.01	-	-	-	3.5
		-	-	-	0.02	-	-	-	3,0
		-	-	-	0.03	-	-	-	3,0
po odkalování 26. 4. 2018	2.44	0.11	2.20	26.00	0.00	7.11	7.90	9.81	0,0
	-	-	-	-	0.01	-	-	-	6,0
	-	-	-	-	0.01	-	-	-	6,0

V odběrném místě č. 12 v ulici Bezručova bylo odkalením 3 m³ vody snížena koncentrace železa pod 0,2 mg/l. Tvrđost vody odpovídá doporučeným hodnotám dle vyhlášky 252/2004 Sb., stejně odpovídají hodnoty ukazatelů pH a konduktivity. Chlor nedosahuje minimálních doporučených hodnot ani v jedné sérii měření.

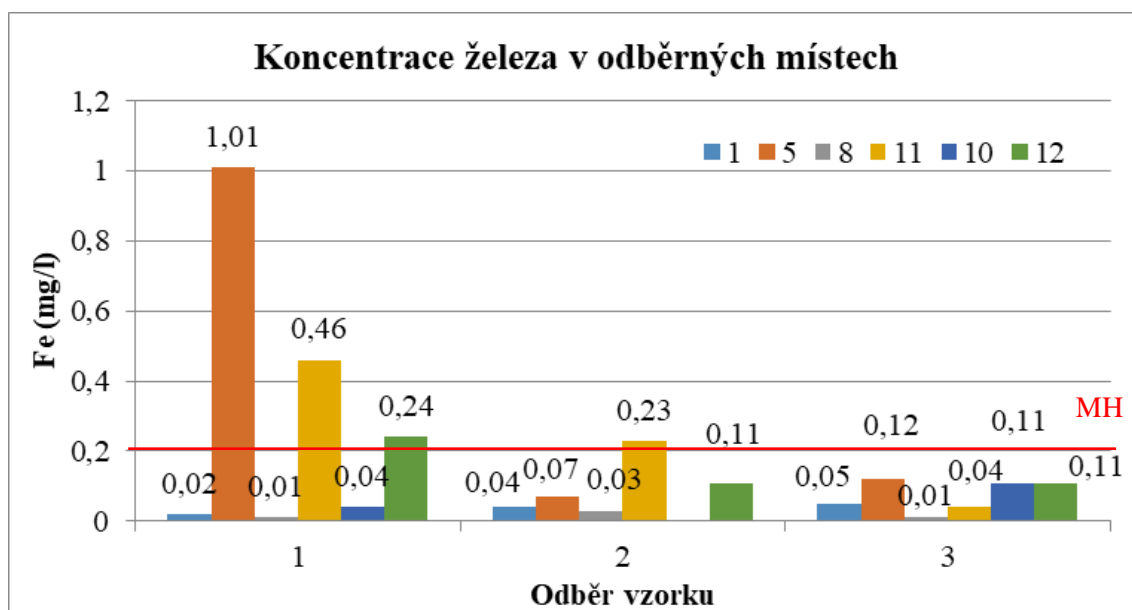
Železo

Limitní koncentrace železa v pitné vodě je $0,2 \text{ mg/l}$. Tato koncentrace byla ve 3 případech před odkalováním vodovodu překročena. V tabulce pod textem jsou zaznamenány naměřené hodnoty koncentrace železa ve vzorcích.

Tabulka 14: Naměřené koncentrace železa ve vzorcích vody

Fe (mg/l)	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	0.02	1.01	0.01	0.46	0.04	0.24
v průběhu odkalování		-	-	0.31	-	-
		-	-	0.23	-	-
		-	-	0.14	-	-
ihned po odkalování	0.04	0.07	0.03	0.20	-	0.11
14 dnů po odkalování	0.05	0.12	0.01	0.04	0.11	0.11

Na grafu níže je znázorněna koncentrace železa v odběrných místech v jednotlivých sériích měření (1 – před odkalováním, 2 – ihned po odkalování, 3 – s odstupem 14 dnů po odkalování).



Graf 4: Koncentrace železa v odběrných místech

Pozn.: Koncentrace Fe při odběru vzorku č. 1 odpovídají jakosti vody 12. - 13. 4. 2018 před odkalováním, hodnoty odběru vzorku č. 2 odpovídají jakosti vody po odkalování 12. - 13. 4. 2018, odběr vzorku vody č. 3 udává koncentrace Fe ve vodě 14 dnů po odkalování vodovodu (26. - 27. 4. 2018).

Limitní koncentrace Fe v pitné vodě byla překročena v odběrných místech č. 5, 11 a 12.

Tvrdość

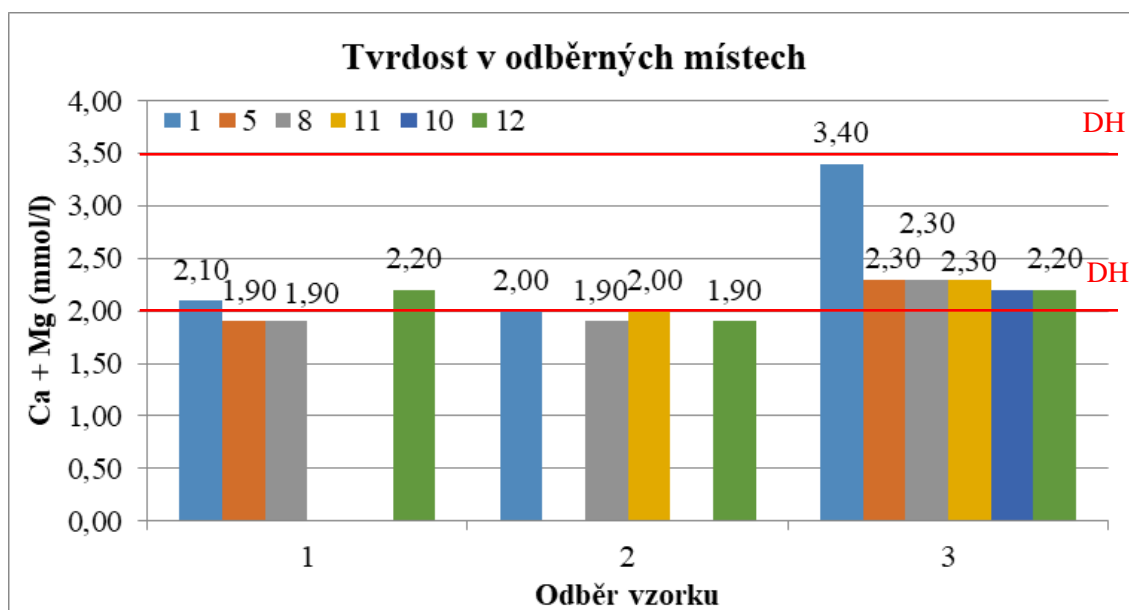
Doporučená hodnota pro tvrdość vody (Ca + Mg) je dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. je 2,0 – 3,5 mmol/l. V odebraných vzorcích 5 a 8 před odkalováním nebyla minimální doporučená hodnota 2,0 mmol/l dosažena. Vzhledem k tomu, že jsou pro celkovou tvrdość stanoveny jako limity pouze doporučené hodnoty, tvrdość vody byla hodnocena jako **optimální** i v případě koncentrace 1,9 mmol/l.

Tabulka 15: Naměřená tvrdość ve vzorcích vody

Tvrdość (mmol/l)	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	2.10	1.90	1.90	N	N	2.20
ihned po odkalování	2.00	N	1.90	2.00	-	1.90
14 dnů po odkalování	3.40	2.30	2.30	2.30	2.20	2.20
	2.10	-	-	-	-	-

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

Graf níže znázorňuje hodnoty tvrdości v odběrných místech v jednotlivých sériích měření (1 – před odkalováním, 2 – ihned po odkalování, 3 – s odstupem 14 dnů po odkalování).



Graf 5: Tvrdość vody v odběrných místech

Většina naměřených hodnot tvrdości vody spadá mezi doporučené rozmezí popsané výše.

Alkalita

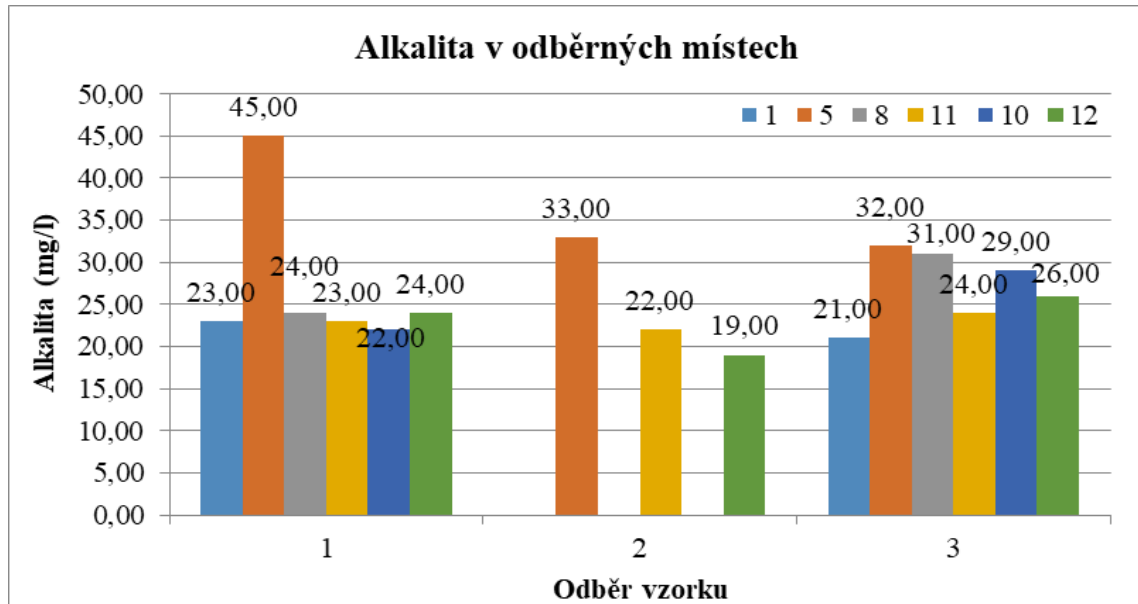
V tabulce níže jsou uvedeny naměřené hodnoty alkality vody.

Tabulka 16: Naměřené hodnoty alkality ve vzorcích vody

Alkalita (mg/l)	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	23.00	45.00	24.00	23.00	22.00	24.00
ihned po odkalování	N	33.00	N	22.00	-	19.00
14 dnů po odkalování	21.00	32.00	31.00	24.00	29.00	26.00
	21.00	-	-	-	-	-

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

V grafu níže jsou znázorněny hodnoty alkality v odběrných místech v jednotlivých sériích měření (1 – před odkalováním, 2 – ihned po odkalování, 3 – s odstupem 14 dnů po odkalování).



Graf 6: Alkalita v odběrných místech

Nejvyšší hodnoty alkality byly naměřeny v odběrném místě č. 5. Průměrná hodnota alkality před odkalováním je 26,83 mg/l, po odkalování vzrostla na 27,17 mg/l.

Volný chlor

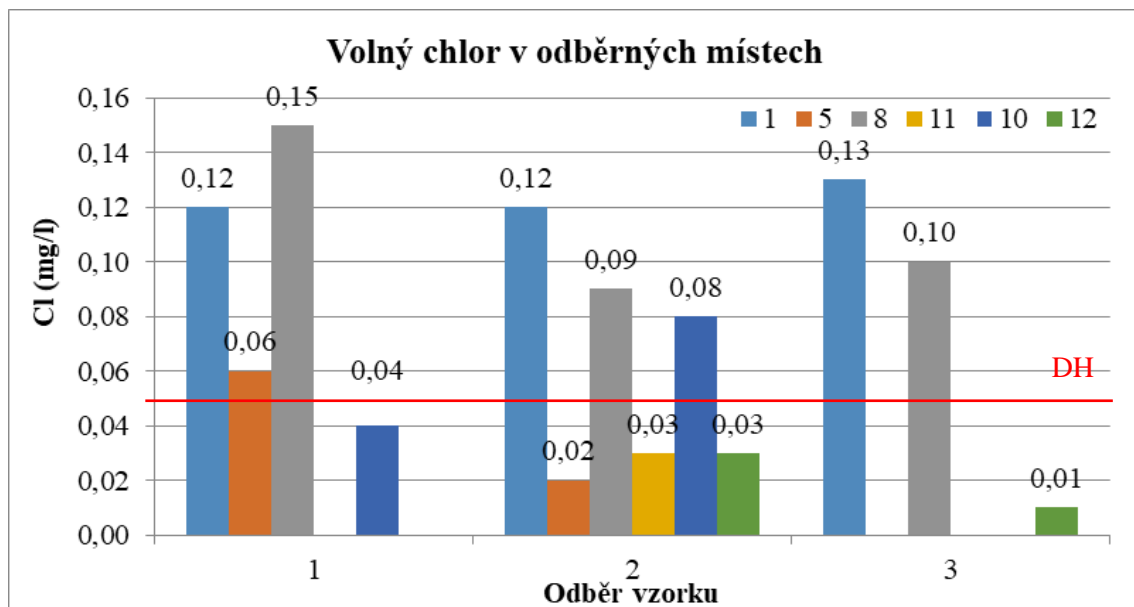
V případě ukazatele volného chloru bylo zjištěno, že koncentrace v několika odběrných místech nedosahují minimální doporučené hodnoty 0,05 mg/l, jedná se zejména o vzdálenější místa od vodojemu.

V níže uvedené tabulce jsou výsledky rozborů vody pro volný chlor.

Tabulka 17: Naměřené koncentrace volného chloru ve vzorcích vody

Chlor (mg/l)	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	0.12	0.06	0.15	0.00	0.04	0.00
ihned po odkalování	0.12	0.02	0.09	0.01	-	0.01
	-	-	-	0.03	-	0.01
	-	-	-	0.01	-	0.02
14 dnů po odkalování	-	-	-	0.03	-	0.03
	0.13	0.00	0.10	0.00	0.03	0.00
	0.09	-	-	0.00	0.08	0.01
	-	-	-	-	-	0.01

Graf níže znázorňuje hodnoty chloru v odběrných místech v jednotlivých sériích měření (1 – před odkalováním, 2 – ihned po odkalování, 3 – s odstupem 14 dnů po odkalování).



Graf 7: Volný chlor v odběrných místech

Závislost koncentrace chloru na délce distribučního systému pitné vody je řešena v kapitole níže.

pH vody

Hodnoty ukazatele pH jsou u všech analyzovaných vzorků z odběrných míst v rozmezí daném vyhláškou č. 252/2004 Sb. Tabulka níže uvádí pH všech odebraných vzorků vody.

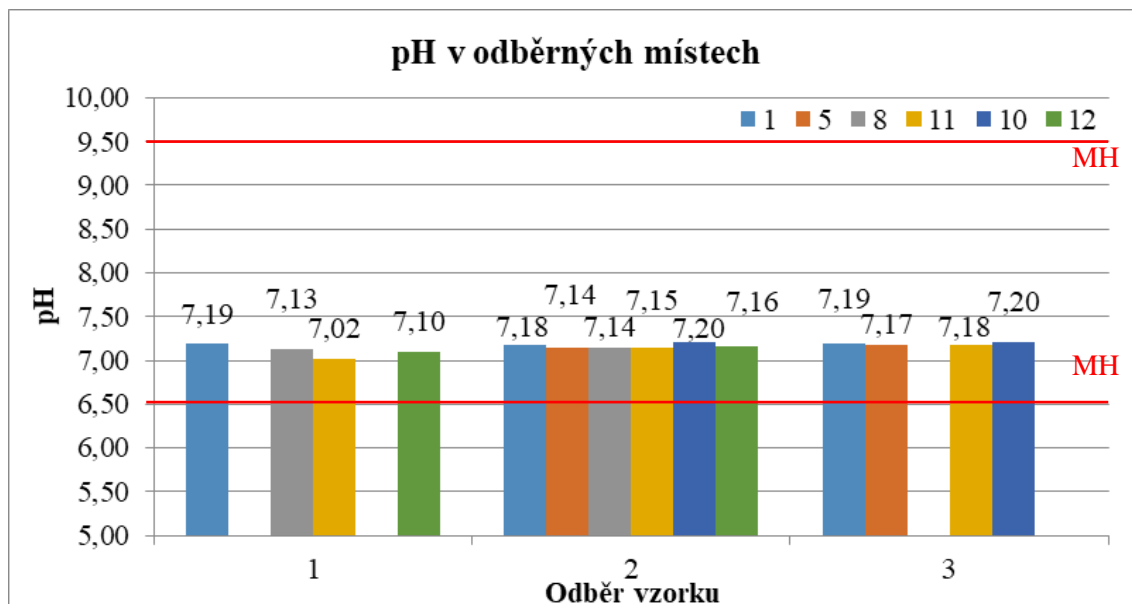
Tabulka 18: Naměřené hodnoty pH ve vzorcích vody

pH	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	7.19	N	7.13	7.02	7.20	7.10
ihned po odkalování	7.18	7.14	7.14	7.12	-	7.16
	-	-	-	7.17	-	-
	-	-	-	7.15	-	-
	-	-	-	7.15	-	-
14 dnů po odkalování	7.19	7.17	7.13	7.18	7.20	7.11
	7.15	-	-	-	-	-

Pozn.: N = chyba přístroje, nedostupná hodnota

pH ve všech odběrných místech je stabilní, nejnižší hodnota klesla na 7,02, nejvyšší hodnota dosahuje 7,20. Průměrná hodnota pH před odkalováním odpovídá 7,13, po odkalování 7,15 a s odstupem dvou týdnů při 3. sérii měření 7,16.

Na grafu pod textem jsou znázorněny mezní hodnoty pro ukazatel pH pitné vody dle vyhlášky, a hodnoty naměřené při kontrolním měření (1 – před odkalováním, 2 – ihned po odkalování, 3 – s odstupem 14 dnů po odkalování).



Graf 8: pH vody v odběrných místech

Teplota vody

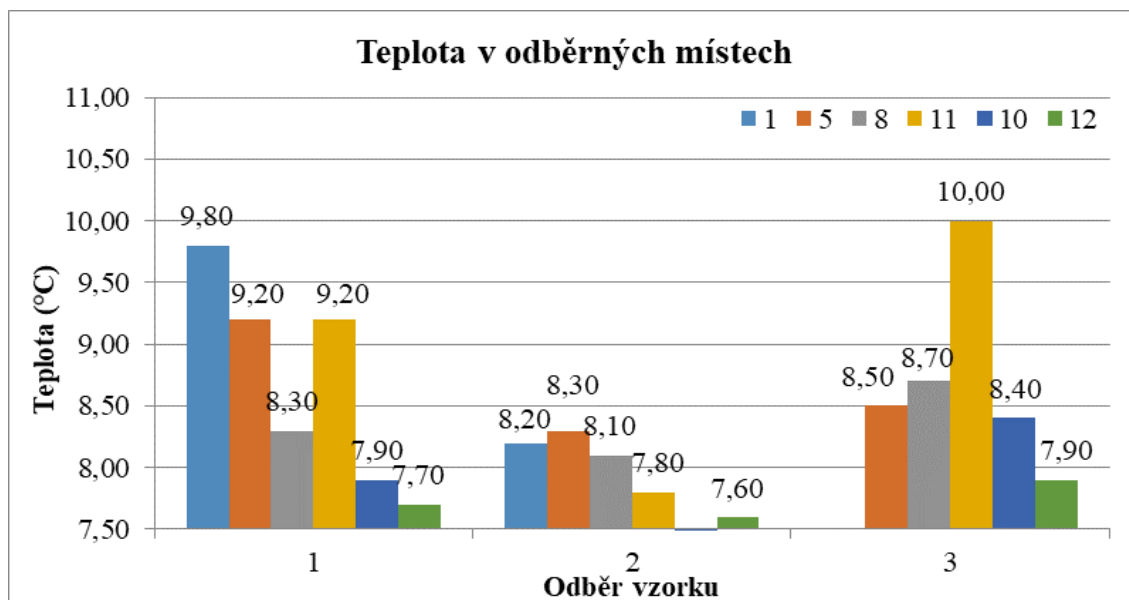
Teplota vody je ve vyhlášce pro jakost vody upravena doporučenými hodnotami – spodní doporučená teplota vody je 8 °C, horní teplotní hranice je 12 °C. Teplota vody ve vodovodu ve vybrané lokalitě se pohybuje spíše u dolní doporučené hodnoty.

Nejvyšší naměřená hodnota teploty vody byla 10 °C, nejnižší 7,50 °C.

Tabulka 19: Naměřené hodnoty teploty ve vzorcích vody

Teplota (°C)	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	9.80	9.20	8.30	9.20	7.90	7.70
ihned po odkalování	8.20	8.30	8.10	8.10	-	7.60
	-	-	-	7.80	-	-
	-	-	-	7.80	-	-
14 dnů po odkalování	8.10	8.50	8.70	10.00	8.40	7.90
	8.10	-	-	-	-	-

Graf níže znázorňuje hodnoty teploty vody v odběrných místech v jednotlivých sériích měření (1 – před odkalováním, 2 – ihned po odkalování, 3 – s odstupem 14 dnů po odkalování).



Graf 9: Teplota vody v odběrných místech

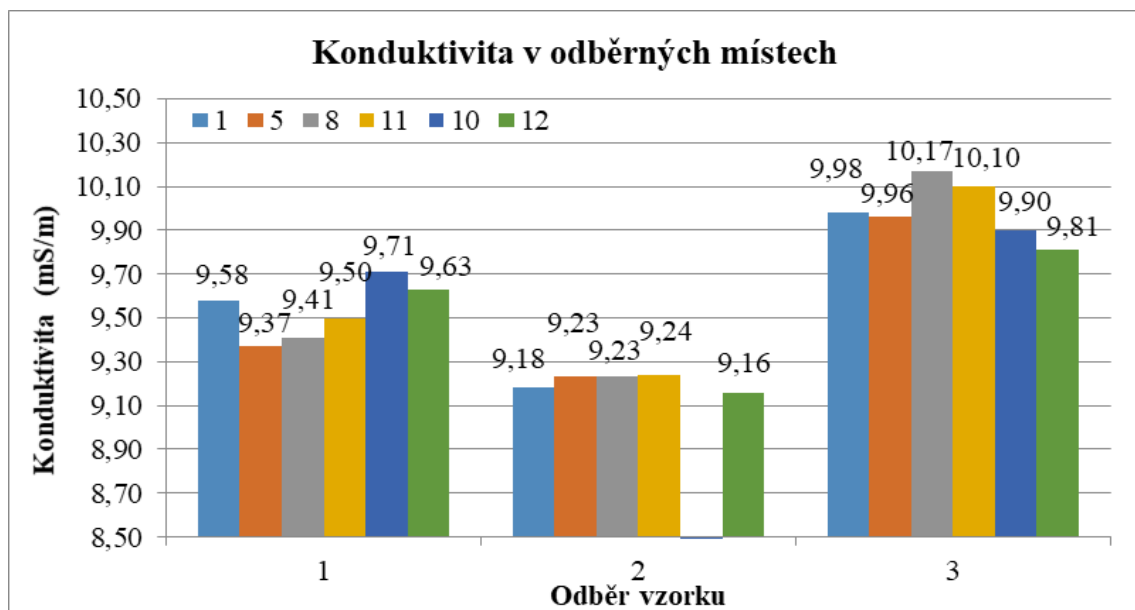
Konduktivita

Mezní hodnota konduktivity pro pitnou vodu dle vyhlášky 252/2004 Sb. je 125 mS/m . Tato hodnota nebyla ani dosažena. Konduktivita v odebraných vzorcích se pohybovala mezi $9,16 - 10,10 \text{ mS/m}$.

Tabulka 20: Naměřené hodnoty konduktivity ve vzorcích vody

Konduktivita (mS/m)	Vzorek					
	1	5	8	11	10	12
před odkalováním	9,58	9,37	9,41	9,50	9,71	9,63
ihned po odkalování	9,18	9,23	9,23	9,24	-	9,16
	-	-	-	9,24	-	-
	-	-	-	9,22	-	-
14 dnů po odkalování	9,98	9,96	10,17	10,10	9,90	9,81

Konduktivita dosahala ve vzorcích nejmenších hodnot bezprostředně po odkalování vodovodu (odběr vzorku č. 2). Na grafu níže jsou uvedeny hodnoty všech vzorků podle sérií měření (odběr vzorků 1, 2, 3).



Graf 10: Konduktivita vody v odběrných místech

Zákal

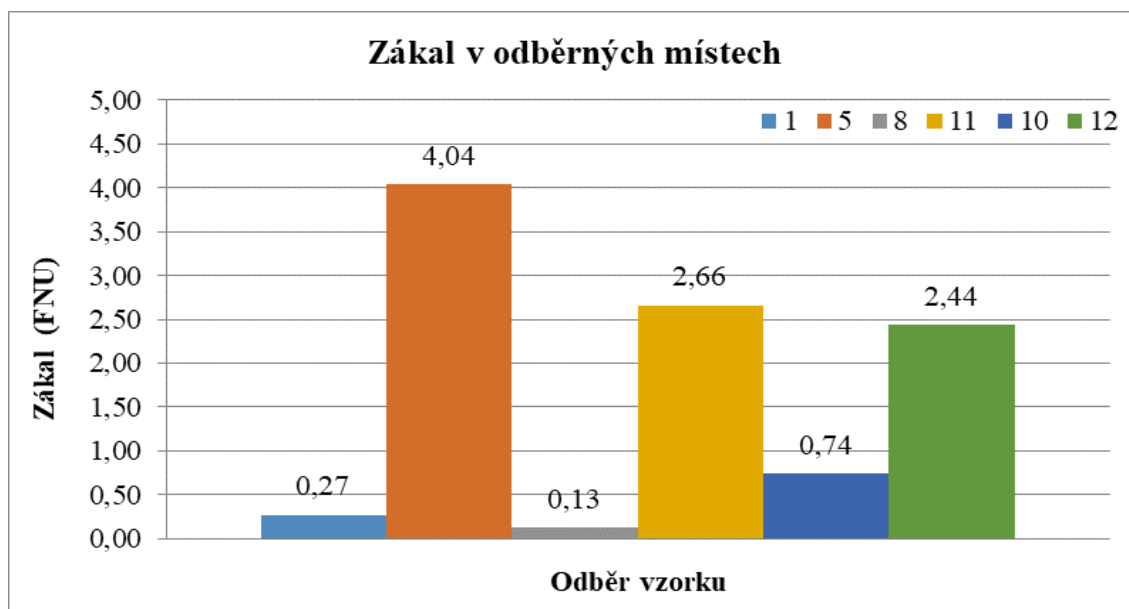
Hodnoty ukazatele zákalu bylo možné měřit pouze ve 2. sérii měření jakosti vody. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce pod textem.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty zákalu ve vzorcích vody

Vzorek	1	5	8	11	10	12
Zákal (ZFN)	0,27	4,04	0,13	2,66	0,74	2,44
	0,14	-	-	-	-	-

Výsledné hodnoty kontrolního měření odpovídají požadavkům předpisu a splňují kritéria pro pitnou vodu – nedosahují mezní hodnoty zákalu 5,0 ZFN.

Hodnoty zákalu jsou vyšší především v odběrných místech č. 5, 11 a 12. Spolu se zákalem zde byly naměřeny vyšší koncentrace železa.



Graf 11: Zákal v odběrných místech

Vliv distribuční sítě na jakost dopravované vody

Níže je popsán vliv distribuční sítě na jakost pitné vody.

Železo

Z vodojemu Křížový vrch je distribuována voda o koncentraci $Fe < 0,05 \text{ mg/l}$. Na prvním odběrném místě, kam je voda přiváděna potrubím z **litiny z roku 1898** nebyly naměřeny vyšší koncentrace železa (naměřené hodnoty železa zde byly ve stejné koncentraci, nebo menší), tudíž je možné říci, že tato část distribuční sítě negativně **neovlivňuje** i přes stáří potrubí **jakost vody** s ohledem na koncentraci železa.

Z prvního odběrného místa do druhého (číslo 5) je voda dopravována zhruba ze dvou třetin délky potrubím z tvárné litiny z roku 2009 a 2017, zbývající část je tvořena litinovým potrubím z roku 1926. Vzhledem k tomu, že do následujícího měrného bodu (číslo 8) je voda dopravována stejným potrubím (TLT z roku 2009) a z naměřených

hodnot nevyplývá zhoršení jakosti vody, vliv tohoto potrubí je možné vyloučit. **Vyšší koncentrace Fe (1,01 mg/l) v odběrném místě 5 lze pravděpodobně přisoudit úseku sítě z roku 1926.**

Další zvýšené koncentrace železa byly naměřeny v odběrném místě č. 11. Do tohoto místa je voda přiváděna ze dvou potrubí přes ulici U jatek nebo Zeyerovu.

První z možností (ulice U jatek) obsahuje úseky potrubí z PVC (54 m) a úseky z **litiny DN 80 s datem položení 1902 (378 m)**. Litinové potrubí je ve funkci již 116 let a je zde možný vliv na obsah železa ve vodě. Další možností ovlivnění jakosti vody je vliv potrubí v úseku sítě mezi ulicemi Husovou, Zeyerovou a Vanžurovou. Zde je stejná situace, jako v prvním případě. Část úseku je tvořena potrubím z PVC, jehož vliv na koncentraci železa ve vodě je pravděpodobně žádný. V ulici Zeyerova bylo pro ověření umístěn odběr vody (vzorek č. 10). Hodnoty koncentrace železa, naměřené v tomto místě, nedokazují vliv úseku sítě mezi ulicemi Husovou a Zeyerovou (LT DN 150, rok 1972) na hodnoty koncentrace železa ve vodě. Je tedy také pravděpodobné, že na vyšší koncentraci železa v odběrném místě 11 má vliv **úsek sítě v ulici Vanžurova (LT, DN 80)**.

Zvýšené koncentrace železa byly také naměřeny v odběrném místě č. 12. V tomto případě je pravděpodobné, že ke zvýšení koncentrace přispívá **litinové potrubí v Bezručově ulici DN 80 z roku 1902**.

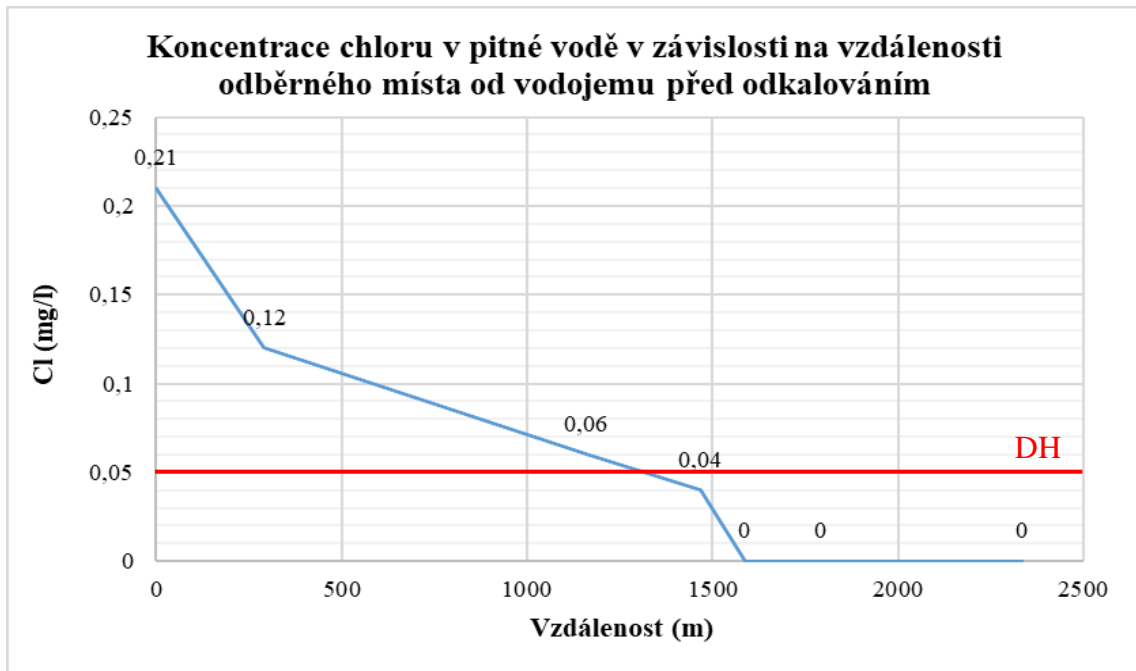
Vyšší koncentrace zákalu byly naměřeny v odběrných místech tam, kde byly naměřeny zvýšené hodnoty železa.

Chlor

Koncentrace volného chloru na úpravně vody v Adolfovicích se pohybuje v průměru přes **0,52 mg/l**. Koncentrace volného chloru na odtoku z vodojemu Křížový vrch se pohybuje kolem hodnoty **0,16 mg/l**.

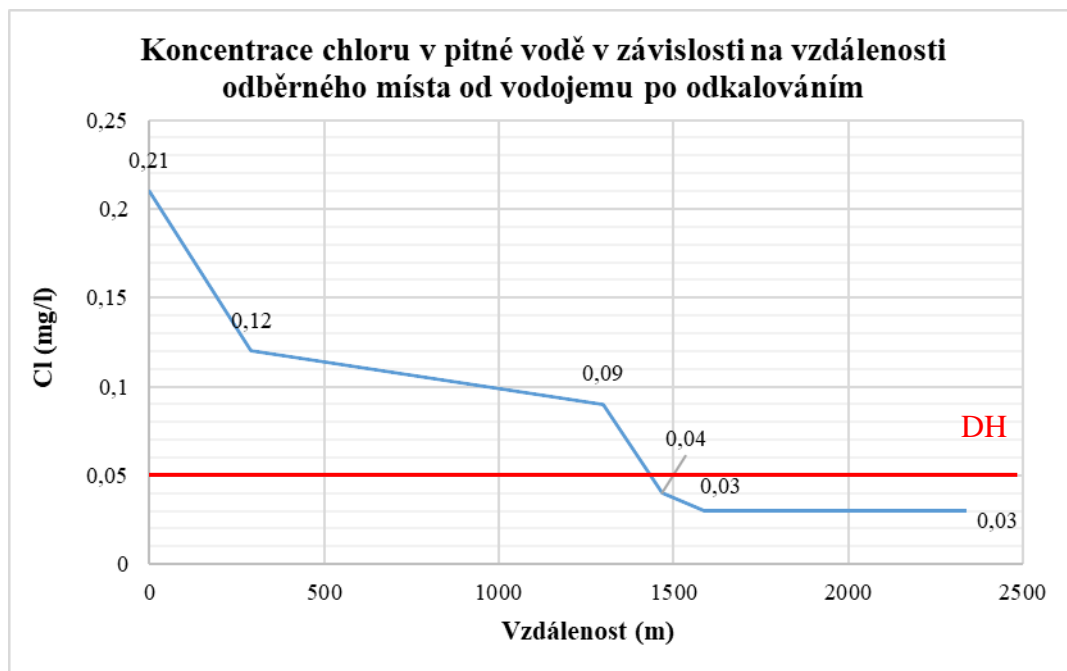
Z naměřených hodnoty v distribuční síti vyplývá, že koncentrace chloru ve vybrané lokalitě před odkalováním klesá po 1 200 - 1400 m v rozvodné síti pod doporučenou hodnotu **0,05 mg/l**.

Níže uvedený graf zobrazuje koncentraci chloru v pitné vodě v závislosti na vzdálenosti odběrného místa od vodojemu (ve vodojemu – vzdálenost 0 m, koncentrace Cl **0,21 mg/l**) před odkalování a po odkalování.



Graf 12: Koncentrace chloru v pitné vodě v závislosti na vzdálenosti odběrného místa od vodojemu před odkalováním

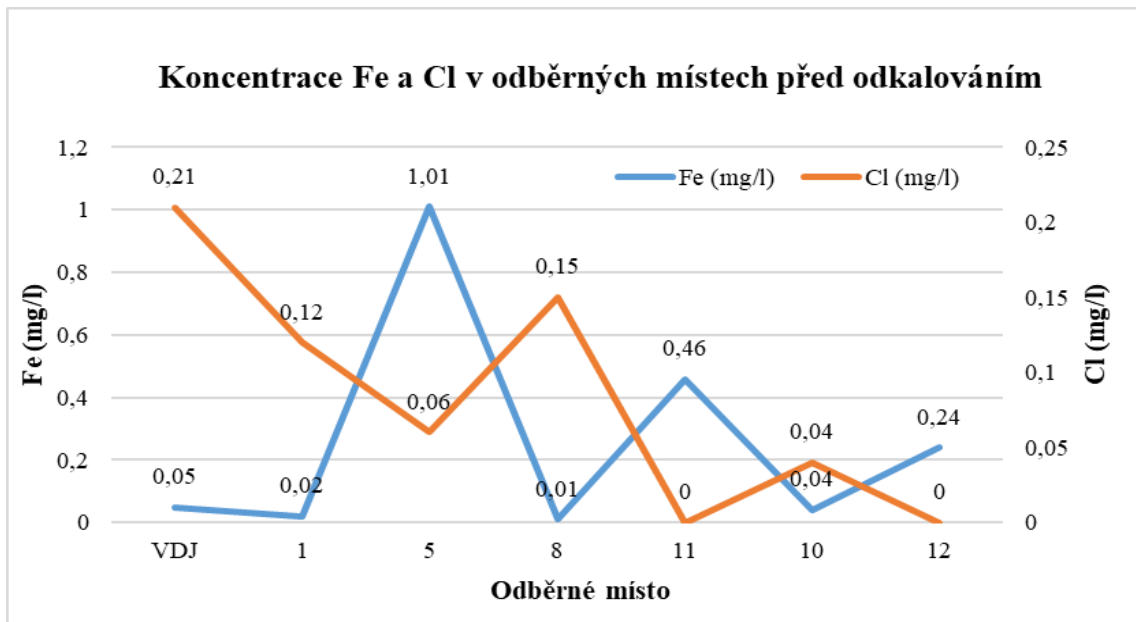
Po odkalování se koncentrace chloru v odběrných místech, zejména ve vzdálenějších od vodojemu, zvýšila. Přesto nedosahují na doporučenou koncentraci chloru v pitné vodě $0,05 \text{ mg/l}$.



Graf 13: Koncentrace chloru v pitné vodě v závislosti na vzdálenosti odběrného místa od vodojemu po odkalování

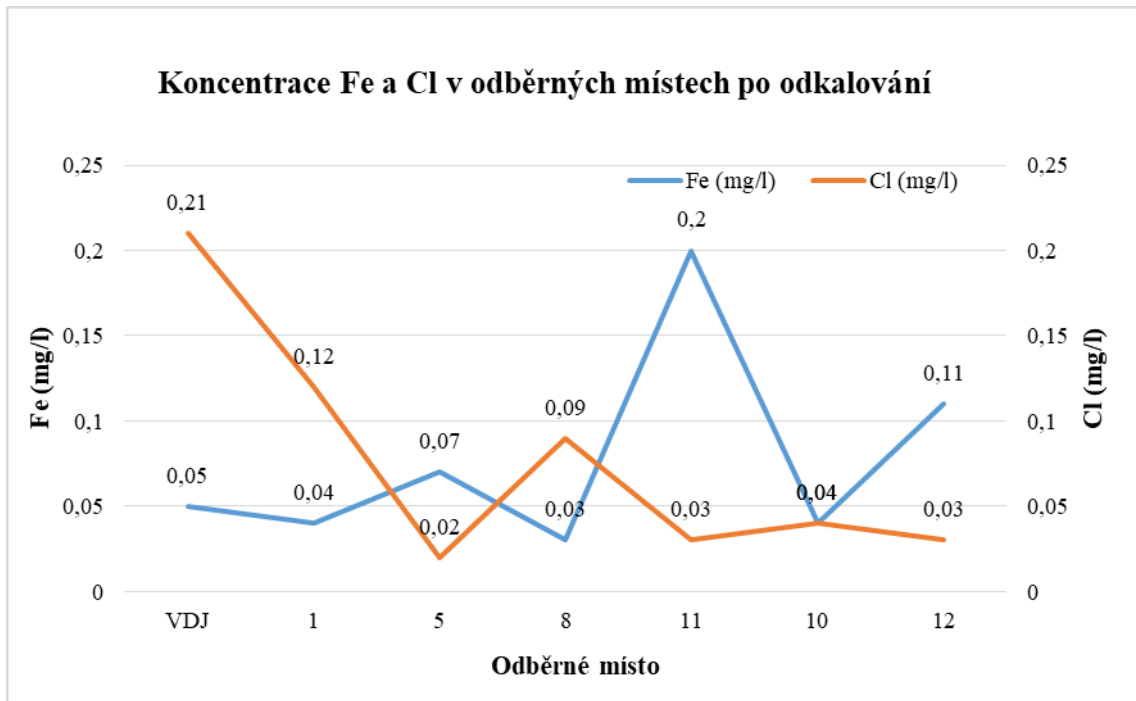
V souvislosti se vzrůstající délkou distribuční sítě byly zaznamenány proměnlivé koncentrace železa a chloru. Z grafu níže je možné říci, že pokud se v daném odběrném místě zvýšila koncentrace chloru, poklesla koncentrace železa a naopak. Velikost

snížení/zvýšení je s narůstající délkou distribuční sítě menší. Graf níže zobrazuje situaci v odběrných místech před odkalováním.



Graf 14: Koncentrace Fe a Cl v odběrných místech před odkalováním

Po odkalování se koncentrace železa vychyluje v nižších hodnotách 0,03 – 0,2 mg/l. Graf pod textem zobrazuje situace v síti po odkalování.



Graf 15: Koncentrace Fe a Cl v odběrných místech po odkalování

Návrh opatření k eliminaci nepříznivých vlivů distribuční sítě

Nízké koncentrace volného chloru v rozvodné síti by bylo možné zvýšit dochlorováním ve vodojemu Křížový vrch, nebo **zvýšením dávky plynného chloru na úpravně vody** v Adolfovicích.

Z úpravny vody v Adolfovicích je voda dopravována ocelovým potrubím o celkové délce 5824 m (DN 300 – 3 870 m, DN 250 – 1 176 m, DN 200 - 778m) do vodojemu Křížový vrch. Koncentrace volného chloru na výstupu z úpravny vody v Adolfovicích se pohybuje v průměru přes **0,52 mg/l**, koncentrace volného chloru na odtoku z vodojemu Křížový vrch se pohybuje kolem hodnoty **0,16 mg/l**. V kratší vzdálenosti od úpravny vody je vodojem Čapka (5 028 m).

Pokud hodnoty ukazatele volného chloru na výstupu z vodojemu Čapka dosahují mezních hodnot pro chlor stanovených vyhláškou, bude doporučeno upravení **dochlorování na vodojemu na Křížovém vrchu** alespoň na koncentraci **0,28 mg/l** na výstupu.

Vyšší hodnoty koncentrace železa v distribuční síti byly naměřeny v odběrných místech, kde je možné počítat s vlivem stáří trubního materiálu. Pravděpodobně se jedná o **úseky sítě v ulici Nerudova** - litinové potrubí DN 80 z roku 1926 o celkové délce 297 m, dále ulice **U jatek** - litinové potrubí DN 80 z roku 1902 o délce 375 m, dále úsek 270m v ulici **Vanžurova** (LT, DN 80) a úsek sítě v **Bezručově ulici** o DN 80 z roku 1902 o délce 505 m. Tyto úseky **potrubí bylo doporučeno zařadit k obnově**.

Po posouzení hodnot ukazatelů ve všech odběrných místech před odkalováním, bezprostředně po odkalování a s odstupem dvou týdnů po odkalování, bylo navrženo **v odběrném místě č. 1 a 8 snížit intenzitu odkalování**. V odběrných místech č. 5, 11, 10 a 12 - vzhledem k výskytu zákalu (vyšší hodnota vzorku č. 5 - zákal **4,04 ZFN**) a nízké koncentraci volného chloru spolu s vyšší koncentrací železa by pravděpodobně vedlo snížení intenzity odkalování ke zhoršení kvality vody. Odkalování je tedy v těchto místech doporučeno provádět měsíčně.

Vzhledem k časté intenzitě odkalování celé sítě bylo doporučeno uskutečnit kamerový průzkum za účelem zjištění stavu vnitřního povrchu potrubí.

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo určit, zda jakost vody ve vybraném vodovodu odpovídá hygienickým požadavkům na pitnou vodu dle souvisejících právních předpisů a zhodnotit vliv distribuční sítě na jakost dopravované vody. Parciálním cílem bylo také navrhnout opatření k eliminaci nepříznivých účinků distribuční sítě na jakost pitné vody.

První část práce obsahuje teoretické ukotvení tématu, na které je navázáno v dalších částech práce. V kapitole č. 3 jsou uvedeny informace o vybrané lokalitě a vodovodu. Kapitola 4.1 je věnována zhodnocení jakosti vody na úpravně vody, ve vodojemu a v rozvodné síti. Byly zde využity data z rozborů vody v letech 2016 a 2017. V následující kapitole 4.2 byly analyzovány vlastní série rozborů vybraných ukazatelů jakosti vody. Dále byl zhodnocen vliv distribuční sítě na jakost vody a navrženy opatření k eliminaci nepříznivých faktorů ovlivňující jakost vody ve vodovodu.

Zhodnocení jakosti vody a vlivu distribuční sítě bylo vztaženo k odkalování systému a bylo využito tří sérií vlastních rozborů v předem určených místech na síti. Rozbory byly provedeny 12. - 13. 4. 2018, kdy probíhalo odkalování vodovodu ve vybrané oblasti. Následující série rozborů vody byla provedena s odstupem dvou týdnů 26. - 27. 4. 2018 pro vysledování změn v jakosti vody. Sledovanými ukazateli jakosti vody byly železo, chlor, tvrdost, alkalita, konduktivita, pH, teplota a zákal.

Po provedených rozborech byl zjištěn vliv distribuční sítě na jakosti vody. Pravděpodobně se jedná o ovlivnění koncentrace železa a chloru. Železo se pohybovalo v několika odběrných místech v nadlimitní koncentraci (porovnáváno s vyhláškou č. 252/2004 Sb.). Koncentrace chloru v síti neodpovídala mezní doporučené hodnotě pro hygienické zabezpečení vody $0,05 \text{ mg/l}$.

Jako opatření ke snížení vlivu distribuční sítě na jakost vody byly navrženy 4 úseky sítě k obnově, jedná se o úseky sítě Nerudova, Vanžurova, U jatek a Bezručova o celkové délce 1447 m. Dále bylo doporučeno zvýšit dávky chloru pro hygienizaci vody, a v místech s odpovídající jakostí vody snížit intenzitu odkalování vodovodu, což by mohlo vést k úspoře provozních nákladů.

Vzhledem k častému plošnému a úsekovému odkalování bylo dále doporučen kamerový průzkum v kritických úsecích sítě.

Summary

The aim of the work was to determine whether the water quality in the selected water supply complies with the hygiene requirements for drinking water according to the relevant legal regulations and to assess the influence of the distribution network on the quality of the transported water. The partial objective was also to propose measures to eliminate the adverse effects of the distribution network on the quality of drinking water.

The first part of the thesis contains the theoretical anchor of the topic, which is followed in other parts of the thesis. Chapter 3 provides information on the selected site and water supply. Chapter 4.1 is devoted to assessing water quality at the water treatment plant, in the water tank and in the grid. Data from water analyzes in 2016 and 2017 were used here. The following chapter 4.2 analyzed the series of analyzes of selected water quality indicators. In addition, the influence of the distribution network on water quality was assessed and measures were proposed to eliminate the adverse factors affecting water quality in the water main.

The assessment of water quality and the influence of the distribution network was related to the decontamination of water supply system and three sets of custom analyzes were used at predetermined sites on the network. The analyzes were conducted on 12 - 13 April 2018, when the water supply was drained in the selected area. The following series of water analyzes was performed two weeks apart 26. - 27. 4. 2018 for tracing changes in water quality. The monitored water quality indicators were iron, chlorine, hardness, alkalinity, conductivity, pH, temperature and turbidity.

After analyzes, the distribution network's impact on water quality was determined. It is likely to affect the concentration of iron and chlorine. Iron was moved at several sampling points in excess concentration (compared with the 252/2004.). The chlorine concentration in the network did not meet the 0.05 mg / l water hygiene limit.

As a measure to reduce the distribution network's impact on water quality, four sections of the network for renewal were proposed, namely Nerudova, Vanžurova, U jatek and Bezručova nets with a total length of 1447 m. It was also recommended to increase chlorine doses for water hygiene, and reduce the drainage intensity of the water supply in places with adequate water quality, which could lead to savings in operating costs.

Due to the frequent area and segmental decontamination of water supply system, a camera survey was also recommended in critical sections of the network.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) *Guidelines for drinking – water quality*. 4th ed. Geneva: World Health Organization, c2011. ISBN 9789241548151.
- (2) LETTERMAN, Reymond D. (ed.). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, c1999. ISBN 0070015406.
- (3) PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-807-0809-280.
- (4) *Vodovody a kanalizace Jesenicka, a. s.* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.vakjes.cz>
- (5) KOŽÍŠEK, František. *Gustav Kabrhel a hygiena vody: Seminář u příležitosti 150. výročí narození prof. G. Kabrhela*. Chrudim, 2007.
- (6) KOŽÍŠEK, František. *Senzorika v oblasti pitné vody: Konzultační den SZÚ 31.3.2005*. Chrudim, 2005.
- (7) IMRAN, Syed A. *Water Quality in the Distribution System: National Research Council Canada* [online]. In: 2010 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.mae.gov.nl.ca/waterres/training/adww/manageoperation/05_syed_imran_gander_conference.pdf
- (8) LI, Manjie, Zhaowei LIU a Yongcan CHEN. Characteristics of iron corrosion scales and water quality variations in drinking water distribution systems of different pipe materials. *Water Research* [online]. State Key Laboratory Hydroscience and Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, 1.12.2016, 593-603 [cit. 2018-05-15]. ISSN 0043-1354.
- (9) KOŽÍŠEK, František, Jíří KOS a Petr PUMANN. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství* [online]. In: Státní zdravotní ústav Praha, Krajská hygienická stanice Středočeského kraje se sídlem v Praze, 2006, 2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HVRscufb89MJ:https://www.mzcr.cz/Soubor.ashx%3FsouborID%3D7353%26typ%3Dapplication/pdf%26navez%3DHygienick%25C3%25A9%2520minimum%2520pro%2520pracovn%25C3%25ADky%2520ve%2520vod%25C3%25A1renstv%25C3%25AD.pdf+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=firefox-b>
- (10) MACEK, Lubomír. *Optimalizace odkalování a vypouštění přiváděcích řadů – zamýšlíme se nad hydraulikou potrubí?* [online]. In: 2001 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/archive/013/001603.pdf>
- (11) Výroční zpráva za rok 2016: VODOVODY A KANALIZACE JESENICKA, a.s. [online]. In: . 3.5.2017 [cit. 2018-05-17].
- (12) Výroční zpráva za rok 2013: VODOVODY A KANALIZACE JESENICKA, a.s. [online]. In: . 13.5.2014 [cit. 2018-05-17].

- (13) *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací: Olomoucký kraj* [online]. 2004 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: prvk.kr-olomoucky.cz
- (14) ŠULC, Radek. *Koroze* [online]. 2008 [cit. 2018-05-15]. Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Chpredn13-Ko.pdf>

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vybrané ukazatele jakosti vody na odtoku z úpravny vody.....	27
Graf 2: Vybrané ukazatele jakosti vody ve vodojemu na Křížovém vrchu.....	29
Graf 3: Koncentrace železa v odběrném místě č. 11 v závislosti na odebraném množství vody při odkalování.....	34
Graf 4: Koncentrace železa v odběrných místech	36
Graf 5: Tvrdost vody v odběrných místech	37
Graf 6: Alkalita v odběrných místech.....	38
Graf 7: Volný chlor v odběrných místech	39
Graf 8: pH vody v odběrných místech.....	40
Graf 9: Teplota vody v odběrných místech	41
Graf 10: Konduktivita vody v odběrných místech.....	42
Graf 11: Zákal v odběrných místech.....	43
Graf 12: Koncentrace chloru v pitné vodě v závislosti na vzdálenosti odběrného místa od vodojemu před odkalováním	45
Graf 13: Koncentrace chloru v pitné vodě v závislosti na vzdálenosti odběrného místa od vodojemu po odkalování	45
Graf 14: Koncentrace Fe a Cl v odběrných místech před odkalováním.....	46
Graf 15: Koncentrace Fe a Cl v odběrných místech po odkalování	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Prahové hodnoty chuti vybraných prvků (2, 6)	15
Tabulka 2: Délka distribučních řadů skupinového vodovodu Vak Jesenicka	22
Tabulka 3: Počet obyvatel v zásobovaných oblastech.....	22
Tabulka 4: Vybrané ukazatele jakosti vody na odtoku z úpravny vody – rok 2016.....	26
Tabulka 5: Vybrané ukazatele jakosti vody na odtoku z úpravny vody – rok 2017.....	27
Tabulka 6: Vybrané ukazatele jakosti vody ve vodojemu Křížový vrch – rok 2016	28
Tabulka 7: Vybrané ukazatele jakosti vody ve vodojemu Křížový vrch – rok 2017	28
Tabulka 8: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 1.....	31
Tabulka 9: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 5.....	32
Tabulka 10: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 8.....	33
Tabulka 11: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 11.....	33
Tabulka 12: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 10.....	34
Tabulka 13: Výsledné hodnoty rozboru vody - vzorek č. 12.....	35
Tabulka 14: Naměřené koncentrace železa ve vzorcích vody	36
Tabulka 15: Naměřená tvrdost ve vzorcích vody	37
Tabulka 16: Naměřené hodnoty alkality ve vzorcích vody	38
Tabulka 17: Naměřené koncentrace volného chloru ve vzorcích vody.....	39
Tabulka 18: Naměřené hodnoty pH ve vzorcích vody	40
Tabulka 19: Naměřené hodnoty teploty ve vzorcích vody	41
Tabulka 20: Naměřené hodnoty konduktivity ve vzorcích vody.....	42
Tabulka 21: Naměřené hodnoty zákalu ve vzorcích vody.....	43

SEZNAM OBRÁZKŮ A ROVNIC

Obrázek 1: Vodojem na Křížovém vrchu	24
Obrázek 2: Lokalita pro vlastní sérii rozborů vody	30
Rovnice 1: Rovnice pro výpočet alkality (8)	16
Rovnice 2: Vztah mezi konduktivitou a koncentrací iontově rozpuštěných látek (3)	18
Rovnice 3: Vztah mezi konduktivitou a celkovou mineralizací (3)	18

PŘÍLOHY

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Mikrobiologické a biologické ukazatele pitné vody a jejich limity
- Příloha č. 2: Fyzikální a chemické ukazatele pitné vody
- Příloha č. 3: Naměřené hodnoty ukazatelů jakosti vody ve vybrané lokalitě
- Příloha č. 4: Organoleptické ukazatele pitné vody
- Příloha č. 5: Vybrané ukazatele jakosti ve vodojemu Křížový vrch v letech 2016 - 2017

Příloha č. 1: Mikrobiologické a biologické ukazatele pitné vody a jejich limity

Č.	UKAZATEL	JEDNOTKA	LIMIT	TYP LIMITU
1	<i>Clostridium perfringens</i>	KTJ/100ml	0	MH
2	Intestinální enterokoky	KTJ/100ml	0	NMH
		KTJ/250 ml	0	NMH
3	<i>Escherichia coli</i>	KTJ/100ml	0	NMH
		KTJ/250 ml	0	NMH
4	Koliformní bakterie	KTJ/100ml	0	MH
		KTJ/250 ml	0	MH
5	Mikroskopický obraz - abioseston	%	10	MH
6	Mikroskopický obraz - počet organismů	jedinci/ml	50	MH
7	Mikroskopický obraz - živé organismy	jedinci/ml	0	MH
8	Počty kolonií při 22 °C	KTJ/ml	Bez abnormálních změn	MH
		KTJ/ml	200	DH
		KTJ/ml	100	NMH
9	Počty kolonií při 36 °C	KTJ/ml	Bez abnormálních změn	MH
		KTJ/ml	40	DH
		KTJ/ml	20	NMH
10	<i>Pseudomonasaeruginosa</i>	KTJ/250 ml	0	NMH

Pozn.: KTJ - kolonie tvořící jednotka

Zdroj: Příloha č. 1A k vyhlášce č. 252/2004 Sb.

Příloha č. 2: Fyzikální a chemické ukazatele pitné vody

Č.	Ukazatel	Symbol	Jednotka	Limit	Typ limitu
11	1,2-dichlorethan		µg/l	3	NMH
12	Akrylamid		µg/l	0,1	NMH
13	Amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	0,5	MH
14	Antimon	Sb	µg/l	5	NMH
15	Arsen	As	µg/l	10	NMH
17	Benzen		µg/l	1	NMH
18	Benzo[a]pyren	BaP	µg/l	0,01	NMH
19	Beryllium	Be	µg/l	2	NMH
20	Bor	B	mg/l	1	NMH
21	Bromičnany	BrO ₃	µg/l	10	NMH
22	Celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5	MH
23	Dusičnany	NO ₃ ⁻	mg/l	50	NMH
24	Dusitany	NO ₂	mg/l	0,5	NMH
25	Epichlorhydrin		µg/l	0,1	NMH
26	Fluoridy	F ⁻	mg/l	1,5	NMH
27	Hliník	Al	mg/l	0,2	MH
28	Hořčík	Mg	mg/l	10	MH
				20-30	DH
29	Chemická spotřeba kyslíku (Mn)	CHSK-Mn	mg/l	3	MH
30	Chlor volný		mg/l	0,3	MH
31	Chlorethen (vinylchlorid)		µg/l	0,5	NMH
32	Chloridy	Cl ⁻	mg/l	100	MH
33	Chloritany	ClO ₂ ⁻	µg/l	200	MH
34	Chrom	Cr	µg/l	50	NMH
36	Kadmium	Cd	µg/l	5	NMH
37	Konduktivita	k	mS/m	125	MH
38	Kyanidy celkové	CN ⁻	mg/l	0,05	NMH
39	Mangan	Mn	mg/l	0,05	MH
40	Měď	Cu	µg/l	1000	NMH
41	Microcystin-LR		µg/l	1	NMH
42	Nikl	Ni	µg/l	20	NMH

Č.	Ukazatel	Symbol	Jednotka	Limit	Typ limitu
43	Olovo	Pb	µg/l	10	NMH
44	Ozon	O ₃	µg/l	50	MH
46	Pesticidní látky	PL	µg/l	0,1	NMH
47	Pesticidní látky celkem	PLC	µg/l	0,5	NMH
48	pH	pH		6,5-9,5	MH
49	Polycyklické aromatické uhlovodíky	PAU	µg/l	0,1	NMH
50	Rtuť	Hg	µg/l	1	NMH
51	Selen	Se	µg/l	10	NMH
52	Sírany	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	MH
53	Sodík	Na	mg/l	200	MH
54	Stříbro	Ag	µg/l	50	NMH
55	Tetrachlorethen	PCE	µg/l	10	NMH
56	Trihalomethany	THM	µg/l	100	NMH
57	Trichlorethen	TCE	µg/l	10	NMH
58	Trichlormethan (chloroform)		µg/l	30	MH
59	Vápník	Ca	mg/l	30	MH
60	Vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2-3,5	DH
62	Železo	Fe	mg/l	0,2	MH

Zdroj: Příloha č. 1B k vyhlášce č. 252/2004 Sb.

Příloha č. 3: Naměřené hodnoty ukazatelů jakosti vody ve vybrané lokalitě

Vzorek	Zákal ZFN	Fe mg/l	Tvrdost °dH	Alkalita mg/l	Cl mg/l	pH	Teplota °C	Konduktivita mS/m
1		0.02	2.10	23.00	0.12	7.19	9.80	9.58
		0.04	2.00	N	0.12	7.18	8.20	9.18
1*	0.27	0.05	3.40	21.00	0.13	7.19	8.10	9.98
	0.14	0.05	2.10	21.00	0.09	7.15	8.10	9.98
5		1.01	1.90	45.00	0.06	N	9.20	9.37
		0.07	N	33.00	0.02	7.14	8.30	9.23
5*	4.04	0.12	2.30	32.00	0.00	7.17	8.50	9.96
8		0.01	1.90	24.00	0.15	7.13	8.30	9.41
		0.03	1.90	N	0.09	7.14	8.10	9.23
8*	0.13	0.01	2.30	31.00	0.10	7.13	8.70	10.17
11		0.46	N	23.00	0.00	7.02	9.20	9.5
		0.31	2.00	22.00	0.01	7.12	8.10	9.24
		0.23	-	-	0.03	7.17	7.80	9.24
		0.14	-	-	0.01	7.15	7.80	9.22
		0.2	-	-	0.03	7.15	7.50	9.22
11*	2.66	0.04	2.30	24.00	0.00	7.18	10.00	10.09
	-	-	-	-	0.00	-	-	-
10		0.04	N	22.00	0.04	7.2	7.90	9.71
10*	0.74	0.11	2.20	29.00	0.03	7.2	8.40	9.90
	-	-	-	-	0.08	-	-	-
12		0.24	2.20	24.00	0.00	7.1	7.70	9.63
		0.11	1.90	19.00	0.01	7.16	7.60	9.16
		-	-	-	0.01	-	-	-
		-	-	-	0.02	-	-	-
		-	-	-	0.03	-	-	-
12*	2.44	0.11	2.20	26.00	0.00	7.11	7.90	9.81
	-	-	-	-	0.01	-	-	-
	-	-	-	-	0.01	-	-	-

Pozn.: Vzorky označené * odpovídají měření 26. - 27. 4. 2018. Rozbory vody na vzorku bez označení byly provedeny 12. - 13. 4. 2018 v průběhu prvního odkalování po zimním období.

N = chyba přístroje, nedostupná hodnota.

Příloha č. 4: Organoleptické ukazatele pitné vody

Č.	Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
16	Barva	mg/l Pt	20	MH
35	Chuť	-	přijatelná pro odběratele	MH
45	Pach	-	přijatelný pro odběratele	MH
61	Zákal	ZF (t,n)	5	MH
63	Teplota	°C	8-12	DH

Zdroj: Příloha č. 1B k vyhlášce č. 252/2004 Sb.

Příloha č. 5: Vybrané ukazatele jakosti ve vodojemu Křížový vrch v letech 2016 - 2017

Křížový vrch	2016					2017				
	I.16	III.16	VII.16	IX.16	XI.16	I.17	III.17	VII.17	IX.17	XI.17
chlor volný	0,21	0,20	0,19	0,16	0,16	0,19	0,10	0,11	0,12	0,18
pH	7,40	7,30	7,20	7,20	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	6,70
konduktivita	13,50	10,60	12,00	12,70	10,40	10,60	10,40	11,90	11,70	10,40
zákal	0,10	0,10	0,08	0,22	0,38	0,02	0,16	0,02	0,27	0,45
tvrdost	0,60	0,40	0,53	0,51	0,53	0,55	0,45	0,49	0,49	0,41
železo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05