

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU  
Z PODZEMNÍCH VOD PŘI ÚPRAVĚ PITNÉ VODY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LUCIE PERLÍKOVÁ

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.

Červen 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

studijní program: Stavební inženýrství

studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

akademický rok: 2015/2016

Jméno a příjmení studenta: Lucie Perlíková

Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.

Název bakalářské práce: Odstraňování železa a manganu z podzemních vod při úpravě pitné vody

Název bakalářské práce  
v anglickém jazyce: Removement of iron and manganese from groundwater during drinking  
water treatment

Rámcový obsah bakalářské práce: Cílem práce je popsat způsoby odstraňování železa a manganu  
z podzemních vod při úpravě pitné vody. Součástí bakalářské práce bude posouzení odstraňování  
železa a manganu na úpravně vody Janov a vyhodnocení dat surové a upravené vody.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2016 Termín odevzdání: 22.5.2016

(vyplňte poslední den výuky  
příslušného semestru)

Pokud student neodevzdal bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu bakalářskou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č. 111/1998. (SZŘ ČVUT čl. 21, odst. 4)

*Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.*

.....  
vedoucí bakalářské práce

.....  
vedoucí katedry

Zadání bakalářské práce převzal dne: 22.2.2016

.....  
student

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x student, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání BP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se BP do databáze KOS.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Kateřině Slavičkové, Ph.D., za odborné rady a názory. Dále bych poděkovala Bc. Janu Hájkovi za odborné rady ohledně Úpravny vody Janov a Ing. Janě Plaché za poskytnutí dat týkajících se této úpravny.

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou odstraňování železa a manganu z podzemních vod při úpravě na vodu pitnou. Práce je rozdělena na část praktickou a teoretickou. Teoretická část se zabývá metodami odstraňování železa a manganu z podzemní vody formou rešerše. Část praktická se zabývá konkrétním provozem, kterým je Úpravna vody Janov, způsoby odželezování a odmanganování vody a vyhodnocením dat surové a upravené vody na této úpravně.

## Klíčová slova

Úpravna vody, úprava vody, odželezování, odmanganování, podzemní voda

## Abstract

This bachelor thesis deals with the issue of removing iron and manganese from groundwater during the treatment of drinking water. The work is divided into a practical and a theoretical part. The theoretical part deals with methods of removing iron and manganese from groundwater in the form of research. The practical part deals with a specific operation, which is the water treatment plant Janov, the ways to remove iron and manganese from water and data evaluation of raw and treated water at the treatment plant.

## Keywords

Water treatment plant, water treatment, iron removal, manganese removal, groundwater

# Obsah

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>2 ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU PŘI ÚPRAVĚ PODZEMNÍCH VOD ...</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Zdroje a jakost podzemní vody .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Jakost podzemních vod .....	11
2.1.2. Zdroje a formy železa v podzemních vodách.....	14
2.1.3. Zdroje a formy manganu v podzemních vodách.....	15
<b>2.2. Způsoby odstraňování železa a manganu z vody .....</b>	<b>16</b>
2.2.1. Způsoby odstraňování železa .....	16
2.2.1.1. Odželezování provzdušňováním .....	16
2.2.1.2. Odželezování alkalizací .....	17
2.2.1.3. Odželezování oxidací .....	18
2.2.1.3.1. Odželezování ozonem .....	18
2.2.1.3.2. Odželezování chlorem .....	18
2.2.1.3.3. Odželezování manganistanem draselným.....	18
2.2.1.4. Odželezování v horninovém prostředí (in situ).....	19
2.2.1.5. Odželezování iontovou výměnou .....	19
2.2.1.6. Odželezování biologickou cestou.....	20
2.2.1.7. Odželezování koagulací.....	20
2.2.2. Způsoby odstraňování manganu.....	20
2.2.2.1. Odmanganování alkalizací.....	20
2.2.2.2. Odmanganování oxidací .....	21
2.2.2.2.1. Odmanganování oxidem chloričitým .....	21
2.2.2.2.2. Odmanganování ozonem .....	21
2.2.2.3. Odmanganování koagulací .....	21
2.2.2.4. Odmanganování biologickou cestou.....	21
2.2.2.5. Odmanganování pískovou filtrací.....	22
2.2.2.6. Kontaktní odmanganování .....	22
2.2.2.7. Odmanganování provzdušňováním.....	23

<b>3. ÚPRAVNA VODY JANOV .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Vodní zdroj.....</b>	<b>25</b>
3.1.1. Charakteristika zdroje .....	25
3.1.2. Kvalita surové vody .....	25
3.1.3. Čerpání surové vody.....	25
<b>3.2. Technologie úpravy vody .....</b>	<b>26</b>
3.2.1. Provdzušňování vody - aerace .....	26
3.2.2. Mísíč - turbomixer .....	27
3.2.2.1. Vápenné hospodářství .....	28
3.2.2.2. Dávkování chlornanu sodného .....	31
3.2.3. Usazování .....	33
3.2.3.1. Dávkování manganistanu draselného.....	34
3.2.4. Filtrace.....	35
3.2.4.1. Otevřené rychlofiltry s celoplošným drenážním systémem .....	36
3.2.4.2. Praní filtrů .....	36
3.2.4.3. Prací voda a čerpadla prací vody .....	36
3.2.4.4. Nádrž a čerpací jímka odsazené prací vody .....	37
3.2.4.5. Čerpadlo odsazené vody z praní filtrů .....	37
3.2.4.6. Prací vzduch filtrů .....	37
3.2.5. Čerpání upravené vody .....	37
3.2.6. Kalové hospodářství .....	38
<b>3.3. Vyhodnocení dat.....</b>	<b>39</b>
3.3.1. Odběr vzorků.....	39
3.3.2. Vyhodnocená data .....	40
3.3.2.1. Železo.....	40
3.3.2.2. Mangan .....	42
3.3.2.3. pH.....	44
3.3.2.4. Zákal.....	46
3.3.2.6. Agresivní CO <sub>2</sub> .....	48
3.3.2.7. Volný CO <sub>2</sub> .....	49
3.3.2.8. Koncentrace manganu před a po nadávkování KMnO <sub>4</sub> a v upravené vodě.....	50

<b>4 ZÁVĚR</b> .....	<b>51</b>
<b>5 SEZNAM ZDROJŮ</b> .....	<b>53</b>
<b>6 SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>55</b>
<b>7 SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>55</b>



# 1 Úvod

Voda je přírodní zdroj, který je, na rozdíl od jiných přírodních zdrojů neživé přírody, obnovitelný ve všech svých složkách. Z hydrogeochemického hlediska je voda složitým heterogenním systémem sestávajícím jednak z pravého roztoku složeného z vody a rozpuštěných molekul, iontů a jejich komplexních sloučenin, jednak ze suspendovaných částic. Součástí přírodních vod jsou i rozpuštěné plyny ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $Rn$  aj.) a mikrobiální oživení.[11]

Podzemní voda je veškerá voda v kapalném skupenství pod zemským povrchem a zabývá se jí hydrogeologie. Dle zákona č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) jsou podzemními vodami vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních. Její zásoby se doplňují průsakem atmosférických a povrchových vod, kondenzací vodních par v půdě a kondenzací vodních par z magmatu.[11]

Podzemní voda a půdní voda, tedy voda obsažená v půdě při styku s atmosférou, ve všech skupenstvích se souborně nazývá vodou podpovrchovou. Prostá voda je podzemní voda s běžným obsahem rozpuštěných látek, obvykle se používá jako zdroj surové vody při úpravě na vodu pitnou. Přírodní voda, která se od prosté vody liší množstvím nebo druhem rozpuštěných látek nebo plynů, teplotou či jinými fyzikálními parametry se nazývá vodou minerální (podle zákona č. 164/2001 Sb., o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázních a lázeňských místech a o změně některých souvisejících zákonů (lázeňský zákon), ve znění pozdějších předpisů).[11]

Fyzikálně-chemické složení podzemních vod závisí zejména na složení hornin, s kterými přichází do styku. Obohacují se přitom o elektrolyty i neelektrolyty, koloidní látky, atd. Složení podzemních vod ovlivňuje celá řada procesů, kterými jsou např. přímé rozpouštění některých sloučenin ve vodě, výměna iontů, biochemické procesy, atd. Kromě těchto procesů může kvalitu podzemních vod ovlivnit také infiltrace atmosférických a povrchových vod. Tyto vody často obsahují cizorodé látky, jakými jsou například pesticidy či uhlovodíky.

V porovnání s povrchovými vodami mají podzemní vody většinou vyšší obsah rozpuštěných látek, vyšší obsah oxidu uhličitého i vyšší  $\text{KNK}_{4,5}$ . Teplota podzemních vod bývá většinou stálá a ke změně fyzikálně-chemického složení dochází jen zřídka. Podzemní vody mají obvykle nízký, popř. žádný, obsah rozpuštěného kyslíku a to samé platí i o obsahu organických látek. Ve většině případů obsahují podzemní vody menší množství mikroorganismů, což vede k tomu, že v určitých případech mohou být využívány k pitným účelům i bez dezinfekce. Běžný ovšem bývá zvýšený obsah železa a manganu.

Voda podzemní se výstupem z horninového prostředí na zemský povrch stává vodou povrchovou. Povrchové vody se podle pohybu dělí na tekoucí a stojaté. Kvalita vody v tocích kolísá po délce i šířce toku a u nádrží se mění v závislosti na hloubce. Ve srovnání s podzemními vodami obsahují malé množství oxidu uhličitého. Nízký je zpravidla také obsah hydrogenuhličitanů a fosforečnanů. Hodnota pH se pohybuje od 6,0 do 8,5, ve výjimečných případech může klesnout i pod 4,0, např. u vod z rašelinišť. V porovnání s podzemními vodami obsahují povrchové vody železo a mangan jen výjimečně. U povrchových vod je běžný vysoký obsah organických látek a organismů.

Vodními zdroji pro zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství jsou většinou podzemní a povrchové přírodní vody, pro tyto účely je nutné zajistit dostatečné množství vody s určitými vlastnostmi. Pro volbu technologie úpravy je rozhodujícím faktorem jakost vody. Požadovaná jakost vody je dána vyhláškou č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Odstraňování železa a manganu je součástí úpravy zejména podzemních vod. Sloučeniny železa a manganu nejsou zdraví škodlivé, ale mohou způsobovat hygienické a technologické závady.[13]

Odstraňování železa a manganu by mělo být, stejně jako všechny stupně úpravy vody, účinné a co nejméně nákladné. Cílem této práce je popsat používané způsoby odstraňování železa a manganu při úpravě podzemní vody na pitnou a zhodnotit výhody a nevýhody jednotlivých metod. Práce je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá obecně vodními zdroji a jakostí vody a používanými způsoby odželezování a odmanganování vody. Druhá část se týká konkrétního provozu, Úpravny vody Janov. v této části budou vyhodnoceny koncentrace železa a manganu surové a upravené vody.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 2 Odstraňování železa a manganu při úpravě podzemních vod

### 2.1. Zdroje a jakost podzemní vody

Podzemními vodami se zabývá obor zvaný hydrogeologie. Jedná se o vědní obor, který se zabývá původem, výskytem, pohybem a fyzikálními a chemickými vlastnostmi podzemních vod ve vztahu ke složení zemské kůry. Hlavním cílem hydrogeologie je vyhledávání zdrojů podzemní vody a hodnocení její jakosti a využitelného množství.[13]

#### 2.1.1. Jakost podzemních vod

Jedním ze základních faktorů ovlivňujících jakost podzemních vod je stupeň využitelnosti zdroje. Kvalita podzemní vody se může v průběhu využívání zdroje měnit, a to zejména v důsledku oxidace železa a manganu, rozpuštění či vylučování uhličitánu vápenatého nebo jiných dějů. Zejména u trubních a jehlových studní může také docházet ke strhávání nečistot zachycených v horninovém prostředí v blízkosti vrtu do čerpané vody.[7]

Zvýšený obsah železa negativně ovlivňuje její organoleptické vlastnosti, tj. barvu, chuť a zákal. Vliv na chuť se projevuje při koncentracích 0,5-1,5 mg/l. i malé koncentrace ale mohou být příčinou nadměrného rozvoje železitých bakterií, které zanášejí potrubí a zhoršují pach vody. [7]

I mangan, podobně jako železo, zhoršuje ve vyšších koncentracích organoleptické vlastnosti vody. Mangan činí ve vyšších koncentracích vodu nepoužitelnou pro průmyslové účely (např. textilní či potravinářský průmysl) a vyvolává technické závady při transportu vody.[7]

Podle ustanovení §13 odst. 1 zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon o vodovodech a kanalizacích“) voda odebraná z povrchových vodních zdrojů nebo z podzemních vodních zdrojů pro účely úpravy na vodu pitnou (surová voda) musí

splňovat v místě odběru před její vlastní úpravou požadavky na její jakost. V závislosti na jakosti vody se potom volí vhodné metody úpravy vody.[12]

Ukazatele jakosti surové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou, způsob a četnost měření hodnot jednotlivých ukazatelů, definice jednotlivých standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou, sledované parametry, referenční metody, četnost odběru vzorků a analýz, možnosti odchylek od požadavků na jakost a způsob předávání výsledků pak stanovuje prováděcí právní předpis, kterým je vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění vyhlášky č. 146/2004 Sb., vyhlášky č. 515/2006 Sb. a vyhlášky č. 120/2011 Sb. v aktuálním znění (dále jen „vyhláška“). Vyhláška stanoví, že surová voda se odebírá především z vodních zdrojů, které se v přirozeném stavu svým fyzikálním, chemickým, mikrobiologickým, popř. biologickým složením a vlastnostmi co nejvíce blíží požadavkům na pitnou vodu. Při rozhodování mezi několika možnými vodními zdroji se vychází z optimálních investičních a provozních nákladů ve vztahu ke složitosti technologie úpravy a náročnosti na dopravu vody. Při výběru vodního zdroje se hodnotí i využitelná vydatnost vodního zdroje, možnost ochrany jakosti vody ve vodním zdroji, potenciální kontaminace vody a další místní podmínky.[9]

Surová voda se rozděluje podle limitních hodnot ukazatelů kvality do tří kategorií: A1, A2 a A3 odpovídajících standardním metodám úpravy a pro zařazení do kategorie se vzorky surové vody odebírají v místě před stavbou pro úpravu vody. Pro jednotlivé kategorie jsou předepsány typy úprav vody, které by měly být využity pro daný zdroj. Zařazení surové vody do kategorie provádí provozovatel podle vyhodnocení ukazatelů jakosti surové vody, které jsou uvedeny v příloze č. 13 vyhlášky. Pro zařazení surové povrchové vody do uvedených kategorií se vychází z minimálně 12 vzorků odebraných v průběhu dvou let, zatímco optimální počet vzorků je 24-36. Kategorie surové vody je každoročně upřesňována na základě výsledků analýz surové vody podle plánu kontrol jakosti vod. [9]

Požadavky na jakost podzemních surových vod stanovuje vyhláška ve zmíněné příloze č. 13. Zde uvedené hodnoty ukazatelů limitují zařazení do příslušné kategorie jakosti A1, A2 nebo A3. Pro každou kategorii uvádí vyhláška doporučené typy úprav takto:

o A1: Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plyných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.

o A2: Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení korozivních vlastností je vhodná stabilizace vody.

o A3: Úprava surové vody vyžaduje dvou či vícestupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí popř. jejich kombinací. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozonu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů a flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.[9]

Mezní hodnoty ukazatelů pro železo a mangan pro povrchovou vodu (mezní hodnotou je hodnota organoleptického ukazatele jakosti pitné vody, jejích přirozených součástí nebo provozních parametrů, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko[10]):

Tab. 2.1 Mezní hodnoty Fe a Mn jako ukazatelů jakosti surové povrchové vody pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou[9]

Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
		mezní	mezní	mezní
Mangan	mg/l	0,05	0,5	1,5
Železo	mg/l	0,2	1	2

Mezní hodnoty ukazatelů pro železo a mangan pro podzemní vodu jsou následující:

Tab. 2.2 Mezní hodnoty Fe a Mn jako ukazatelů jakosti surové podzemní vody pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou[9]

Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
		mezní	mezní	mezní
Mangan	mg/l	0,05	1	2
Železo	mg/l	0,2	5	20

Vyhláška 252/2004 Sb. v aktuálním znění taktéž stanovuje mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele vody. Touto vyhláškou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontrol pitné vody. v příloze č. 1 tabulce B této vyhlášky jsou stanoveny fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele, přičemž pro železo a mangan platí následující hodnoty:

Tab. 2.3 Mezní hodnoty železa a manganu v upravené pitné vodě podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. [10]

Ukazatel	Symbol	Jednotka	Limit	Typ limitu
Mangan	Mn	mg/l	0,05	MH
Železo	Fe	mg/l	0,2	MH

MH=mezní hodnota

V případech, kdy jsou vyšší hodnoty manganu v surové vodě způsobeny geologickým prostředím, považují se hodnoty do 0,2 mg/l za vyhovující požadavkům. To platí v případě, že nedochází k nežádoucímu ovlivnění organoleptických vlastností vody. Stejně podmínky platí i v případě železa pouze s tím rozdílem, že jsou povoleny hodnoty do 0,5 mg/l při splnění stejných předpokladů jako u manganu.

## 2.1.2. Zdroje a formy železa v podzemních vodách

Železo je obvykle ve vodě obsaženo společně s manganem. Ve vodách se vyskytují v různém množství, od desetin mg/l až po desítky mg/l. Vyskytují se převážně ve vodách s kyselým pH za přítomnosti oxidu uhličitého. Způsob odstraňování je ovlivněn převážně dalším složením vody, např. výskyt organických látek v upravované vodě komplikuje proces odstranění železa a manganu. [6]

Nejrozšířenější železnou rudou je pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), krevet ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetovec ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) a siderit ( $\text{FeCO}_3$ ). V malém množství je obsaženo také v hlinitokřemičitanech. Antropogenním zdrojem železa v přírodních vodách mohou být např. průmyslové odpadní vody (např. z válcoven či drátoven). Formy výskytu železa ve vodách závisí na pH, oxidačně-redukčním potenciálu a komplexotvorných látkách. Ve vodách se železo vyskytuje v oxidačním stupni +II nebo +III. [5]

V oxidačním stupni +II se železo vyskytuje v anoxickém redukčním prostředí podzemních vod. V oxidačním stupni +III se železo vyskytuje ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík, v těchto vodách má železo nestabilnější formu výskytu. Mezi hlavní rozpuštěné formy železa ve vodách patří  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$ ,  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$ ,  $[\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{aq})]^0$ ,  $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^-$ ,  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2]^{4+}$ . [5]

### 2.1.3. Zdroje a formy manganu v podzemních vodách

Mangan obvykle doprovází železné rudy. V přírodě se nejčastěji vyskytuje burel či pyroluzit ( $\text{MnO}_2$ ), braunit ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), hausmanit ( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ), manganit ( $[\text{MnO}(\text{OH})]$ ) a rodochrozit ( $\text{MnCO}_3$ ). Mangan přechází do vody z půd a sedimentů, antropogenní zdroje pochází nejčastěji z průmyslových vod (např. ze zpracování rud). Ve vodě se mangan vyskytuje v rozpuštěné i nerozpuštěné formě, nejčastěji v oxidačních stupních +II, +III a +IV. Nestabilnější formou výskytu manganu ve vodě je, v redukčních podmínkách za nepřítomnosti vzdušného kyslíku a oxidačních činidel,  $\text{Mn}^{2+}$ . V kyselém a neutrálním prostředí převažuje jednoduchý hydratovaný kationt  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ . V závislosti na pH a složení vody se mohou vyskytovat také komplexy  $[\text{MnOH}]^+$ ,  $[\text{Mn}(\text{OH})_3]^-$ ,  $[\text{MnHCO}_3]^+$  a  $[\text{MnSO}_4(\text{aq})]^0$  a při vyšších koncentracích chloridů i různé chlorokomplexy, např.  $[\text{MnCl}]^+$ ,  $[\text{MnCl}_2]^0$  nebo  $[\text{MnCl}_3]^-$ . Pokud se ve vodě vyskytuje rozpuštěný kyslík, je mangan v oxidačním stupni +II nestabilní a dochází k oxidaci. [5]

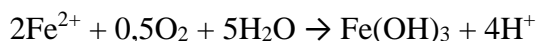
## 2.2. Způsoby odstraňování železa a manganu z vody

Princip odželezování a odmanganování spočívá v tom, že se železo a mangan převádí z rozpuštěné iontové formy na formu nerozpustnou. Tyto sraženiny jsou poté separovány z vody vhodnými procesy (např. sedimentace, filtrace, flotace). Způsob odstraňování železa a manganu závisí na tom, v jaké formě se ve vodě vyskytují. Železo může být ve vodě obsaženo jako dvojmocné (v iontové formě), nebo trojmocné (hydroxid železitý). Mangan se ve vodě vyskytuje ve většině případů společně se železem. Mangan je zastoupen převážně ve formě dvojmocné, pouze v ojedinělých případech se vyskytuje v povrchových vodách jako čtyřmocný nerozpustný oxid manganičitý. [7]

### 2.2.1. Způsoby odstraňování železa

#### 2.2.1.1. Odželezování provzdušňováním

Tento způsob odstraňování železa se používá zejména u podzemních vod s obsahem CO<sub>2</sub> a s menším množstvím železa bez manganu. Provzdušňování způsobuje zmenšení obsahu CO<sub>2</sub> a tím zvýšení pH. Ionty Fe<sup>2+</sup> se oxidují kyslíkem v přiváděném vzduchu podle reakce:



Pro aeraci se používají stejná zařízení jako u mechanického odkyselování vody, kterými jsou např. kaskáda, vodní skok, fontána, tryskový provzdušňovač, vertikální provzdušňovací věže, horizontální provzdušňovací zařízení INKA a další.

Kaskáda je gravitační provzdušňovací zařízení, které napodobuje provzdušnění vody v přírodních podmínkách. Kaskáda se dá přirovnat např. k přelivu na řece. Kaskáda je nejjednodušším zařízením pro provzdušňování a nemá velké nároky na technologické zařízení. Obvykle mívá kaskáda 5 až 6 stupňů, kde dochází k provzdušnění vody, odvětrání volného CO<sub>2</sub> a voda se nasýtí kyslíkem. Tím dochází k převedení dvojmocné formy iontů manganu a železa na nerozpustnou trojmocnou formu.[3]



Horizontální provzdušňovací věže jsou zařízení, jejichž principem je vhánění vzduchu děrovaným roštem do tenké vrstvy protékající upravované vody. Voda působením intenzivního proudu vzduchu bublá, čímž je z ní vytěsňován volný oxid uhličitý a další plyny. Tyto vytěsňené plyny odcházejí přirozeným odtahem nebo pomocí odtahových ventilátorů. Pokud má upravovaná voda velký obsah železa a manganu, je však toto zařízení nevhodné, protože dochází k zarůstání otvorů roštu oxidy železa a manganu. Množství železa a manganu by tedy nemělo přesáhnout 3-5 mg/l. Příkladem horizontálního provzdušňování je systém INKA.[8]

Vertikální provzdušňovací věže jsou nejrozšířenějším provzdušňovacím zařízením vertikálního typu. Mají čtvercový, kruhový či obdélníkový půdorys, plášť je vyroben z polypropylenu či nerezové oceli. Při vertikálním provzdušňování je voda čerpána do horní části provzdušňovací kolony a gravitačně protéká dolů, kde se nachází odtok. Proti směru průtoku vody je vháněn tlakový vzduch, který je v horní části odváděn potrubním rozvodem. Energeticky jsou vertikální věže méně náročné než horizontální, ale nejsou vhodné pro vody s obsahem železa větším než 1 mg/l. Jsou také náročnější na prostor, jsou proto potřeba prostory s vyššími stropy.[4]

K provzdušňování se mohou využívat také povrchové aerátory. Na oxidaci 1mg  $\text{Fe}^{2+}$  je teoretická spotřeba  $\text{O}_2$  0,143mg. Rychlost oxidace se zvyšuje katalytickým účinkem vytvořené sraženiny  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , některými anionty ve vodě (např. křemičitany, fosforečnany) a ionty kovů (např. Cu). V mezích pH 7 až 7,5 je reakční doba, která je potřebná k odželezení vody, řádově v minutách. [7]

### 2.2.1.2. Odželezování alkalizací

Oxidace iontů  $\text{Fe}^{2+}$  závisí na hodnotě pH, a proto se musí voda ve většině případů alkalizovat pro dosažení potřebného efektu. Tato závislost je však významnější pro oxidaci iontů  $\text{Mn}^{2+}$ . Alkalizace se provádějí nejčastěji vápnem, popř. uhličitanem sodným a výjimečně i hydroxidem sodným, tyto látky nazýváme alkálie. Železo lze ve vodě těmito alkáliemi srážet a vznikne sraženina hydroxidu železnatého. Tato sraženina při dostatku kyslíku a vyšším pH oxiduje na hydroxid železitý. Rychlost oxidace roste s hodnotou pH. [7]

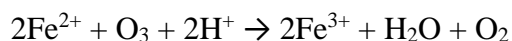
### 2.2.1.3. Odželezování oxidací

Tento způsob odstraňování železa je běžný zejména u menších úpraven vody. Odželezování probíhá použitím oxidačních činidel, kterými mohou být ozon, chlor, manganistan draselný, popř. peroxid vodíku. [7]

#### 2.2.1.3.1. Odželezování ozonem

Odželezování ozonem se používá zejména u vod, ve kterých je železo vázáno v organických komplexech, např. s huminovými látkami. Tyto látky působí jako ochranné koloidy a brání vylučování vloček  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Na oxidaci 1mg  $\text{Fe}^{2+}$  je teoretická spotřeba  $\text{O}_3$  0,43mg. Rychlost oxidace závisí na době kontaktu odželezované vody s ozonem. Počáteční koncentrace železa ve vodě a teplota nemají na rychlost oxidace žádný vliv. [2]

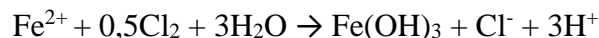
Oxidace ozonem probíhá podle reakce:



#### 2.2.1.3.2. Odželezování chlorem

Na oxidaci 1mg  $\text{Fe}^{2+}$  je teoretická spotřeba  $\text{Cl}_2$  0,65mg. Oxidace probíhá v absorbérech nebo kontaktních zařízeních zajišťujících dokonalé směšování vody s oxidačním činidlem a zajišťují také potřebnou reakční dobu. [2]

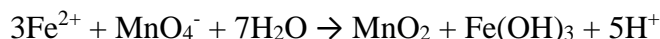
Oxidace chlorem probíhá podle reakce:



#### 2.2.1.3.3. Odželezování manganistanem draselným

Oxidace manganistanem draselným probíhá i v neutrální oblasti pH velmi rychle. Pokud voda obsahuje i organické látky, spotřebuje se část manganistanu i na jejich zoxidování. Na oxidaci 1mg  $\text{Fe}^{2+}$  je teoretická spotřeba  $\text{KMnO}_4$  0,567mg. [2]

Oxidace manganistanem draselným probíhá podle reakce:



#### 2.2.1.4. Odželezování v horninovém prostředí (in situ)

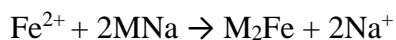
Tento způsob odželezování je známý také pod názvem Vyderox a do provozu byl poprvé uveden v roce 1969. Princip spočívá v provzdušnění vyčerpané podzemní vody, která se poté vrací zpět do horninového prostředí. Probíhají při tom procesy chemické, fyzikálně-chemické i biologické.

Používá se centrální jímací vrt, který je obklopen prstencem pěti až osmi zasakovacích vrtů. První fáze trvá 20 až 30 hodin a je během ní vháněna do zasakovacích vrtů provzdušněná a bublin zbavená voda. Podzemní voda je z jednoho vrtu přes provzdušňovací stanici a odlučovač bublin čerpána do sousední studny v prstenci, čímž se mezi dvojicemi vrtů v prstenci vytvoří depresní kužel provzdušněné vody. Z centrálního vrtu se odebírá odželezená voda. Tento způsob je vhodný zejména pro vody, jejichž obsah Fe(II) nepřesahuje hodnotu 0,5 mg/l. [2]

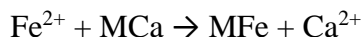
#### 2.2.1.5. Odželezování iontovou výměnou

Tento způsob odželezování se používá pro vody, jejichž obsah Fe(II) není větší než 5 mg/l. V tomto případě jsou použity měniče kationtů, které pracují na sodíkovém nebo vápnickém cyklu. K regeneraci měniče se používá 2%ní roztok chloridu sodného nebo 5%ní roztok chloridu vápenatého.

Sodíkový cyklus:



Vápnický cyklus:



Aby mohl být použit tento způsob, musí mít odželezovaná voda nízký obsah vápníku a hořčíku. [7]

### 2.2.1.6. Odželezování biologickou cestou

Tento způsob odželezování je založen na tom, že metabolismus některých autotrofních bakterií je založen na oxidaci Fe(II) na Fe(III). Ke známým rodům těchto bakterií patří rod *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Siderocapsa*, *Ferrobacillus*, *Galionella*, *Thiobacillus* a další. V příznivých podmínkách probíhá oxidace velmi rychle. K těmto podmínkám patří: obsah rozpuštěného kyslíku 0,2 – 0,5 mg/l, pH 6,3 a hodnota redox potenciálu 100 mV. Způsob předpokládá, že surová voda obsahuje amoniak.

K hlavním výhodám tohoto způsobu patří:

- není nutné přidávat reakční činidla
- není potřeba oxidační věž
- vznikající kal má dobré sedimentační vlastnosti
- pracuje se s vysokou filtrační rychlostí, praní filtru je ekonomické [2]

### 2.2.1.7. Odželezování koagulací

Tento způsob se používá u vod, kde je železo vázáno v podobě komplexů na huminové látky. Používají se buď anorganické koagulanty (na bázi Al a Fe) nebo polymerní flokulanty. Dávky flokulantů se odvozují podle výsledků laboratorních koagulačních procesů. [2]

## 2.2.2. Způsoby odstraňování manganu

### 2.2.2.1. Odmanganování alkalizací

Mnohem více než oxidace iontů  $\text{Fe}^{2+}$  závisí na hodnotě pH oxidace iontů  $\text{Mn}^{2+}$  a proto se musí voda alkalizovat pro dosažení potřebného efektu. Nejčastěji se alkalizace provádí vápnem, popř. uhličitánem sodným nebo hydroxidem sodným.[7] Alkalizace je pro odstraňování manganu využívána velmi často.

## 2.2.2.2. Odmanganování oxidací

Odmanganování oxidací, stejně jako odželezování, je běžné zejména v malých úpravnách a u povrchových vod s obsahem  $Mn^{2+}$ . Jako oxidační činidlo se nejčastěji používá ozon a manganistan draselný, zřídka oxid chloričitý. [7]

### 2.2.2.2.1. Odmanganování oxidem chloričitým

Tento způsob se používá zcela výjimečně, protože oxidace probíhá pomalu a vyšší rychlosti lze dosáhnout jen vysokým přebytkem činidla. [2]

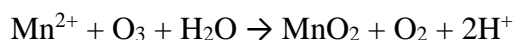
Oxidace probíhá podle reakce:



### 2.2.2.2.2. Odmanganování ozonem

Při tomto způsobu je potřeba přesné dávkování. To musí být takové, aby došlo k oxidaci  $Mn^{2+}$  jen na  $MnO_2$ . Při přebytku ozonu vzniká  $MnO_4^-$  a voda se zbarvuje do fialova. Na oxidaci 1mg  $Mn^{2+}$  je potřeba 0,9g ozonu. [2]

Oxidace ozonem probíhá podle reakce:



## 2.2.2.3. Odmanganování koagulací

Koagulaci je nutné použít v případech, kdy voda obsahuje organické látky s komplexně vázaným manganem. [2]

## 2.2.2.4. Odmanganování biologickou cestou

Mangan lze stejně jako železo oxidovat pomocí různých bakterií. Bakterie mohou způsobovat oxidaci přímo (v důsledku zvýšení pH) nebo nepřímo (adsorpce manganu a oxidace pomocí extracelulárních enzymů). Pro rozvoj takových bakterií je potřeba prostředí s hodnotou

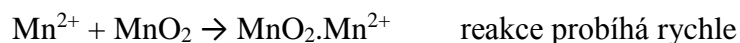
oxidačně-redukčního potenciálu nad 400 mV. Pokud tato hodnota není dodržena, může docházet ke zpětné přeměně z  $\text{MnO}_2$  na  $\text{Mn}^{2+}$ .

Nevýhodou je zejména dlouhá doba zpracování, neboť růst bakterií oxidujících mangan je pomalejší než u bakterií oxidujících železo. [2]

### 2.2.2.5. Odmanganování pískovou filtrací

Na filtrační náplni se vytváří slabá vrstva  $\text{MnO}_2$ , která katalyzuje oxidaci iontů  $\text{Mn}^{2+}$ , které jsou přítomny ve filtrované vodě.

Oxidace probíhá podle reakce:



Filtrační náplň, tedy manganový písek s vrstvou  $\text{MnO}_2$ , může sloužit jako odmanganovací prostředek. K jeho regeneraci se používá roztok manganistanu draselného. [2]

### 2.2.2.6. Kontaktní odmanganování

Kontaktní odmanganování probíhá na preparovaných píscích působením vyšších oxidů manganu. Probíhá sorpce iontů, které se poté oxidují. Písky sorbují nejen ionty  $\text{Mn}^{2+}$ , ale také ionty  $\text{Fe}^{2+}$ , ionty těžkých kovů, radioaktivní látky a amonné ionty.

Pro kontaktní odmanganování a odželezování je možné použití dvouvrstvých filtrů:

- Horní hrubozrnná vrstva – oxidace + zachycení Fe
- Spodní preparovaná vrstva – katalytická oxidace + zachycení Mn

Děle je možné využití kontaktních hmot, kterými jsou např. Birm (Fe) a Greensand (Mn). Speciální filtrační materiál Greensand je vyroben z glaukonitického zeolitu a aktivního oxidu manganičitého. Přítomné železo a mangan se oxiduje aktivním kyslíkem oxidu manganičitého na nerozpustné vyšší oxidy a hydroxidy. Spotřebovaný kyslík je nutno pravidelně obnovovat

regenerací roztokem manganistanu draselného. Birm na rozdíl od Greensandu účinně odstraňuje mangan až při pH vyšším než 8,5. Železo odstraňuje katalytickou oxidací velice účinně i při nízkých hodnotách pH. Birm není nutno regenerovat manganistanem a používá se proto hlavně na úpravu vody znečištěné železem.[1]

#### **2.2.2.7. Odmanganování provzdušňováním**

Pokud se mangan ve vodě vyskytuje převážně ve formě iontů  $Mn^{2+}$ , oxiduje se pomalu vzdušným kyslíkem. Oxidace vzdušným kyslíkem může dosáhnout vyšších rychlostí pouze za předpokladu, že je pH vody vyšší než 9,5. Rychlost závisí také na teplotě, např. při teplotě 22°C probíhá oxidace cca. 5x rychleji než při teplotě 11°C. [2]

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 3. Úpravna vody Janov

Úpravna vody Janov se nachází v Plzeňském kraji, okres Rokycany. Majitelem ÚV je Vodohospodářské sdružení Rokycanska a provozovatelem je Vodohospodářská společnost Sokolov, a.s., provozní středisko Rokycany.

ÚV Janov je součástí skupinového vodovodu Rokycany, který zahrnuje provoz vodovodů Rokycany, ÚV Strašice a zmiňovanou ÚV Janov. Přes vodojem Janov zásobuje ÚV Janov spotřebiště Janov, Mirošov, Hrádek, Kamenný Újezd a část vodovodu Rokycany.



Obr. 3.1. Budova Úpravny vody Janov



## 3.1. Vodní zdroj

### 3.1.1. Charakteristika zdroje

Vodním zdrojem pro ÚV Janov je podzemní voda, která je zachycována studnou o průměru 5 m a hloubce 5,80 m. Okolo studny je vytvořen filtr ze štěrkového obsypu tloušťky 1m a tento obsyp je překryt betonovou deskou tl. 20cm. Surová voda odtéká ze studny do úpravny průchodným kanálem obdélníkového profilu s kynetou ve dně. Tato kyneta je dimenzována na maximální průtok 55 l/s a spád jejího dna je 3‰. Konstrukci kanálu tvoří železobetonový rám, který je z venku izolovaný proti agresivitě spodní vody. V délce 60m od studny směrem k úpravně je navíc ještě těsnící jílový obal, aby se zabránilo pronikání vody z kanálu do prameniště. Dno kynety je tvořeno půlkruhovým žlabem obloženým tvárnici z taveného čediče. Podél kynety je po celé délce kanálu pochozí lavička. Celková délka kanálu činí 176m.

### 3.1.2. Kvalita surové vody

Voda ve studni se vyznačuje stabilní kvalitou. Voda se vyznačuje zejména přijatelnými hodnotami obsahu žádoucích prvků vápníku a hořčíku. Průměrný index upravitelnosti je 1,55. Problematickým parametrem je zejména obsah manganu (roční průměr 1,12mg/l) a obsah železa (roční průměr 5,73mg/l). S ohledem na obsah železa a manganu se voda řadí do kategorie horší než A3.

### 3.1.3. Čerpání surové vody

Čerpací nádrž surové vody se nachází v suterénu úpravny. Je tvořena spojitými nádobami se studnou. Surová voda je z nádrže čerpána dvojicí horizontálních jednostupňových odstředivých čerpadel. Čerpadla jsou osazena v sestavě 1+1(100% rezerva) a v chodu se pravidelně střídají.

## 3.2. Technologie úpravy vody

### 3.2.1. Provzdušňování vody - aerace

Ve druhém podlaží budovy je umístěn horizontální provzdušňovač s nerezovým roštem, který má výkon 25 l/s a ventilátor  $Q = 1300-1900$  l/s s elektromotorem pro řízení frekvenčním měničem. Výkon ventilátoru se reguluje změnou otáček elektromotoru frekvenčním měničem. Potřebný výkon je nastaven na základě hodnot průtoku surové vody. Ventilátor nasává vzduch z chodby druhého podlaží budovy. Vzduch z prostoru provzdušňovače je odváděn plastovým potrubím PVC DN 500 do místnosti provzdušnění.

Vzhledem k vyššímu obsahu železa v surové vodě je nutné provádět čištění aeračních nerezových roštů provzdušňovače. V pravidelných intervalech probíhá jak mechanické čištění, tak rozpouštění nánosů ponořením roštů do nízko koncentrované kyseliny dusičné v nerezové vaně k tomu určené.

Provzdušněná voda odtéká z provzdušňovače nerezovým potrubím DN 200 do mísiče. Z tohoto potrubí je provedena odbočka DN 15 se vzorkovacím kohoutem pro odběr vzorků vody.



Obr. 3.2. Horizontální provzdušňovač

### 3.2.2. Mísíč - turbomixer

Turbomixer je prostor, kde dochází k rychlému míchání vody. Míchání je pouze hydraulické.

Mísicí nádrž je rozdělena na čtyři části: nátokovou komoru, žlab rozdělený na dvě části vložením přepadové norné stěny a odtokovou komoru. Přítok je umístěn ve dně nátokové komory, kde je také umístěno dávkování vápenného mléka a chlornanu sodného, z ní přes horní přeliv přepadá voda do žlabu a ze žlabu přepadává voda opět horním přelivem do odtokové komory. Ve střední části mísíče je prováděno odkalení nerezovým potrubím.

### 3.2.2.1. Vápenné hospodářství

Vápenný hydrát je uskladněn v polyesterovém válcovém síle s kónickým dnem o objemu 16 m<sup>3</sup>. Toto silo je vybaveno vyklízecím zařízením, odprašovacím filtrem s vibrátorem, ventilem pro přetlak a podtlak, čidly pro indikaci minimální a maximální hladiny, plnicím potrubím DN 100, obslužným žebříkem a obslužnou plošinou.

Vápenný hydrát je ze zásobního síla dopravován do denního zásobníku. Tato doprava je realizována soustavou šnekových dopravníků, které jsou vybaveny čidly pro sledování případného ucpání dopravníku. Denní zásobník je vybaven sondami pro ovládání šnekového dopravníku a vibrátorem.

Z denního zásobníku je vápenný hydrát odebírán dávkovacím šnekovým dopravníkem do rozmíchávací nádrže vápenného mléka. Výkon tohoto šnekového dopravníku je řízen automaticky dle nastavené koncentrace vápenného mléka. Rozmíchávací nádrž je plastová válcová nádoba o obsahu 780 l. Nádrž je vybavena elektromíchadlem, kontinuálním měřením hladiny, hrdlem pro napojení ředící vody (DN 32), hrdlem pro napojení skrápěcí vody (DN 15), bezpečnostním přelivem (DN 50), odkalovacím hrdlem (DN 50) a odběrným hrdlem vápenného hydrátu (DN 50).

Připravené vápenné mléko v požadované koncentraci je z nádrže odebíráno hadicovým čerpadlem o výkonu  $Q=150-180$  l/h. Výkon čerpadla je automaticky regulován a velikost dávky je nastavena v řídicím systému úpravy. Podle informací o hodnotě pH provzdušněné surové vody v usazovací nádrži je signalizováno překročení nastavených hodnot pH. Dávkovací čerpadlo je osazeno v sestavě 1+0, tzn. bez zapojené rezervy.

Proplach nádrže a souvisejícího příslušenství je prováděn ručně, dle harmonogramu předepsaného výrobcem.

Výtlač vápenného mléka je zaveden do nátokové komory mísiče.



Obr. 3.3. Silo pro uskladnění vápenného hydrátu



Obr. 3.4. Sestava pro dávkování vápenného hydrátu

### 3.2.2.2. Dávkování chlornanu sodného

Pro oxidaci manganu a železa v surové vodě a k hygienickému zabezpečení upravené vody se používá koncentrovaný 14% chlornan sodný. Soubor zařízení pro jeho dávkování se nachází v místnosti chlorovny. Dávkovací soubor se skládá ze zásobní nádrže o objemu 1000 l, ze které je chlornan sodný pomocí sudového čerpadla přečerpáván do dávkovací nádrže, která má objem 140 l a je vybavená ručním míchadlem. Čerpadla jsou osazena v sestavě 1+0 u předchlorace (oxidace Fe a Mn) a 1+0 u dochlorace (hygienické zabezpečení vody). Výkony čerpadel jsou řízeny podle průtoku surové vody a velikost dávky je nastavena v řídicím systému úpravny pro každé čerpadlo zvlášť.

Obě zásobní nádrže jsou osazeny v záchytné vaně, která je tvořena nepropustně upraveným prostorem místnosti chlorovny.

Výtlačné potrubí předchlorace je stejně jako potrubí přivádějící vápenné mléko zavedeno do nátokové komory mísiče.





Obr. 3.5. Zásobní nádrž chlornanu sodného





Obr. 3.6. Dávkování chlornanu sodného

### 3.2.3. Usazování

Usazování probíhá v kruhové usazovací nádrži typu DORR. Nádrž má průměr 7,00 m, hloubku 4,70 m a usazovaná plocha činí 38,40 m<sup>2</sup>. Nadávkovaná voda z mísiče natéká do středu nádrže spodem a vytéká radiálně přes otvory ve dvou otáčejících se ramenech k obvodu nádrže. Voda vytéká z otvorů ve směru otáčení hodinových ručiček. Na ramenech se nachází škrabáky s lopatkami pro stírání kalu. V nádrži dochází k usazení železitých a vápenatých suspenzí, které

se poté odtahují ze dna. Odsazená voda přepadá do sběrného žlabu, odkud natéká potrubím gravitačně na filtraci. Do odtokového žlabu je dávkován manganistan draselný.

V nádrži je osazeno měření pH. Dále je zde osazeno ponorné kalové čerpadlo, které je osazeno na plováku. Toto čerpadlo slouží k odčerpání odsazené vody z nádrže v případě čištění nádrže.



*Obr. 3.7. Usazovací nádrž*

### 3.2.3.1. Dávkování manganistanu draselného

Zařízení pro dávkování manganistanu draselného se nachází v místnosti dávkování vápna. Toto zařízení se skládá ze dvou rozpouštěcích nádrží se záchytnou vanou, které jsou osazeny elektromíchadly, hrdly pro napojení sacího potrubí, hrdly pro odkalení nádrže a sestavou dvou dávkovacích čerpadel s příslušenstvím.

Dávkovací čerpadla jsou osazena v sestavě 1+1 (100% rezerva) a v chodu se pravidelně střídají. Výkon čerpadel je řízen podle průtoku surové vody a velikost dávky je nastavena v řídicím systému úpravny.

Chod elektromíchadel je ovládán ručně z deblokační skříňky v blízkosti dávkovacího souboru.

Výtlak dávkovacích čerpadel je zaústěn do odtokového žlabu usazovací nádrže.



Obr. 3.8. Sestava pro dávkování manganistanu draselného

### 3.2.4. Filtrace

Technologický celek filtrace tvoří otevřené rychlofiltry, regenerace filtrů, čerpadla prací vody, nádrž odsazené prací vody a čerpací jímka odsazené prací vody, čerpadlo odsazené prací vody z praní filtrů a rotační dmyhadla.

### 3.2.4.1. Otevřené rychlofiltry s celoplošným drenážním systémem

Rychlofiltry jsou konstrukčně řešeny jako otevřené, protékané shora. Odsazená voda z usazovací nádrže přitéká na dvojici rychlofiltrů přívodním potrubím DN 200. Do nátokového potrubí je také zaústěn obtok usazovací nádrže. Přívod vody na filtry může být uzavřen pomocí klapky, a to zejména v případě praní filtru nebo při jeho odstavení. Rychlofiltry jsou vybaveny celoplošným drenážním systémem Leopold.

Filtračním materiálem rychlofiltrů jsou separační vrstvy šterku o tloušťce 0,3m a náplň Filtralite Mono Multi o tloušťce max. 1,25m. Filtrační plocha je  $2 \times (5,28 \times 2,42)$ , tj.  $25,6 \text{ m}^2$  a projektovaná filtrační rychlost pro  $Q=24,84 \text{ l/s}$  a  $25 \text{ m}^2$  činí  $3,58 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hod}$ .

V provozu mohou být oba filtry současně, avšak pro průměrný výkon úpravný do 15 l/s postačuje jeden filtr.

### 3.2.4.2. Praní filtrů

Při zanesení filtrů jemnými suspenzemi, které nebyly odstraněny v turbomísíči, musí být provedena regenerace filtrů, tj. jejich vyprání. Praní se provádí vždy pro jednu filtrační jednotku, v průměru každou 5-6 směnu.

Praní filtrů má 3 fáze. První z nich je nadlehčení a uvolnění filtrační náplně stlačeným vzduchem. Druhá fáze zahrnuje samotné praní filtru, čímž se odstraní většina nečistot vháněním vzduchu za současného přivádění surové vody. Poslední fáze probíhá pouze vodou, která odstraní poslední zbytky nečistot, které se uvolnily z filtrační náplně.

### 3.2.4.3. Prací voda a čerpadla prací vody

Prací vodu pro otevřené filtry dodává dvojice čerpadel, která jsou zapojena v sestavě 2+0 bez zapojené rezervy, rezervní čerpadlo je však uskladněno v objektu úpravný vody. Čerpadla jsou blokována proti chodu na sucho. Vzhledem k umístění čerpadel nad maximální hladinou vody v čerpací nádrži upravené vody je nutné před spuštěním čerpadla provést zaplavení sacího potrubí, a to odčerpáním vzduchu a části vody ze sacího potrubí. Odčerpání se provádí evakuační stanicí a je prováděno automaticky.

#### 3.2.4.4. Nádrž a čerpací jímka odsazené prací vody

Voda z praní filtrů je odváděna do usazovací jímky, která je propojena s čerpací nádrží odsazené vody. Odsazená voda je přečerpávána zpět na rychlofiltry ponorným čerpadlem. Usazovací jímka má objem 110 m<sup>3</sup>.

#### 3.2.4.5. Čerpadlo odsazené vody z praní filtrů

Čerpadlo se nachází v jímce odsazené prací vody, jedná se tedy o ponorné čerpadlo, konkrétně typu U-BA-2A-H-III. Hlavními parametry čerpadla jsou  $Q=200$  l/min a  $H=51$  m.

#### 3.2.4.6. Prací vzduch filtrů

Prací vzduch filtrů zajišťují dvě rootsova dmyhadla, která jsou osazena v protihlukových krytech, s ventilátorem a elektromotorem. Dmyhadla jsou osazena v sestavě 1+1 (100% rezerva) a v chodu se střídají. Výkon dmyhadla je nastaven v řídicím systému úpravny. Prací vzduch je veden výtlačným potrubím DN 150 ze strojovny do haly filtrace k filtrům, kde se dělí na dvě větve.

### 3.2.5. Čerpání upravené vody

Upravená voda z filtrace přitéká do akumulární nádrže, která má objem 300 m<sup>3</sup>. Tato nádrž je podzemní o průměru 10 m a hloubce 3,6m. Voda z akumulární nádrže natéká do čerpací nádrže. V této nádrži jsou sací potrubí pro prací čerpadla a čerpadla upravené vody.

Čerpání upravené vody z úpravny do vodojemu Janov je zajištěno dvojicí čerpadel, která jsou osazena v sestavě 1+1 (100% rezerva) a v chodu se pravidelně střídají. Čerpadla jsou rozbíhána a odstavována s plynulou regulací otáček motoru tak, aby nedocházelo k hydraulickým rázům ve výtlačném potrubí.

Výtlačný řad vede volným, převážně lesním terénem. Tento řad končí v manipulační komoře vodojemu Janov. Celková délka řadu je 1255m, materiálem je litinové potrubí DN250.



Vodojem Janov je zemní, dvoukomorový, o obsahu komor  $2 \times 650 \text{m}^3$ . Manipulační komora se nachází mezi komorami a je v ní rozvod elektrického proudu. Provoz vodojemu se zastavuje jen výjimečně, při mytí lze provozovat komory střídavě.

### 3.2.6. Kalové hospodářství

Kalové hospodářství zahrnuje splaškovou a technologickou kanalizaci. Splaškové vody ze sociálního zařízení jsou odvedeny do biologického septiku. Technologickou kanalizaci tvoří odpadní potrubí z usazovací nádrže, z filtrace, odpadní potrubí z čerpací nádrže upravené vody a z akumulací nádrže a odpadní vody z praní filtrů, které jsou odváděny do nádrže odsazené prací vody.

Odsazené kaly, kaly z usazovací nádrže, oplachové vody a přepad ze septiku odtékají odpadním potrubím na oplocená kalová pole. Pole jsou 3, 1 vysychá, 1 je v provozu a 1 je prázdné, popř. připravené k vyklizení.



*Obr. 3.9. Kalové pole v provozu*

### 3.3. Vyhodnocení dat

#### 3.3.1. Odběr vzorků

Úpravna vody Janov nemá provozní laboratoř, ale zjednodušenou kontrolu jakosti pro řízení technologického procesu provádí obsluha úpravny 1x v každé směně, tzn. v 6:00, 14:00 a 22:00.

Kontrolu jakosti podle platných zákonů provádí akreditovaná laboratoř. Odběr vzorků se provádí ze vzorkovacích kohoutů, po odpuštění vody cca. 5 minut. Odběrná místa viz Tab. 3.1.

Tab. 3.1. Místa odběrů vzorků

Kontrolovaná voda	Místo odběru vzorků
Přítok surové vody	1- Výtlač surové vody u čerpadla
Voda v průběhu úpravy (provozní rozbor)	2- Odběrný kohout před mísičem
	3- Nátok na filtry
	4- Odtok z filtrů
	5- Odběrný kohout v akumulární nádrži upravené vody
Výstup vyrobené vody z úpravny	6- Odběrný kohout na výtlaču upravené vody
Vodojem Janov	7- Odběrný kohout na zásobním řadu

Rozbory se provádí podle vyhlášky Ministerstva zemědělství č.428/2001 Sb. a vyhlášky Ministerstva zemědělství č.431/2001 Sb. Četnost prováděných rozborů viz Tab. 3.2.

Tab. 3.2. Četnost prováděných rozborů

Odběrné místo	Četnost/rok Dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č.428/2001 a 431/2001					
	Typ rozboru					
	Surová voda				Upravená voda	
Označení	Ms1	Ms4	Us	MBR+BR	Mu	Uu
	2	2	2	7	4	1

Ms1 – monitorovací rozbor surové vody

Ms4 – monitorovací rozbor surové vody

Mu – monitorovací rozbor upravené vody

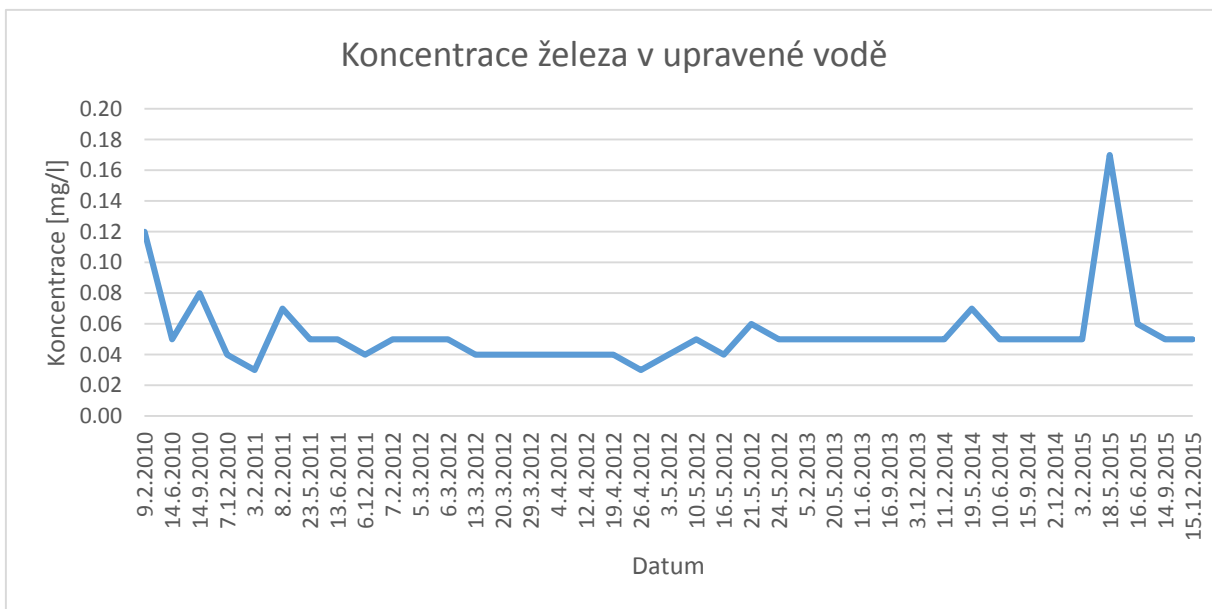
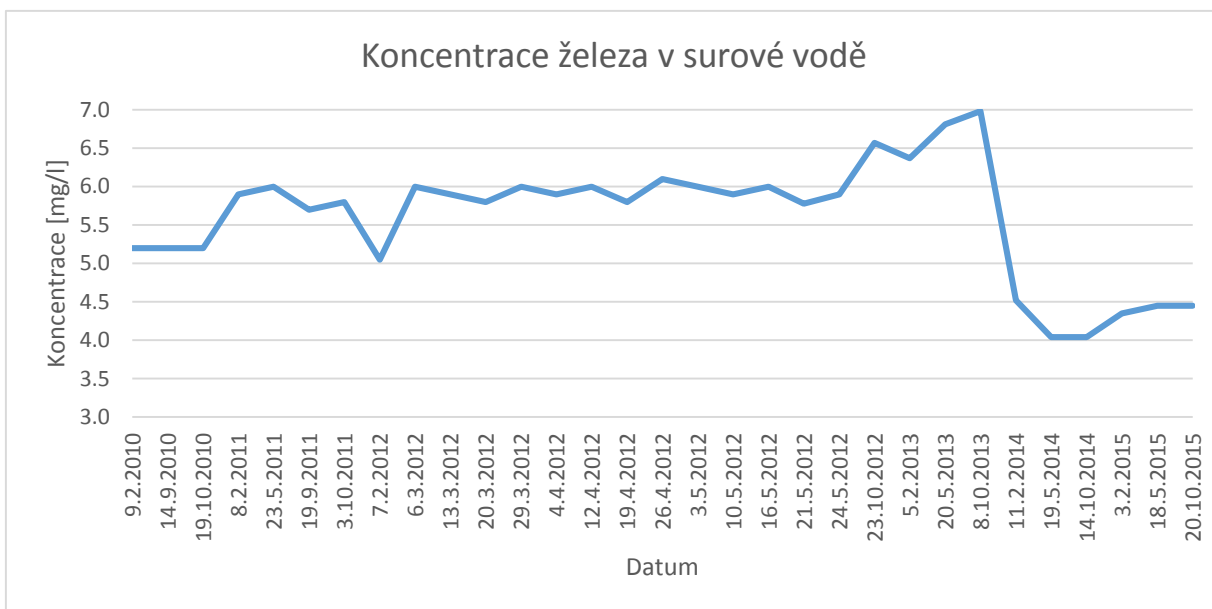
Us – úplný rozbor surové vody

Uu – úplný rozbor upravené vody

Pro účely bakalářské práce byla poskytnuta data z let 2010-2015. Jsou zpracována jak data z provozních rozborů, tak z monitorovacích rozborů dohromady. Některé získané hodnoty jsou zadány např. ve formátu <0.05, tyto hodnoty byly pro účel této práce brány jako rovno 0,05.

### 3.3.2. Vyhodnocená data

#### 3.3.2.1. Železo



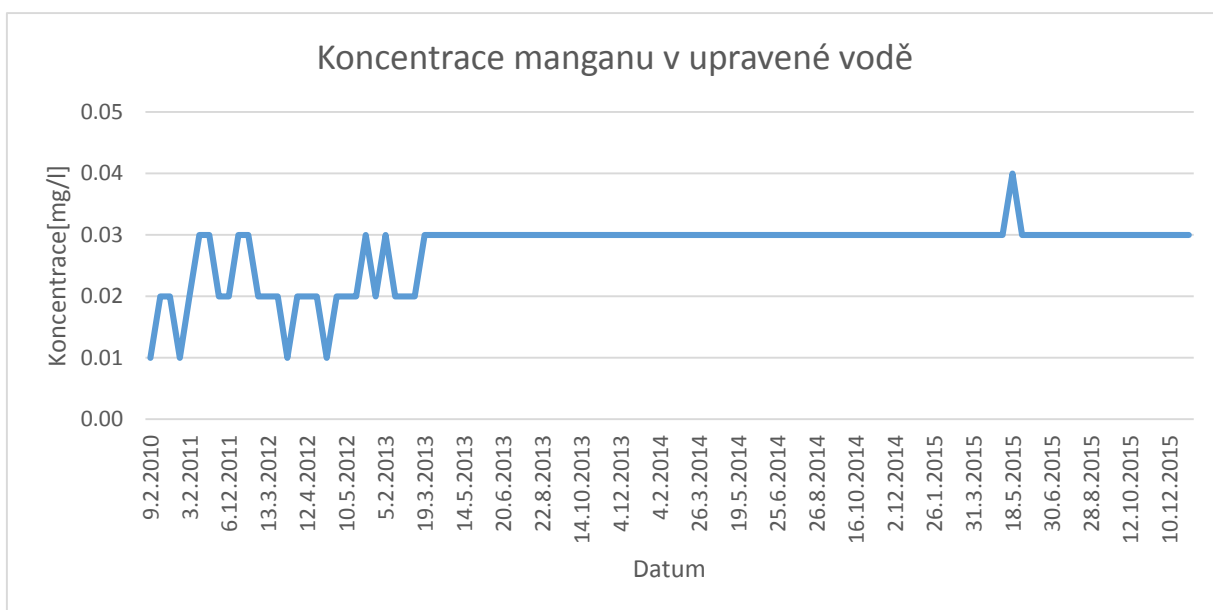
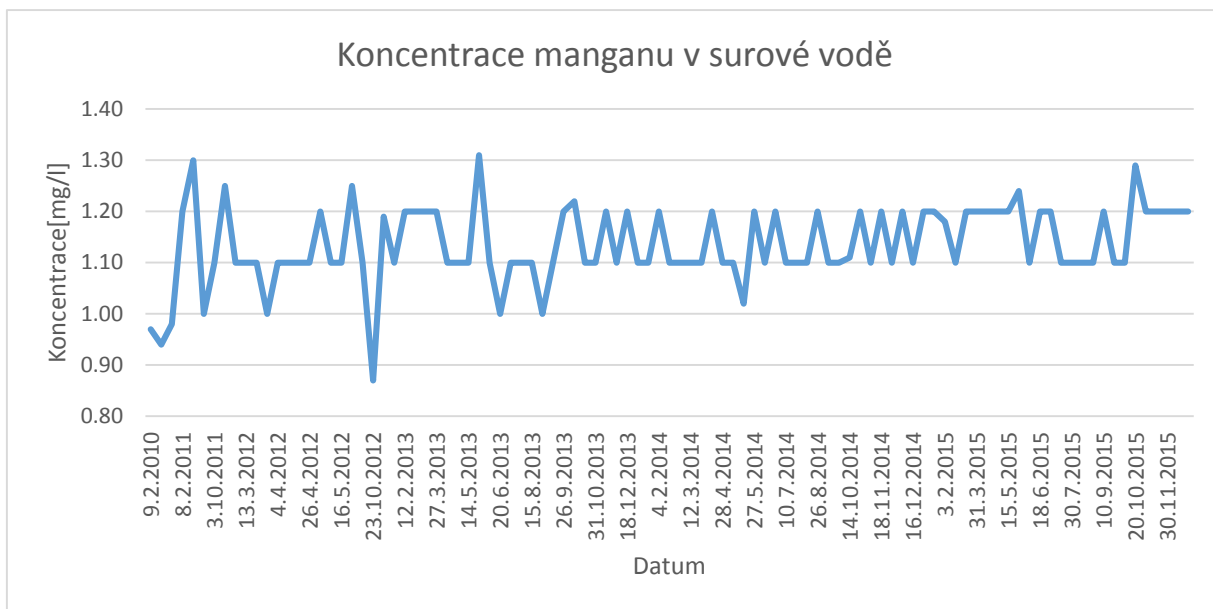


	surová voda	upravená voda
počet hodnot	31	39
průměr	5.60	0.05
maximum	6.98	0.17
minimum	4.04	0.03

Koncentrace železa v surové vodě jsou poměrně vysoké, a to průměrně 5,6 mg/l. V roce 2014 došlo k poklesu koncentrace železa, což je s největší pravděpodobností způsobeno odběrem z jiné hloubky zdroje. Jinak jsou hodnoty v surové vodě poměrně stabilní, kolísají mezi hodnotami 4,04 – 6,98 mg/l.

Koncentrace železa v upravené vodě je průměrně 0,05 mg/l, což vyhovuje mezní hodnotě železa podle vyhlášky 252/2004 Sb. Podle této vyhlášky je mezní hodnotou železa 0,2 mg/l. Hodnoty železa v upravené vodě kolísají mezi hodnotami 0,03 – 0,17, což znamená, že pro každou tuto hodnotu je splněna mezní hodnota podle již zmiňované vyhlášky.

### 3.3.2.2. Mangan

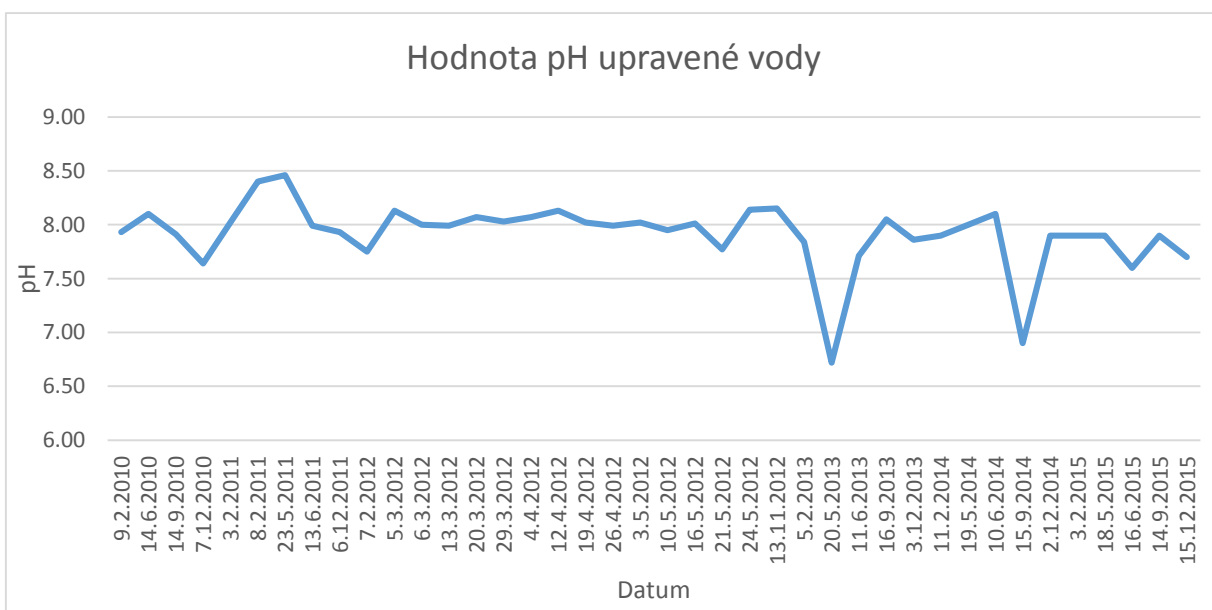
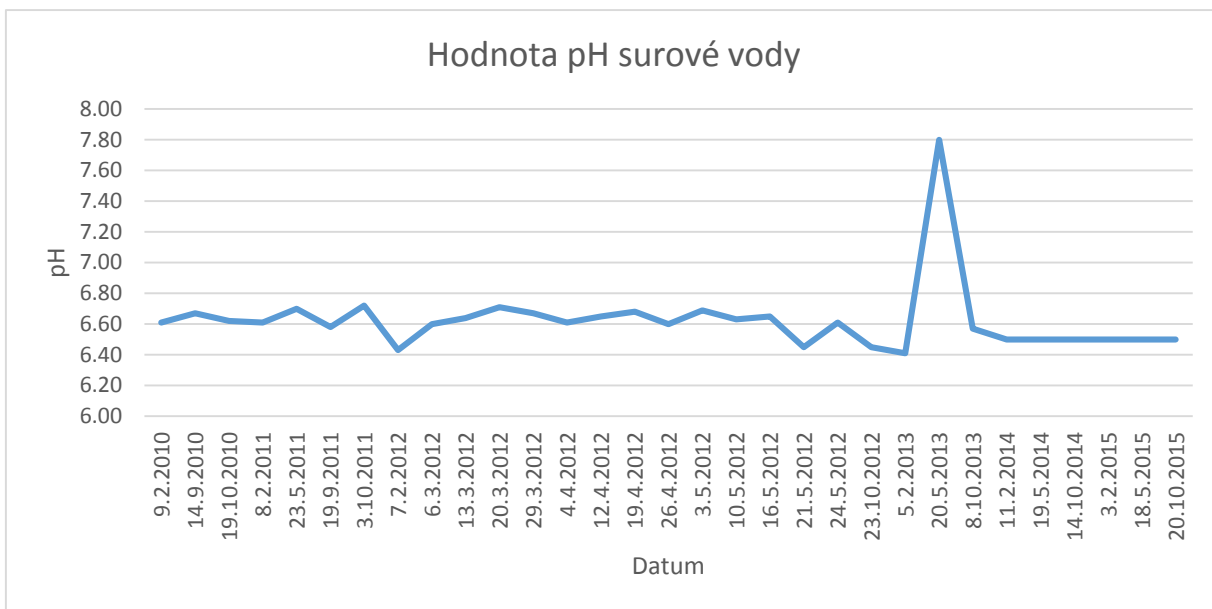


	surová voda	upravená voda
počet hodnot	99	107
průměr	1.13	0.03
maximum	1.31	0.04
minimum	0.87	0.01

Koncentrace manganu v surové vodě, podobně jako u železa, jsou poměrně vysoké. Konkrétně je to 1,13 mg/l. Hodnoty jsou celkem stabilní, kolísají mezi 0,87 – 1,31 mg/l.

Koncentrace manganu v upravené vodě je v průměru 0,03 mg/l, což znamená, že stejně jako železo vyhoví podle vyhlášky 252/2004 Sb. Mezní hodnotou je koncentrace 0,05 mg/l, vyhoví tedy pro všechny hodnoty, které kolísají mezi 0,01-0,04.

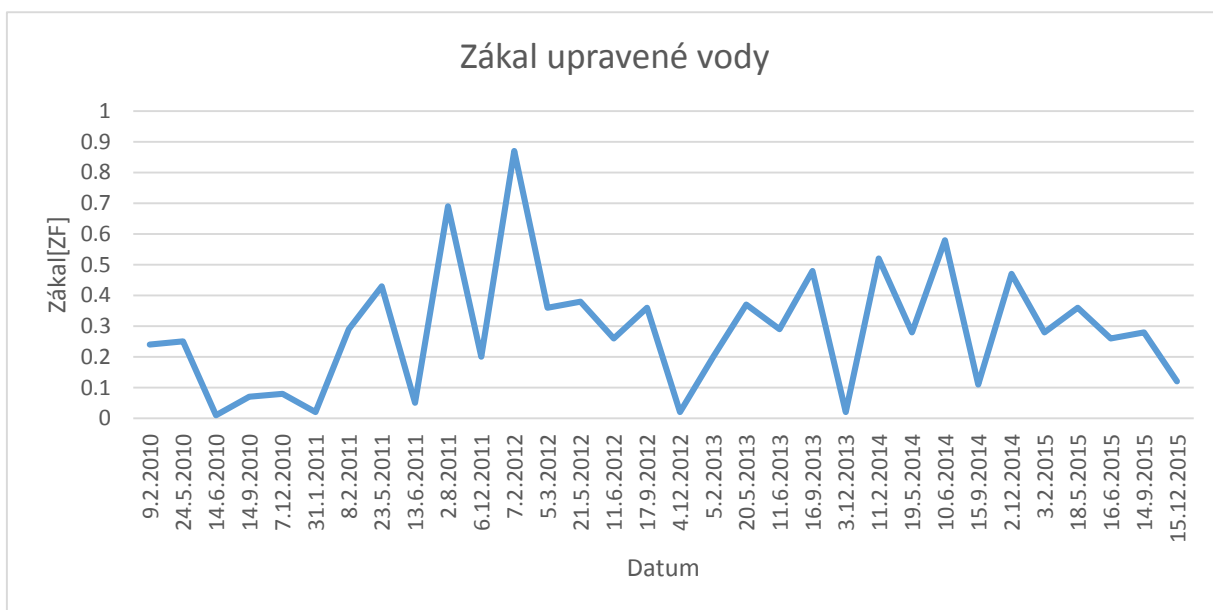
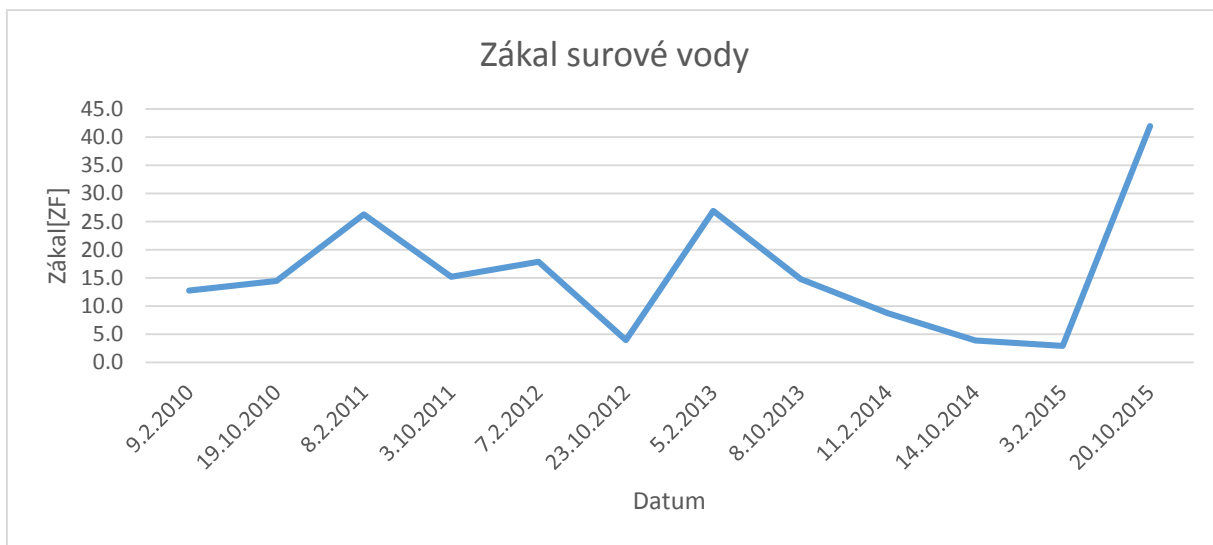
### 3.3.2.3. pH



	surová voda	upravená voda
počet hodnot	31	40
průměr	6.62	7.91
maximum	7.80	8.46
minimum	6.41	6.72

Průměrné pH surové vody je dosahuje v průměru 6,62 a hodnoty kolísají mezi 6,41-7,8. Podle již zmiňované vyhlášky 252/2004 Sb. je pro pH mezní hodnota 6,5-9,5. Tomuto rozmezí vyhovuje jak surová voda, tak voda upravená, která má průměrné pH 7,91 a hodnoty se vyskytují v rozmezí 6,72-8,46. Všechny hodnoty tedy splňují požadavky této vyhlášky.

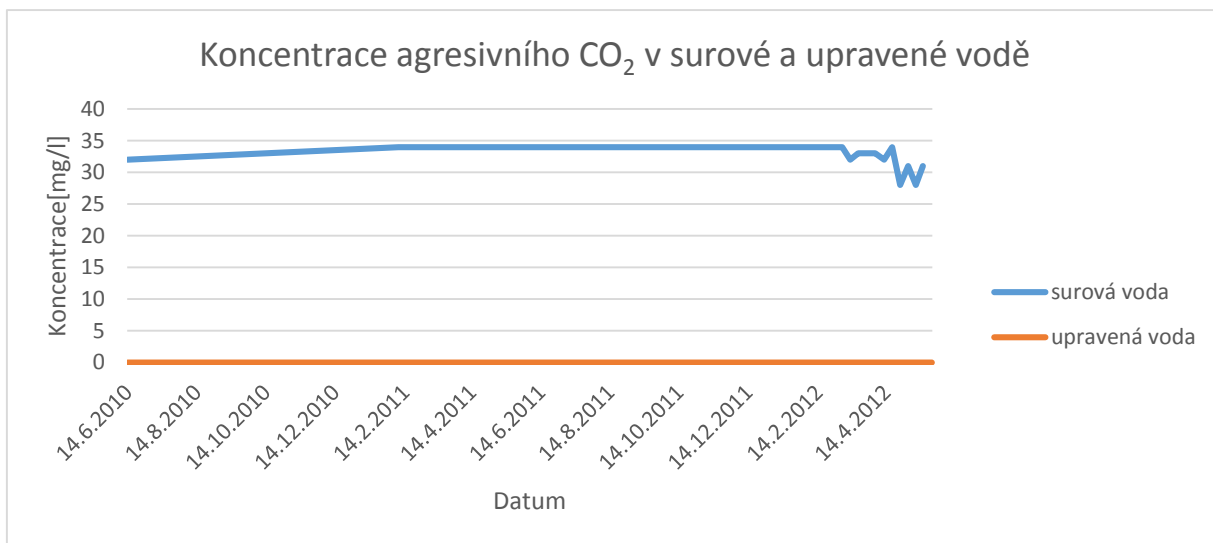
### 3.3.2.4. Zákal



	surová voda	upravená voda
počet hodnot	12	32
průměr	15.83	0.29
maximum	42.00	0.87
minimum	2.97	0.01

Hodnoty zákalu surové vody hodně kolísají, a to mezi hodnotami 2,97 – 42 ZF. Průměrná hodnota je 15,83 ZF a takto vysoká hodnota zákalu je způsobena zejména zvýšenou koncentrací železa a manganu. Podle vyhlášky 252/2004 Sb. je pro zákal stanovena mezní hodnota 5ZF. Tato hodnota je u upravené vody splněna, neboť průměrná hodnota je zde 0,29 ZF a hodnoty se vyskytují v mezích 0,01 – 0,87 ZF.

### 3.3.2.6. Agresivní CO<sub>2</sub>



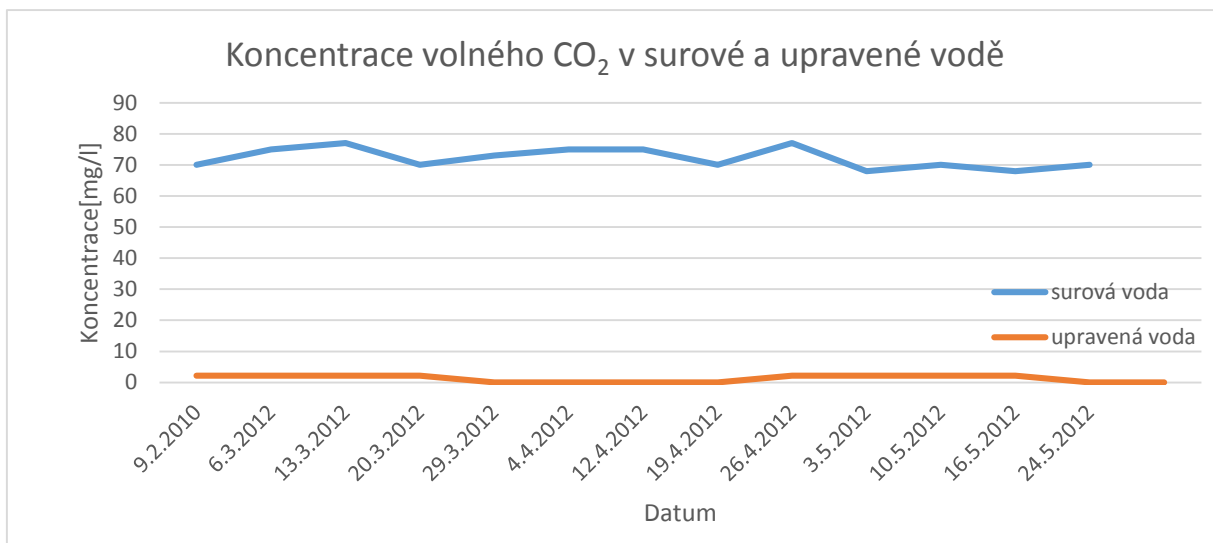
	surová voda	upravená voda
počet hodnot	13	14
průměr	31.92	0
maximum	34	0
minimum	28	0

Hodnoty CO<sub>2</sub> byly na úpravě vody monitorovány pouze v provozních rozborech, a to z důvodu technologického řízení provozu. S ohledem na stálost a neměnnost se tyto ukazatele přestaly sledovat.

Průměrné hodnoty v surové vodě byly v průměru 31,92 mg/l a všechny agresivní CO<sub>2</sub> byl z vody odstraněn.



### 3.3.2.7. Volný CO<sub>2</sub>

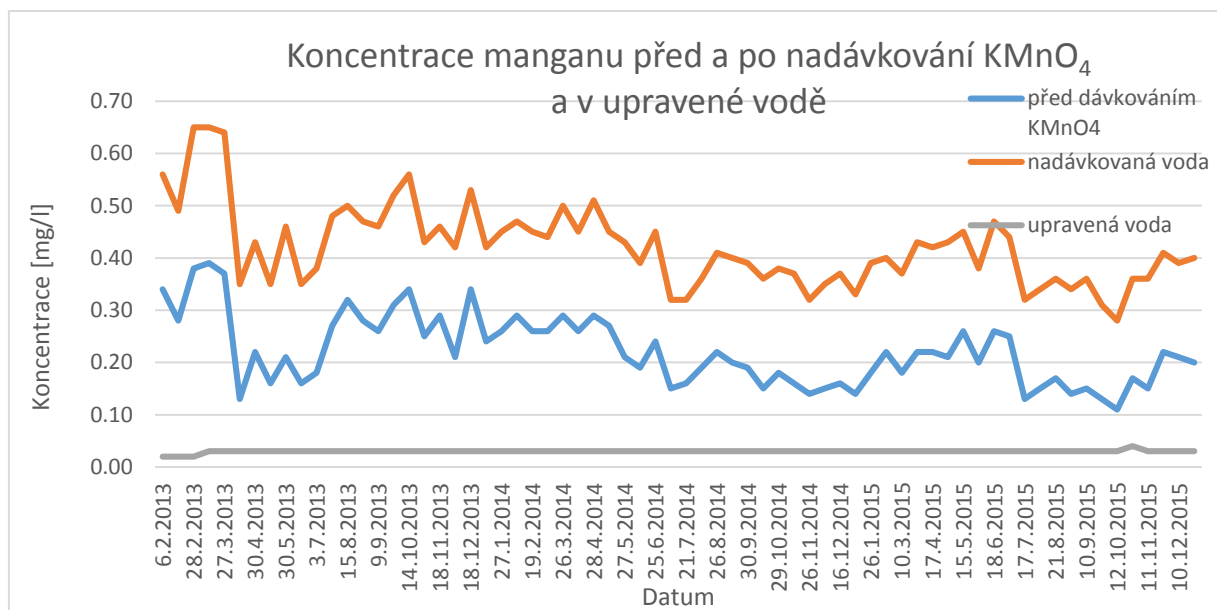


	surová voda	upravená voda
počet hodnot	13	14
průměr	72.15	1.26
maximum	77	2.2
minimum	68	0

Stejně jako agresivní CO<sub>2</sub>, i volný CO<sub>2</sub> byl sledován pouze v provozních rozborech a s ohledem na stálost a neměnnost se přestal sledovat.

Průměrné hodnoty v surové vodě byly v průměru 72,15 mg/l a volný CO<sub>2</sub> byl úpravou zredukován na průměrných 1,26 mg/l.

### 3.3.2.8. Koncentrace manganu před a po nadávkování $\text{KMnO}_4$ a v upravené vodě



	před dávkováním $\text{KMnO}_4$	nadávkovaná voda	upravená voda
počet hodnot	68	68	68
průměr	0.22	0.42	0.03
maximum	0.39	0.65	0.04
minimum	0.11	0.28	0.02

$\text{KMnO}_4$  se do vody dávkuje před nátokem na filtraci a využívá se k oxidaci  $\text{Fe}^{2+}$ . Koncentrace manganu se tedy po nadávkování  $\text{KMnO}_4$  zvýší, posléze je však mangan odstraněn.

Koncentrace manganu před nadávkováním je průměrně 0,22 mg/l, po nadávkování 0,42 mg/l a v upravené vodě 0,03 mg/l.

## 4 Závěr

Bakalářská práce se zabývala odstraňováním železa a manganu z podzemních vod při úpravě na vodu pitnou. V první části bakalářské práce byly popsány obecné informace o jakosti vody a dále o využívaných metodách odstraňování železa a manganu ze surové vody. Proces odželezování a odmanganování závisí na mnoha faktorech, kterými jsou zejména hodnota pH a složení upravované vody. S přihlédnutím k těmto předpokladům byly popsány způsoby odmanganování a odželezování vody a požadavky pro optimální průběh těchto procesů. Zároveň byl stručně popsán princip jednotlivých způsobů. Technologie úpravy vody, tedy i odželezování a odmanganování, by měla být co nejúčinnější a zároveň levná. Výběr vhodné technologie je však potřeba vždy řešit pro každý případ zvlášť a přihlédnout ke konkrétním okolnostem.

Druhá část bakalářské práce se zabývala konkrétní úpravnou vody, Úpravnou vody Janov, která se nachází v Plzeňském kraji. Pro účely této práce mi byla poskytnuta data o surové i upravené vodě. Pro tato data byly zpracovány statistiky o průměrných, maximálních a minimálních hodnotách a zároveň byly pro tato data zpracovány grafy.

Následující vyhodnocení je popsáno na základě průměrných hodnot jednotlivých parametrů jakosti vody z let 2010-2015. Z dat vyplývá, že na Úpravně vody Janov je u surové vody zvýšený obsah železa a manganu, což je způsobeno tím, že ÚV využívá podzemní zdroj vody. Průměrné hodnoty jsou u železa 5,6 mg/l a u manganu 1,13 mg/l, což řadí tuto vodu podle koncentrace manganu do kategorie A3, podle koncentrace železa do kategorie horší než A3. Mezní hodnota železa v pitné vodě je 0,05 mg/l a manganu 0,02 mg/l, čehož se daří dosáhnout vhodně zvolenou technologií úpravy vody. Na ÚV Janov tvoří hlavní prvky technologie provzdušňování, usazování a filtrace. Při výstupu z ÚV již voda dosahuje průměrných hodnot 0,05 mg/l u železa a 0,03 mg/l u manganu.

Mimo železa a manganu byl vyhodnoceny i další parametry, které s železem a manganem přímo či nepřímo souvisí. Jedná se o pH, zákal, barvu, agresivní CO<sub>2</sub> a volný CO<sub>2</sub>. Průměrná hodnota pH surové vody je 6,62, u upravené vody již průměrně 7,91. Zákal se daří odstranit téměř úplně, a to z hodnoty 15,83 ZF na 0,29 ZF. Agresivní CO<sub>2</sub> je ve vodě nepřipustný, a tak je nutné ho při

úpravě úplně odstranit, což je také patrné z poklesu koncentrace z 31,92 mg/l na 0 mg/l. Koncentrace volného CO<sub>2</sub> je v surové vodě 72,15 mg/l a v upravené 1,26 mg/l.

Před nátokem na filtraci je do vody dávkován manganistan draselný, který se využívá na oxidaci Fe<sup>2+</sup>. Přidáním manganistanu se však opět zvýší koncentrace manganu. Průměrná hodnota koncentrace manganu před dávkováním KMnO<sub>4</sub> je 0,22 mg/l, u nadávkované vody je to 0,42 mg/l a v upravené vodě 0,03 mg/l.

Ze získaných a vyhodnocených dat nejsou patrné žádné velké výkyvy hodnot, což svědčí o tom, že voda má stabilní kvalitu. Není proto nutné upravovat dávkování nebo výrazně měnit jakékoli procesy probíhající na úpravě vody.

## 5 Seznam zdrojů

- [1] Filtrační hmoty a chemikálie. *KOWA spol. s r.o.* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie>
- [2] GRÜNWARD, Alexander. *Zdravotně inženýrské stavby 40*. Praha: ČVUT, 1997. 102 s. ISBN 80-01-01658-7.
- [3] MARUŠINCOVÁ, Hana. *Technologická úprava vod na vodu pitnou*. Bakalářská práce v oboru „Chemie a technologie materiálů“. Zlín: Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. 34 s.
- [4] MERGL, V., SLÁDEČKOVÁ, A., PALČÍK, J., MARŠÁLKOVÁ, E. *Nebezpečí kontaminace podzemní vody způsobené aerací*. Zlín: Moravská vodárenská, a.s., 2012. 186 s. ISBN 978-80-260-1468-3.
- [5] ONDRAŠÍKOVÁ, Ivana. *Geochemie šíření kontaminantů v reálném horninovém prostředí*. Disertační práce v oboru „Geologické vědy se zaměřením“. Brno: Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, 2011. 130 s.
- [6] PIAO, Fenshu, LI, Yan, ZHANG, Wenbo. Influence on removal iron and manganese from groundwater with micro pollutants. Multimedia Technology International Conference. Shenyang: School of Construction Engineering Shenyang University, China, 2011. s. 5415 – 5418.
- [7] SLAVÍČEK, Marek, SLAVÍČKOVÁ, Kateřina. *Vodní hospodářství obcí 1 - úprava a čištění vody*. Praha: ČVUT, 2006. 194 s. ISBN 80-01-03534-4.
- [8] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. *Vodárenství: Vodárenství*. 1. vydání. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006. 223 s.
- [9] Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění vyhlášky č. 146/2004 Sb., vyhlášky č. 515/2006 Sb. a vyhlášky č. 120/2011 Sb.
- [10] Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů.

- [11] Základní principy hydrogeologie. Metodická příručka Ministerstva životního prostředí. [online]. 2010. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z WWW:  
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky\\_ekologicke\\_zateze/\\$FILE/OES-Hg\\_prirucka\\_TT-20100801.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)
- [12] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- [13] ŽÁČEK, Ladislav. *Chemické a technologické procesy úpravy vody*. Brno: NOEL, 2000. 239 s. ISBN 80-86020-22-2.

## 6 Seznam tabulek

<i>Tab. 2.1 Mezní hodnoty Fe a Mn jako ukazatelů jakosti surové povrchové vody pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou .....</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2.2 Mezní hodnoty Fe a Mn jako ukazatelů jakosti surové podzemní vody pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou .....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2.3 Mezní hodnoty železa a manganu v upravené pitné vodě podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. ....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 3.1. Místa odběru vzorků .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3.2. Četnost prováděných rozborů.....</i>	<i>39</i>

## 7 Seznam obrázků

<i>Obr. 3.1. Budova Úpravny vody Janov.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3.2. Horizontální provzdušňovač.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3.3. Silo pro uskladnění vápenného hydrátu .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3.4. Sestava pro dávkování vápenného hydrátu .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 3.5. Zásobní nádrž chlornanu sodného .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 3.6. Dávkování chlornanu sodného.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 3.7. Usazovací nádrž .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 3.8. Sestava pro dávkování manganistanu draselného .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 3.9. Kalové pole v provozu .....</i>	<i>38</i>