



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ**

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

**OPTIMALIZACE VYUŽITÍ VRATNÉ VODY  
NA ÚPRAVNĚ VODY**

OPTIMIZING THE USE OF SLUDGE WATER ON THE WATER TREATMENT PLANT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

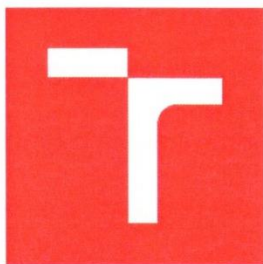
**Bc. Veronika Hanušová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.**

**BRNO 2018**



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Veronika Hanušová
Název	Optimalizace využití vratné vody na úpravně vody
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuňovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu



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

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] PIVOKONSKÝ, Martin. Tvorba suspenze při úpravě vody: teorie a praxe. Vyd. 1. Líbeznice: Medim, 2011. ISBN 9788087140185.
- [2] LIN, Shun Dar. Water and wastewater calculations manual. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2007. ISBN 00-714-7624-5.
- [3] Water treatment handbook. 7th [English] ed. Rueil-Malmaison, France: Degremont, 2007. ISBN 978-2-7430-0970-0.
- [4] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 4th ed. New York: McGraw-Hill, c1990. ISBN 0-07-001540-6.
- [5] 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].

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce bude ve snaze o zvýšení efektivity provozu úpravny vody řešeno využití kalové (vratné) vody. Budou hledány možnosti využití vratné vody, postupy pro její úpravu, technické provedení a stanovení vhodného podílu vratné vody. Dále bude proveden odhad úspory provozních nákladů. Cílem je najít maximální možné množství vratné vody, které ještě nebude negativně ovlivňovat jakost upravené vody. Diplomová práce bude řešena na konkrétní úpravně vody a v úzké spolupráci s provozovatelem.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



---

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

## **ABSTRAKT**

V první části diplomové práce je na základě informací z české i zahraniční literatury věnována pozornost poznatkům o vybraných technologických zařízeních na úpravách vody. V návaznosti na to je specifikován provoz na úpravě vody ve Švařci, pro který je následně provedeno posouzení možnosti zvýšení využitého množství vratné vody v úpravárenském procesu. Dále je provedeno finanční zhodnocení záměru.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Filtrace, koagulace, praní filtrů, kalové hospodářství, prací voda, vratná voda.

## **ABSTRACT**

The first part of this diploma thesis deals with knowledge of chosen technological devices in water treatment plants gathered from Czech and foreign literature. The thesis continues by linking the information gathered to the water treatment plant in Švařec for which a plan to increase the sludge water volume reuse was researched and formed. Furthermore, financial assessment of this plan was completed.

## **KEYWORDS**

Filtration, coagulation, filter backwashing, sludge department, backwash water, sludge water.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Veronika Hanušová *Optimalizace využití vratné vody na úpravně vody*. Brno, 2018. 118 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 12. 12. 2017

---

Bc. Veronika Hanušová  
autorka práce

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce, kterým je pan Ing. Tomáš Kučera, PhD., za odborné vedení a cenné připomínky během vytváření této práce. Dále bych ráda poděkovala pracovníkům z úpravny vody ve Švařci, zejména panu Zdeňkovi Antošovi, Ing. Haně Chocholáčové, Heleně Sudové a Bc. Janě Kašparové, za trpělivost a vstřícnost, se kterou ke mně přistupovali.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>SPECIFIKACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ A PROCESŮ NA ÚPRAVNĚ VODY.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Koagulace a flokulace.....</b>	<b>12</b>
2.1.1	Koagulační činidla.....	12
2.1.2	Průběh koagulace a flokulace.....	14
2.1.3	Koagulační zkouška .....	16
<b>2.2</b>	<b>Filtrace .....</b>	<b>17</b>
2.2.1	Rychlofiltry .....	18
<b>2.3</b>	<b>Kalové hospodářství .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4</b>	<b>Ozonizace.....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>JAKOST SUROVÉ VODY K ÚPRAVĚ NA VODU PITNOU .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Podzemní voda .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Povrchová voda .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Posuzování jakosti surové vody .....</b>	<b>29</b>
3.3.1	Kategorie upravitelnosti .....	30
<b>3.4</b>	<b>Posuzování jakosti pitné vody.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Vybrané ukazatele jakosti surové a pitné vody.....</b>	<b>31</b>
3.5.1	Zákal.....	31
3.5.2	Barva .....	32
3.5.3	Chemická spotřeba kyslíku .....	33
3.5.4	Hliník.....	34
3.5.5	Železo .....	36
3.5.6	Mangan.....	37
3.5.7	pH .....	39
3.5.8	Alkalita .....	40
3.5.9	Kultivovatelné mikroorganismy.....	40
3.5.10	Clostridium perfringens .....	42
3.5.11	Intestinální enterokoky.....	44
<b>4</b>	<b>ÚPRAVNA VODY ŠVAŘEC .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Definice pojmů .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Schéma ÚV Švařec.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Odběr surové vody.....</b>	<b>48</b>



<b>4.4</b>	<b>Přítokový objekt.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5</b>	<b>Míchání .....</b>	<b>50</b>
<b>4.6</b>	<b>Filtrace .....</b>	<b>50</b>
4.6.1	Filtrace přes křemičitý písek .....	51
4.6.2	Filtrace přes granulované aktivní uhlí .....	52
<b>4.7</b>	<b>Kalové hospodářství .....</b>	<b>52</b>
<b>4.8</b>	<b>Kontrola jakosti vody .....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>PRVNÍ ETAPA OVĚŘENÍ MOŽNOSTI PROVEDENÍ ZÁMĚRU.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>Kvalita upravené vody.....</b>	<b>55</b>
<b>5.2</b>	<b>Hodnoty vybraných ukazatelů.....</b>	<b>56</b>
5.2.1	Zákal.....	57
5.2.2	Barva .....	57
5.2.3	Chemická spotřeba kyslíku .....	58
5.2.4	Hliník.....	59
5.2.5	Železo .....	61
5.2.6	Mangan.....	61
<b>5.3</b>	<b>Porovnání průběhu hodnot vybraných ukazatelů .....</b>	<b>62</b>
<b>5.4</b>	<b>Závěry vyvozené z první etapy .....</b>	<b>65</b>
<b>5.5</b>	<b>Zvýšení objemu vratné prací vody v roce 2016.....</b>	<b>65</b>
5.5.1	Vliv množství prací vody .....	67
<b>6</b>	<b>DRUHÁ ETAPA OVĚŘENÍ MOŽNOSTI PROVEDENÍ ZÁMĚRU.....</b>	<b>69</b>
<b>6.1</b>	<b>Ukazatele sledované v různých druzích vod.....</b>	<b>69</b>
6.1.1	Prací voda čerstvá.....	69
6.1.2	Prací voda vratná.....	69
6.1.3	Směsná voda.....	69
6.1.4	Surová voda.....	69
<b>6.2</b>	<b>Porovnání hodnot vybraných ukazatelů v surové vodě a v prací vodě čerstvé a vratné.....</b>	<b>70</b>
6.2.1	pH.....	70
6.2.2	Zákal.....	70
6.2.3	Barva .....	71
6.2.4	Chemická spotřeba kyslíku .....	71
6.2.5	Hliník.....	72
6.2.6	Železo .....	72
6.2.7	Mangan.....	73
6.2.8	Clostridium Perfringens .....	73
6.2.9	Kultivovatelné organismy při 36 °C .....	74

6.2.10	Kultivovatelné organismy při 22 °C .....	74
<b>6.3</b>	<b>Výsledky koagulačních zkoušek na směsné vodě.....</b>	<b>75</b>
6.3.1	pH.....	75
6.3.2	Zákal.....	75
6.3.3	Barva .....	76
6.3.4	Chemická spotřeba kyslíku .....	76
6.3.5	Hliník.....	77
6.3.6	Železo .....	77
6.3.7	Mangan.....	78
<b>6.4</b>	<b>Závěry vyvozené z druhé etapy .....</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>FINANČNÍ ZHODNOCENÍ ZÁMĚRU .....</b>	<b>82</b>
<b>7.1</b>	<b>Doporučení plynoucí z provedených výpočtů .....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
<b>9</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>91</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>92</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>93</b>
<b>13</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>94</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>95</b>
<b>15</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>96</b>

# 1 ÚVOD

Problematika dostatečné vydatnosti vodních zdrojů v příštích letech a s ní zvyšující se cena vody se dostává do popředí zájmu jak odborné, tak i široké veřejnosti. Tato skutečnost se velmi blízce dotýká vodárenských společností, jelikož za odebrání vody k úpravě a také za vypouštění odpadních vod se poplatky během let postupně zvyšují a tento trend bude pravděpodobně i nadále pokračovat. Tyto a další faktory vedou ke zvyšování cen vodného, což široká veřejnost odmítá. Na základě toho jsou vodárenské společnosti nuceny ke snaze o zvýšení hospodárnosti provozu.

Jedním z řešení může být snaha o snížení objemu vyprodukované odpadní vody na úpravnách vody. Ta vzniká zejména při praní filtrů. Proto byly již na některých úpravnách provedeny rozsáhlejší rekonstrukce, které vedly k aplikaci filtrů s lepšími provozními parametry. Další cestou, která je vhodná i pro úpravny vody, kde není plánována větší rekonstrukce, je snaha o opětovné využití prací vody tak, že je co největší část jejího objemu vrácena k úpravě.

K takovému opatření musí být provedeno zhodnocení rizikových faktorů, které by mohly vrácení prací vody do úpravy znemožnit. Vždy musí být brán zřetel na vlastnosti surové a prací vody, vody vzniklé jejich smícháním, dále je důležitá schopnost úpravny zpracovat vodu s odlišnými parametry, než byl výchozí stav. Na základě rozborů vody a zhodnocení celého provozu lze stanovit, jaké množství prací je bezpečné vrátit do procesu úpravy.

Jedním z provozů, kde bylo v minulosti k takovému opatření přistoupeno, je úpravna vody (dále ÚV) ve Švařci. Ta je po prameništi v Březové nad Svitavou druhým nejvýznamnějším zdrojem vody brněnské vodárenské soustavy, kterou provozují Brněnské vodárny a kanalizace a. s. ÚV Švařec je součástí tzv. Vířského oblastního vodovodu (dále VOV), který slouží pro zásobování nejen Brna, ale mnoha měst a obcí v jeho okolí.

V roce 2013 začal provozovatel v rámci navyšování hospodárnosti prací vodu přimíchávat do surové vody v poměru 5:95 a tento krok byl úspěšný. V současné době však provozovatel zvažuje, že by tento poměr mohl být změněn tak, aby bylo vráceno k opětovné úpravě maximální možné množství prací vody.

V této diplomové práci je zpracována rešerše na základě české i zahraniční literatury na ty části ÚV, kterých se změna bezprostředně týká, je provedeno přiblížení technologického zařízení ÚV Švařec a je zde popsán průběh dvou etap sledování ukazatelů kvality vody, jejichž účelem je zahájení provozu s opětovným využitím maximálního množství prací vody. Na základě výsledků je vyhodnoceno, zda je vrácení většího podílu prací vody zpět do úpravy možné, aniž by byl negativně ovlivněn úpravárenský proces, a je vyhodnoceno, jaké finanční úspory by změna přinesla.

## 2 SPECIFIKACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ A PROCESŮ NA ÚPRAVNĚ VODY

### 2.1 KOAGULACE A FLOKULACE

Surová voda určená k úpravě pro vodu pitnou je ovlivněna řadou látek, které vodu ovlivňují po stránce fyzikální i chemické. Látky ve vodě obsažené se vyskytují v podobě částic různé velikosti, případně jsou ve vodě rozpuštěné. Z úpravárenského hlediska je možno tyto látky rozdělit na ty látky, které lze z vody odstranit mechanicky, a ty, které lze odstranit chemickými procesy. [2]

Látky koloidní a rozpuštěné tvoří ve vodě zákal, který je jedním z nejvýznamnějších faktorů fyzikálního znečištění vody. Běžnými mechanickými procesy jsou tyto látky neodstranitelné a je nutné je odstraňovat chemicky. Vhodnou metodou je koagulace s následnou flokulací. [2]

Princip koagulace spočívá v přítomnosti chemikálie nadávkované do upravované vody, která reaguje s látkami obsaženými ve vodě. Jedná se o proces destabilizace a počátek slučování koloidních částic. Oproti flokulaci se jedná o velmi rychlý proces. Flokulace spočívá ve vzniku větších útvarů – vloček, které jsou tvořeny jako důsledek vzájemných kolizí shluků vzniklých během koagulace. [10]

Účelem koagulace a flokulace je tedy vytvoření vloček nečistot takové velikosti a stability, které jsou odstranitelné usazováním, flotací nebo filtrací. [10]

#### 2.1.1 Koagulační činidla

Převážně jsou užívány soli železa a hliníku. Použití konkrétní látky závisí zejména na vlastnostech upravované vody, jako je pH, teplota vody, množství suspendovaných látek atd. O volbě optimálního koagulantu musí rozhodnout vždy laboratorní pokusy, v lepším případě poloprovozní zkoušky. [2]

Soli hliníku bývají upřednostňovány při jednostupňové úpravě vody. Jsou citlivější na nízkou teplotu vody, neboť se snižující se teplotou klesá jejich účinnost. Mezi nejpoužívanější koagulační činidla patří síran hlinitý. [2]

Železité koagulanty se užívají hlavně při dvoustupňové úpravě vody a jsou uplatňovány pro koagulaci vody s vyšším obsahem suspendovaných látek. Mezi často používané koagulanty patří především síran železitý a chlorid železitý, dále je to chlorovaný síran železitý a síran železnatý. [2]

Další skupinou koagulantů jsou polymery, příkladem může být polyaluminium chlorid. Častěji jsou sice používány jako pomocné koagulanty, neboli flokulanty, které zlepšují průběh flokulace, jejich použití je však možné i samostatně jako hlavní koagulant. [10] Vhodnými polymery jsou především organické sloučeniny přírodního, častěji ale umělého původu. Základní složkou bývá kyselina akrylová, případně amid této látky. Existují tři skupiny těchto koagulantů – kationtové, aniontové a neiontové. Destabilizační mechanismus kationtových polymerů je účinný pro záporně nabitě částice, stejně jako aniontových polymerů pro kladně nabitě částice. [8]

Pro základní odhad vhodného koagulantu může být použita Tab. 2.1:

**Tab. 2.1 Vhodnost užití koagulantů v závislosti na vlastnostech upravované vody [10]**

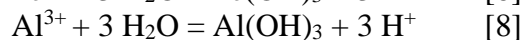
Typ vody	Typ koagulantu		
	Hlinité soli	Železité soli	Polymery
<b>Voda s vysokým zákalem a vysokou alkalitou (Typ 1 - nejsnadněji upravitelný)</b>	Efektivní při pH 5 - 7  Bez nutnosti použití pomocného koagulantu  Bez nutnosti zvýšení alkality	Efektivní při pH 6 - 7  Bez nutnosti použití pomocného koagulantu  Bez nutnosti zvýšení alkality	Kationtové polymery obvykle velmi účinné  Aniontové a neiontové polymery mohou taktéž účinkovat
<b>Voda s vysokým zákalem a nízkou alkalitou (Typ 2)</b>	Efektivní při pH 5 - 7  Bez nutnosti použití pomocného koagulantu  Možná nutnost zvýšení alkality pro optimalizaci pH	Efektivní při pH 6 - 7  Bez nutnosti použití pomocného koagulantu  Možná nutnost zvýšení alkality pro optimalizaci pH	Kationtové polymery obvykle velmi účinné  Aniontové a neiontové polymery mohou taktéž účinkovat
<b>Voda s nízkým zákalem a vysokou alkalitou (Typ 3)</b>	Vhodné pH okolo 7  Poměrně velká dávka nutná pro vytvoření vhodných vloček Pomocný koagulant může být vhodný	Poměrně velká dávka nutná pro vytvoření vhodných vloček Pomocný koagulant může být vhodný	Nedostatečný účinek z důvodu nízkého zákalu  Vhodná dávka jílu pro zvýšení zákalu
<b>Voda s nízkým zákalem a nízkou alkalitou (Typ 4 - nejobtížněji upravitelný)</b>	Vhodné pH okolo 7  Poměrně velká dávka nutná pro vytvoření vhodných vloček N nutné zvýšení alkality pro dosažení vody typu 3 nebo dávka jílu pro dosažení vody typu 2	Vhodné pH okolo 7  Poměrně velká dávka nutná pro vytvoření vhodných vloček N nutné zvýšení alkality pro dosažení vody typu 3 nebo dávka jílu pro dosažení vody typu 2	Nedostatečný účinek z důvodu nízkého zákalu  Vhodná dávka jílu pro zvýšení zákalu

Nízký zákal < 10 NTU, vysoký zákal > 100 NTU, nízká alkalita < 50 mg CaCO<sub>3</sub>·l<sup>-1</sup>, vysoká alkalita > 250 mg CaCO<sub>3</sub>·l<sup>-1</sup>

Definice zákalu a alkality, stejně tak jako způsob stanovení těchto parametrů, jsou uvedeny v kapitole 3.5.

## **Chemická podstata koagulačních procesů**

Hydrolyzou solí železa a hliníku dávkovaných do vody vznikají příslušné hydroxidy podle rovnic:



Uvolněné vodíkové ionty reagují s  $\text{HCO}_3^-$  obsaženými ve vodě. Snížení hodnoty pH v tomto případě není tak výrazné jako v nepřítomnosti  $\text{HCO}_3^-$ . Čím větší dávka koagulantu, tím více iontů  $\text{H}^+$  vznikne, a tím větší koncentrace  $\text{HCO}_3^-$  je třeba k neutralizaci. Pokud koncentrace  $\text{HCO}_3^-$  není dostačující, používá se k neutralizaci  $\text{H}^+$  iontů hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Jeho reakcemi se však zvyšuje koncentrace vápníku ve vodě a tím i tvrdost vody. Je-li tento proces nežádoucí, lze použít místo hydroxidu vápenatého hydroxid sodný NaOH nebo uhličitan sodný  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . [8]

### **Dávkování koagulantu**

Dávka koagulantu je závislá na znečištění vody. Platí, že by měla zajistit dostatečné vyvločkování nečistot z upravované vody, zároveň by měla být co nejnižší. Není-li přídavkem koagulantu dosaženo optimálního pH a je zapotřebí pH snížit, lze situaci řešit přídavkem koagulantu, který reaguje kyselé, případně lze použít kyselinu sírovou. Problematika příliš nízkého pH se většinou týká vysoce znečištěných vod. [8]

Při stanovení dávek koagulantu je rozhodující obsah kovu Fe nebo Al, který tvoří příslušný hydroxid. Pro orientační stanovení dávky  $D$  [ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ] hlinité či železité soli se vychází z hodnot  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ] nebo z barvy vody  $B$ :

$$D = (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \text{CHSK}_{\text{Cr}} \quad [8]$$

$$D = (2,5 \text{ až } 3,0) \cdot B^{0,5} \quad [8]$$

Existují i další způsoby, jak určit přibližnou dávku  $D$ , pro přesné stanovení se provádí koagulační zkoušky. Ty vycházejí z orientační vypočtené dávky a stanoveného optimálního pH. Pro ně se pak s odstupňovanými dávkami koagulantu provede koagulační pokus. Dosažený výsledek se hodnotí podle kvality upravené vody. Optimální je nejmenší dávka koagulantu, při níž je dosaženo požadované kvality vody. V praxi bývají dávky koagulantů pro poměrně čisté vody  $0,15$  až  $0,30 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$   $\text{Fe}^{3+}$  nebo  $\text{Al}^{3+}$ , pro znečištěné vody bývá dávka zhruba dvojnásobná. [8] Samotná koagulační zkouška napodobuje svým postupem koagulační a flokulační proces, který je v provozu používán. Její podrobnější průběh je popsán v kapitole 2.1.3.

Rozpustnost uvedených koagulantů ve vodě je dobrá, dávkují se ve vodných roztocích nejčastěji pomocí membránových čerpadel, u nichž se dávkované množství reguluje nastavením pístu. Druhý způsob je dávkování pomocí suchých dávkovačů v tuhém stavu, které jsou sestaveny většinou na objemovém principu. [8]

### **2.1.2 Průběh koagulace a flokulace**

Proces koagulace za použití soli železa nebo hliníku je sérií po sobě jdoucích reakcí. Pro jejich správný a úplný průběh je zapotřebí dostatečné míchání (podrobněji viz kapitola níže), v opačném případě by bylo nutné zvyšovat dávku koagulantu, což není ekonomicky výhodné. [10]

Průběh vlastní koagulace a flokulace lze rozdělit do dvou časových etap – perikinetické a ortokinetické.

### ***Perikinetická fáze***

V této fázi vznikají mikrovločky agregací koloidních částic. Jedná se o fázi následující ihned po nadávkování koagulantu a je charakterizována jako fáze rychlého míchání. Rychlostní gradient při ní bývá v intervalu od 100 do 1000 s<sup>-1</sup> a její délka se volí v jednotkách minut. Účelem je dokonalé promíchání koagulantu s upravovanou vodou. [8]

Rychlé míchání se může řešit mechanicky pomocí míchadel různé konstrukce. Nevýhodou těchto zařízení je potřeba elektrické energie. [2]

Vedle mechanického způsobu rychlého míchání může být použito i míchání hydraulické. Jedná se o různé tlakové clony, proudové a statorové míchače, dále o gravitační zařízení s vertikálními nebo horizontálními šterbinami. [2]

### ***Ortokinetická fáze***

Navazuje na perikinetickou fázi a dochází během ní k pomalému míchání prováděnému tvorbou makrovloček shlukováním malých vloček vzniklých při perikinetické fázi – k flokulaci. Rychlostní gradient  $G$  má hodnotu pod 100 s<sup>-1</sup>, jeho konkrétní hodnota se volí podle výsledků na modelovém pokusu. Pro železité koagulanty bývá  $G$  menší než 65 s<sup>-1</sup> a pro hlinité menší než 25 s<sup>-1</sup>. Doba pomalého míchání se volí v rozmezí 20 až 30 minut. [8] Delší doba míchání ztrácí efekt, někdy může docházet i k destabilizaci vzniklé suspenze nebo k její sedimentaci. Z důvodu náchylnosti vloček k jejich rozpadání je vhodné, aby zařízení, v němž k flokulaci dochází, bylo předřazeno přímo před separační stupeň, přičemž by přechod mezi těmito dvěma objekty měl být plynulý s vyloučením ztrát a turbulencí. [2]

Pomalé míchání lze hydraulicky zajistit žlaby a nádržemi s horizontálním či vertikálním průtokem, v nichž je umístěn systém přelivných a norných stěn, dále stěny s otvory nebo vertikálními vířivými kuželovými míchači. [2]

Mezi zařízení pro mechanický způsob míchání patří vertikální a horizontální pádlová míchadla nebo hyperboloidní míchací systémy. [2]

### ***Zeta potenciál***

V procesu koagulace se tvoří makromolekuly komplexních polymerů hliníku nebo železa, které se dále spojují a zvětšují svoji velikost, až dosáhnou velikosti koloidních částic. Na povrchu těchto částic vzniklých hydrolyzou železitých či hlinitých solí se adsorbují železité, případně hlinité ionty a tím tyto částice získají kladný náboj. Tato vrstva iontů přitahuje elektrostatickými silami z roztoku částice nabitě záporně. Oproti tomu koloidní částice vzniklé hydrolyzou hlinitanů jsou nabitě záporně a jejich vnější dvojrstvu tvoří kladně nabitě částice, jako například sodné nebo vápenaté kationty. Míra tohoto působení je tím větší, čím větší mají náboj. Celý útvar složený ze dvou vrstev se nazývá elektrická dvojrstva. [8]

Ionty z vnitřní vrstvy a částečně i opačně nabitě ionty z vnější vrstvy ulpívají na koloidní částici a pohybují se s ní. Tvoří tzv. adsorpční vrstvu. Ionty z vnější vrstvy se pohybují s kapalinou a tvoří tzv. difúzní vrstvu. Mezi povrchem částice a roztokem vzniká elektrický potenciál. Elektrické náboje iontů vnitřní vrstvy však nejsou plně kompenzovány opačně nabitými náboji iontů vnější vrstvy a na pohybovém rozhraní vzniká potenciálový rozdíl nazývaný zeta potenciál. [8]

Jeho hodnota se obvykle pohybuje v mezích od 50 do 100 mV. Při hodnotě větší než 40 mV je koloidní částice stálá, při poklesu pod 30 mV nastává pomalu koagulace. Při hodnotách kolem nuly je koagulace velice rychlá a intenzivní. Tohoto stavu je tak snaha během úpravárenského procesu dosáhnout. [8]

### 2.1.3 Koagulační zkouška

#### *Účel*

„Koagulační zkoušky se provádí za účelem co nejpřesnějšího modelování technologických procesů úpravy vody. Je během ní provedeno nadávkování koagulantu do surové vody, následuje proces rychlého a pomalého míchání a konečná filtrace přes pískové filtry. Takto lze určit optimální dávku koagulantu, tím docílit co nejvyšší kvality upravené vody a v neposlední řadě dosáhnout značné úspory při její výrobě.“ [12]

#### *Postup*

Do šesti dvoulitrových kádinek se odměří přesné dávky koagulantu, které byly vytipovány na základě předcházejících výpočtů, a přidají se 2 litry surové vody. Kádinky se vloží do míchací kolony (viz Obr. 2.1). Zde surová voda s koagulantem zhomogenizuje za procesu rychlého míchání trvajících 2 minuty při otáčkách  $100 - 140 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . Po uplynutí této doby se dále míchá směs po dobu 20 minut pomalým mícháním při  $40 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ , během něhož by mělo dojít k flokulaci. Ihned po vymíchání se kádinky vyjmou z míchací kolony a promíchaná voda s koagulantem se přefiltruje přes plovákový pískový filtr, jehož ukázka je na Obr. 2.2. [12]



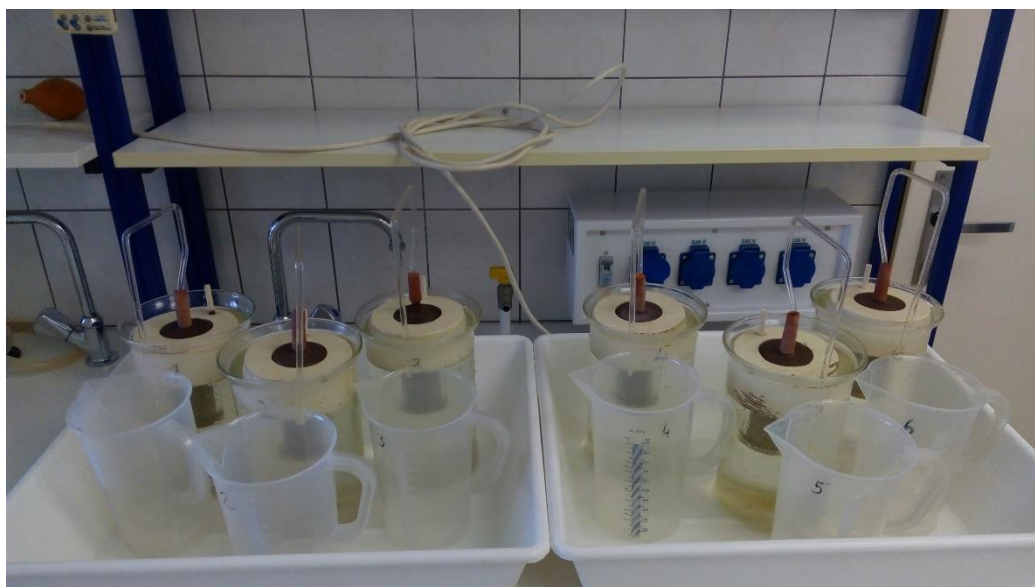
**Obr. 2.1** Míchací kolona s koagulačními kádinkami

Přefiltrování se provede tak, že se plovákový filtr položí na hladinu vody v kádince. Prvních 200 ml filtrátu se vylije a dále se nechá přefiltrovat objem potřebný k analýzám (viz Obr. 2.3). Z filtrátu lze vyhodnotit cílové ukazatele a na základě jejich hodnot stanovit optimální dávku koagulantu. [12]





Obr. 2.2 Plovákový filtr s pískovou náplní



Obr. 2.3 Přefiltrování vzorků po koagulační zkoušce

## 2.2 FILTRACE

Filtrace je nezbytným procesem na každé úpravě vody, na které je zařazen alespoň jeden separační stupeň. Jejím úkolem je odstranit látky a částice, které se ve vodě přirozeně vyskytují, případně které vznikly předúpravou. Úpravna vody může být jednostupňová či vícestupňová, přičemž filtrace tvoří vždy závěrečný separační stupeň. Před ní může být zařazena sedimentace, flotace či jiný druh filtrace. [1]

V minulosti bylo vyvinuto několik typů filtrů. Jedná se o objemovou filtraci, náplavnou filtraci a filtraci membránovou. Každý z těchto typů disponuje dalšími variantami, které lze různě využívat a kombinovat s ohledem na vstupní podmínky a požadované výstupy. Právě filtrace objemová nachází na úpravách vody největší uplatnění a existuje jí mnoho druhů. Jejich základní princip je však vždy velmi podobný. Jedná se o proces inspirovaný prosakováním podzemní vody skrz zrnitý materiál. [2]

Během filtrace dochází k mechanickému cezení, během něhož jsou zachycovány největší částice nečistot, tedy takové, které pro svoji velikost nemohou proniknout mezi zrný filtračního materiálu. Většina částic je však menší a proniká hlouběji do filtrační náplně, kde je část z nich odstraněna usazováním, ke kterému dochází na vrchlících zrn a v místě jejich styku. Dalším důležitým jevem je adsorpce, při které jsou uplatňovány účinky Van der Waalsových sil, díky nimž částice nečistot ulpí při dostatečném přiblížení na zrnech filtračního materiálu. Tento jev je velmi podobný poslednímu jevu umožňujícímu filtraci – Coulombovým silám. Jedná se o elektrostatické síly, které přitahují částice na základě rozdílných nábojů. [2]

Existuje řada možností, jak může být objemový filtr sestaven. Vzájemně se od sebe liší filtrační rychlosti, směrem průtoku filtrované vody, jsou rozlišovány filtry s gravitačním a tlakovým průtokem. Zároveň existuje velké množství materiálů, kterých může být použito na skladbu filtračního lože. Vhodnost určitého typu je nutno posoudit jak z hlediska látek, které mají být odstraňovány, tak z hlediska pořizovacích a provozních nákladů. [26]

Každý filtr poskytuje jiné možnosti a tím pádem je v praxi uplatňován v různé četnosti a místě použití. Například tlakové filtry jsou často využívány u plaveckých bazénů nebo v průmyslu. Ukázaly se být vhodnými i pro použití na malých úpravkách vody. Na větších úpravkách se zpravidla jedná o filtry s gravitačním průtokem, zejména rychlofiltry. [26]

### 2.2.1 Rychlofiltry

Nejčastěji uplatňovaným způsobem ve vodárenství je rychlá filtrace. Tato varianta využívá v rámci předúpravy koagulaci. Umožňuje vytvoření lépe separovatelných částic velikosti až 10 mm, které je možno filtrovat při vyšších rychlostech, jež se pohybují okolo 3,6 až 7,2 m·h<sup>-1</sup>. [1] V některých vodárensky rozvinutých zemích lze na úpravkách vody běžně nalézt filtry s filtrační rychlostí 12 m·h<sup>-1</sup>. [3] Zvyšuje se tak výkon filtru a snižují se požadavky na zastavěnou plochu. [1]

#### *Filtrační materiál*

Filtrační lože je nejčastěji tvořeno vrstvou křemičitého písku se zrnitostí od 1 do 2 mm. Jeho vlastnosti musí splňovat 2 základní požadavky. Prvním z nich je dostatečná odolnost proti otěru, která je velmi důležitá při praní, druhým požadavkem je chemická stálost. [1] Jedná se o dobře dostupný tradiční materiál, který je příznivý, co se pořizovacích nákladů týče, navíc vykazuje velmi dobré výsledky. [26]

V současnosti jsou k dispozici materiály různých druhů a původů. Vedle ryze přírodních jsou další skupinou materiály vzniklé z přírodních materiálů po vhodné úpravě. Jedná se o materiály získané termickou úpravou jílu, drcený čedič či pemzu. Mohou však být využity i umělé materiály – plasty, sklo, keramika. [1] Návrh materiálu a konkrétních parametrů filtračního lože by měl být proveden s ohledem na vlastnosti upravované vody.

V souvislosti s výskytem některých specifických látek je vhodné zařadit jako filtrační materiál granulované aktivní uhlí (dále jen GAU). To lze provést tak, že bude separační stupeň tvořen vícevrstevným filtrem, jehož jednou vrstvou bude GAU, nebo lze zařadit filtry s GAU jako další samostatný separační stupeň. GAU umožňuje odstranit různé organické látky včetně pesticidů a mikrocystin nebo vedlejší produkty dezinfekce, zlepšuje také organoleptické vlastnosti. Jde o vysoce porézní materiál, který má velmi dobré sorpční vlastnosti. [1] Ty musí být obnovovány pomocí regenerace, během níž GAU projde termickou desorpčí. Takto lze z použitého aktivního uhlí odstranit širokou škálu nasorbovaných látek a částečně obnovit původní pórovitou strukturu materiálu. [4] GAU je používáno např. na úpravě vody v Hrobicích, kde jsou již od 90. let umístěny 3 tlakové filtry s GAU. Jejich

úkolem je odstranění zbytkového ozonu a biologického znečištění z upravované vody. [26] Otevřené GAU filtry byly v rámci rekonstrukce probíhající v roce 2010 vybudovány i na úpravně vody ve Znojmě, kde mají za úkol zlepšit organoleptické vlastnosti vody a zároveň slouží jako pojistka v případě nárazového zhoršení kvality vody. [5]

### ***Scezovací systémy***

Scezovací systém se nachází pod filtrační náplní. Jeho úkolem je sběr filtrátu a jeho odvod do akumulace, aniž by docházelo k vyplavování náplně směrem do odtoku. Dále je to pak rovnoměrné dodání pracovního média. [1]

Starší skupinou jsou scezovací systémy s mezidnem. Ty jsou tvořeny mezidny s hlavicemi upravenými tak, aby písek nemohl společně s filtrátem pronikat skrz scezovací systém. Hlavice mohou být ukotveny do dna nádrže šrouby nebo mohou být podpírány pilířky. Hlavice se vyrábějí z umělých hmot a jejich nedílnou součástí je vrchní část opatřená svislými nebo vodorovnými štěrbinami širokých několik desetin mm, aby skrz ně nemohla procházet zrna písku. Další důležitou částí je prodlužovací nástavec, na jehož konci je štěrbina, která zajišťuje průtok filtrátu a pracovní vody. [2]

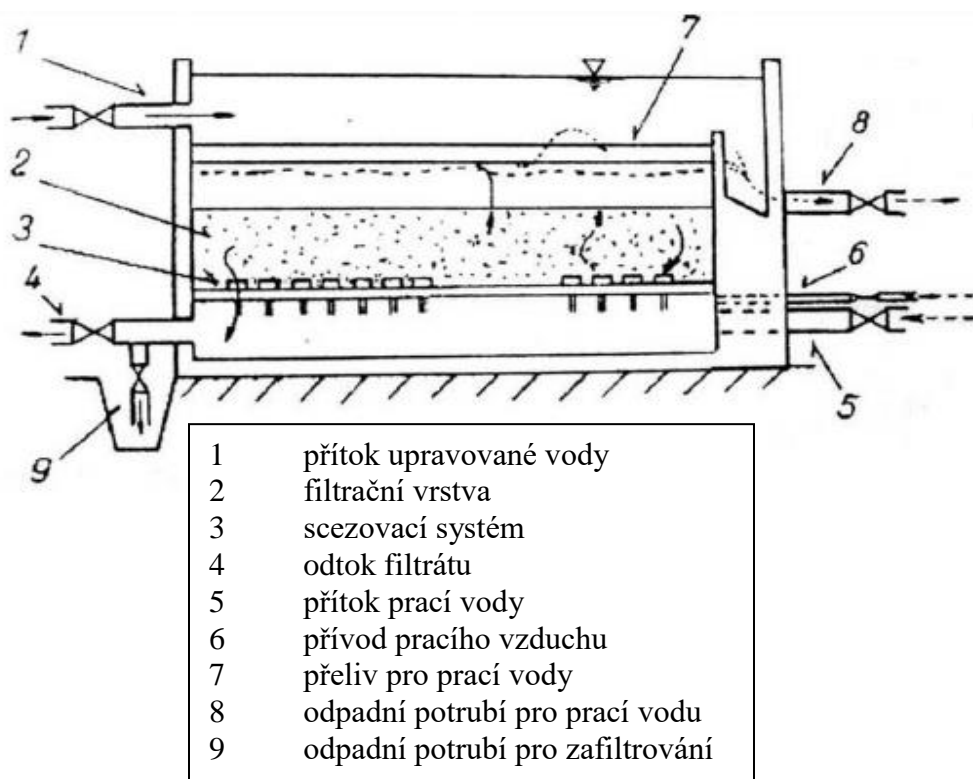
Novější skupinou jsou scezovací systémy bez mezidna. Mají nižší konstrukční výšku, umožňují zvýšení filtrační náplně, případně i použití dvouvrstvého filtru, a tím zlepšit efektivitu filtrace. V řadě testů bylo také potvrzeno, že tyto systémy jsou vhodnější z hlediska praní, jelikož mají oproti systému s mezidnem více otvorů, kterými může pracovní voda a vzduch procházet. [7] Jedním z možných provedení je systém s centrálním rozvodem, po jehož stranách vedou perforované sběrné trouby. Vhodnou alternativou mohou být perforované dnové tvárnice. Jedná se o perforované bloky, v jejichž vnitřku jsou kanálky určené pro sběr a rozvod vody. Patří mezi hojně používané způsoby scezování. Na českém trhu je dostupný například systém amerického původu Leopold či Triton. [1]

### ***Princip rychlofiltru***

Jak naznačuje Obr. 2.4, upravovaná voda přitéká potrubím nebo žlabem v horní části filtru. Vždy je snaha o to, aby upravovaná voda natékala na celou plochu filtru a tím bylo umožněno jeho rovnoměrné zatížení. Poté protéká filtrační vrstvou, která svým složením odpovídá druhu a množství znečištění, které je třeba odstranit. Dále se dostává skrze scezovací systém do odtokového potrubí pro filtrát a později do akumulární nádrže. [2]

Odstraňované znečištění nezůstává pouze na povrchu filtračního lože, ale jeho značná část se dostává i hlouběji. Proto je pro správný provoz rychlofiltru nezbytné praní. Během něj je pracovní voda dodávána potrubím v dolní části. Přes scezovací systém se dostává voda přes filtrační lože nahoru. To způsobuje expanzi vody i filtračního materiálu. Aby bylo možno odstranit nečistoty, je pracovní voda odváděna přepadem do odtokového žlabu a do odpadu. V neposlední řadě je nutné, aby byl filtr opatřen potrubím, které umožní odtok filtrátu do odpadu během zafiltrování. [2]

Existují dva základní typy rychlofiltrů. Prvním z nich je americký, během jehož praní je použito pouze praní vodou. Druhým z nich je evropský, pro jehož praní je využito jak vody, tak vzduchu. Proto je pro případ evropského filtru nutné umístit do konstrukce filtru i potrubí pro přívod pracího vzduchu. [2]



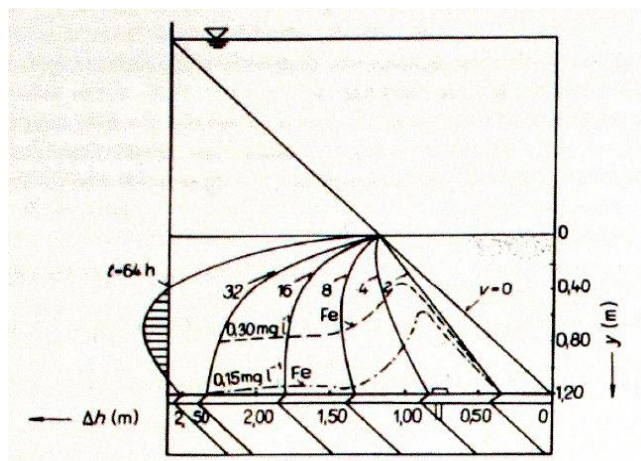
Obr. 2.4 Vybavení filtru evropského typu [2]

### **Praní rychlofiltru**

Během filtrace dochází k postupnému ucpávání dutin mezi zrna filtru, ke kterému dochází nejdříve na povrchu filtračního lože, v průběhu filtračního cyklu i v hlubších vrstvách. Tento jev je nazýván kolmatace filtru. Tím se snižuje jeho výkon a v konečném důsledku by mohlo dojít i k jeho proražení. Proto je praní nedílnou součástí filtračního cyklu každého rychlofiltru. Díky němu dochází k odstranění nečistot z filtrační náplně, tzv. regeneraci, a tím je umožněno její opětovné použití. [1]

Správný chod filtru charakterizují některé ukazatele. Překročení alespoň jednoho z nich znamená ve správně řízeném provozu okamžité zahájení praní. [1]

Jedná se především o nárůst tlakové ztráty. Ta je charakterizována jako výška vodního sloupce potřebná pro překonání odporu vrstvy náplně, drenážní soustavy, regulačního uzávěru a ztrát při proudění potrubím. Její mezní hodnota je obvykle udávána u otevřených filtrů jako 2,5 m v. sl., u tlakových je to 5 m v. sl. Nejvyšších tlakových ztrát je dosahováno několik centimetrů pod povrchem filtrační náplně. Pokud by ve filtru nastal takový průběh ztrát, který je na Obr. 2.5 naznačen šrafovou, hrozilo by již zmíněné proražení. To vzniká v důsledku toho, že zatímco přitékající voda nemůže prosakovat filtrem kvůli příliš vysoké tlakové ztrátě vzniklé kolmatací filtru, ze spodních vrstev voda stále odtéká. Uvnitř filtru tedy vzniká podtlak, který vede ke vzniku trhlin. Těmi sice voda proudit může, nicméně není prakticky filtrována a její kvalita neodpovídá požadavkům. Proto je nezbytné se této situaci vyvarovat. [1]

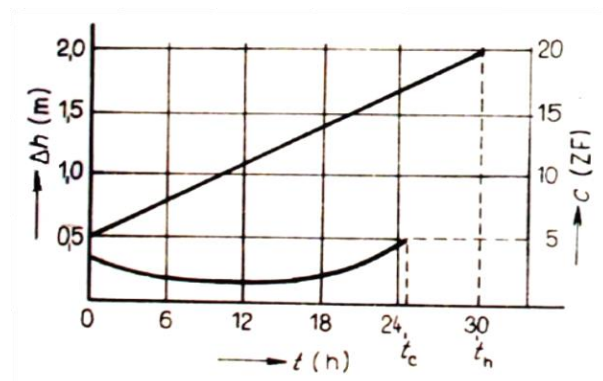


Obr. 2.5 Průběh tlakové ztráty u rychlofiltru [6]

Druhým velmi důležitým parametrem je zákal. Je přirozené, že během filtračního cyklu se kalová kapacita filtru snižuje. V určitém okamžiku může být ale i překročena limitní hodnota zákalu ve filtrátu. Proto je nutný monitoring, který umožní tomuto stavu předcházet, protože při vyšším zákalu je možné, že budou do filtrátu pronikat mikroorganismy. [1]

Dále je kladen důraz na snahu o to, aby na filtru nastala maximální ztrátová výška po stejně dlouhé době, jako za kterou je dosaženo limitní hodnoty zákalu ve filtrované vodě. Příklad, jak může průběh těchto dvou parametrů vypadat, charakterizuje Graf 2.1. [2] Z grafu je zároveň patrné, že ztrátová výška roste lineárně, zatímco zákal je na začátku filtrační doby vyšší než v jeho pozdějším průběhu. Je to způsobeno nezpracovanou vrstvou, která podává nejlepší výkon až po delší době cyklu. Pro dosažení obou limitních parametrů ve stejnou dobu je třeba brát v potaz výšku náplně, zrnitost, rychlost a druh suspenze. [6]

Posledním parametrem je překročení teoreticky přípustné doby filtračního cyklu.



Graf 2.1 Porovnání průběhu tlakové ztráty a zákalu na výtoku [6]

Pro praní se používá vždy upravená voda, která může pocházet ze sítě nebo zásobního vodojemu. Aby bylo filtrační lože řádně vyčištěno, je třeba ho rozrušit tak, aby se o sebe jednotlivá zrna vzájemně třela a tím se zbavovala povlaku z nečistot. To je zajištěno expanzí materiálu o 20 až 30 %, která vzniká prouděním tlakové vody filtrem. Použitá prací voda přepadá společně s vyplavenými nečistotami do sběrného žlabu, odkud odtéká do odpadu nebo do úseku kalového hospodářství umístěného na úpravě vody. [1]

Průběh praní filtru se liší podle jeho typu, tedy zda jde o evropský či americký filtr. Existují obecné postupy pro to, jak má praní probíhat. Ve skutečnosti závisí přesné doby praní a intenzity pracích médií na tom, jak vysoké je množství kalu a také na jeho struktuře. Praní je proto vhodné poloprovozně odzkoušet. Návrh praní je správný, pokud jeho účinnost dosahuje 80 až 90 %. [2]

Před tím, než je vypraný filtr schopen produkovat filtrát požadovaných kvalit, probíhá fáze tzv. zafiltrování. Tato fáze je zařazena do cyklu proto, že na začátku filtračního cyklu jsou ještě stále protékající vodou odplavovány nečistoty, které byly sice během praní rozrušeny, nikoli však vyplaveny a odvedeny pryč z filtru. Navíc není filtrační náplň dokonale usedlá. Proto je nezbytné po určité době vypouštět filtrát do odpadu, dokud se parametry filtrátu nezlepší na požadovanou úroveň. Obvykle se jedná o dobu v řádu několika minut. [1]

### ***Praní filtru evropského typu***

Tento druh filtru je na našich úpravárnách používán nejčastěji. Pro jeho praní je používána jak voda, tak vzduch. Praní probíhá ve třech fázích. [2].

První fází je praní tlakovým vzduchem o vysoké intenzitě. Vzduch je vháněn scezovacím systémem umístěným pod filtrační náplň. Vlivem jeho proudění v náplni dochází k mechanickému otěru zrn písku. Ve druhé fázi nastává praní vzduchem i vodou. Intenzita vzduchu je snížena a přidává se tlaková voda způsobující expanzi náplně. V poslední dopírací fázi je přívod vzduchu uzavřen a probíhá praní pouze vodou s vyšší intenzitou. [2]

Účinnost praní filtru je nejvyšší během druhé fáze praní.

### ***Prací voda***

Prací voda vzniká ze samotného procesu praní a z následného zafiltrování. Ve správně fungující úpravně jsou veškeré nečistoty, které přetrvávají ve vodě po předchozích separačních stupních, odstraněny ve filtrech. Z filtračního lože jsou tyto nečistoty odstraněny při praní, což má za následek, že v prací vodě je značně zvýšený obsah nečistot. [10]

Optimalizace procesu praní je v současnosti jeden z hlavních důvodů, proč jsou úpravny vod rekonstruovány. Je běžné, že objem prací vody se průběžně mírně liší, neboť se mění i vlastnosti upravované vody a s tím spojená potřeba frekvence praní, ale analýzami různých provozů bylo zjištěno, že průměrné množství prací vody by nemělo překročit 4 % filtrované vody. V takovém případě je provoz hospodárný. [1]

Množství prací vody je závislé na prací intenzitě a na délce jednotlivých fází praní. Volbou správné prací intenzity lze výrazně ovlivnit náklady, které jsou s praním spojené. Cílem by tedy mělo být maximalizování efektivity praní. Toho lze docílit, pokud bude brán zřetel na typ provozu. Různé druhy náplně potřebují odlišné intenzity praní, stejně tak je to se znečištěním. [26]

Prací voda je odpadním produktem úpravárenského procesu stejně tak jako zbytky chemikálií, kaly z oplachů, z odstraňování vápníku a hořčíku, z mechanického předčištění, z číření atd. [2]

V minulosti bylo celkem běžné, že celý objem prací vody byl vypuštěn do kanalizace, jednalo se totiž o nejjednodušší a nejlevnější způsob, jak z provozu prací vodu odstranit. To se postupně mění vzhledem ke skutečnosti, že poplatky za vypouštění vody do kanalizace se postupně zvyšují, stejně jako poplatky za odběr ať už povrchové či podzemní vody určené k úpravě na vodu pitnou. V souvislosti s tím nastává snaha o vracení prací vody zpět k úpravě. To se nejčastěji děje pomocí jedno nebo více stupňového usazování v rámci kalového hospodářství, kde nečistoty obsažené v prací vodě postupně sedimentují, a odsazená voda je přimíchána do surové vody na začátek procesu úpravy vody. Tím je docíleno, že

značná část prací vody je vrácena k úpravě a že odsazený kal obsahuje ve svém objemu asi 1 % nečistot. [10]

Kal se dále zpracovává zahušťováním sedimentací v zahušťovacích nádržích nebo odvodňováním na kalových polích, v kalolisech, v pásových lisech nebo v odstředivkách. Kaly jsou následně nejčastěji ukládány na skládky. [2]

### ***Vliv recirkulace prací vody na proces koagulace a sedimentace***

V roce 2008 byl zpracovateli z Dalhousie University vydán článek o vlivu recirkulace prací vody na odstranění organického znečištění při koagulačním a sedimentačním procesu. Během výzkumu, o kterém článek pojednává, byly pozorovány výsledky jakosti vybraných ukazatelů vody na dvou úpravárnách v Kanadě. Obě upravují povrchovou vodu, jednalo se o úpravnu vody ve Windsoru a v Hantsportu. [9]

Surová voda ve Windsoru je charakterizována střední hodnotou celkového organického uhlíku (TOC), rozpuštěného organického uhlíku (DOC) a barvy, nízkým zákalem a mírně zvýšenou koncentrací hliníku. Úpravárenská technologie využívá procesu koagulace a dávkování koagulantu síranu hlinitého, v provozu se nachází statorový míchač pro rychlé míchání, nádrž s vertikálním pádlovým míchačem, flotační zařízení a filtr se dvěma vrstvami filtračního lože – s antracitem a pískem. Filtry jsou prány jednou za 2 až 4 dny, prací voda je dále dočasně umístěna v odkalovacích lagunách. Po zpracování v kalovém hospodářství je odsazená prací voda charakterizována vysokým zákalem, obsahem hliníku, TOC i barvou, ale nižší hodnotou DOC v porovnání se surovou vodou. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2.2. [9]

Jak vyplývá z Tab. 2.2., na hantsportské úpravně je upravovaná voda s nízkou hodnotou barvy, TOC i zákalu, v ostatních uvedených ukazatelích vykazuje voda průměrné hodnoty. K úpravě je využito přímé mikrofiltrace s membránami, přičemž k praní dochází zhruba každých 30 minut. Prací voda je zpracována obdobně jako u první zmíněné úpravny. Každých 6 měsíců je část membrán vyřazena z provozu a čištěna chemicky. [9]

**Tab. 2.2 Hodnoty vybraných ukazatelů surové a prací vody [9]**

	<i>Windsor</i>		<i>Hantsport</i>		
	<i>Surová voda</i>	<i>Prací voda</i>	<i>Surová voda</i>	<i>Prací voda</i>	
	<i>Průměrná hodnota</i>				<i>Jednotka</i>
<i>Zákal</i>	0,89	52,5	0,74	20,5	NTU
<i>Barva</i>	55	303	18	145	ACU
<i>TOC</i>	4,5	56,8	2,4	28,4	mg·l <sup>-1</sup>
<i>DOC</i>	4	3,3	2,2	12,9	mg·l <sup>-1</sup>
<i>Hliník</i>	0,05	1,52	0,02	0,06	mg·l <sup>-1</sup>
<i>Zeta potenciál</i>	-19,3	+0,4	-16,9	-24,6	mV

Pokus spočíval v koagulační zkoušce, po jejímž provedení byly vzorky testovány na vybrané ukazatele, přičemž zvýšená pozornost byla věnována zeta potenciálu, TOC a DOC. [9]

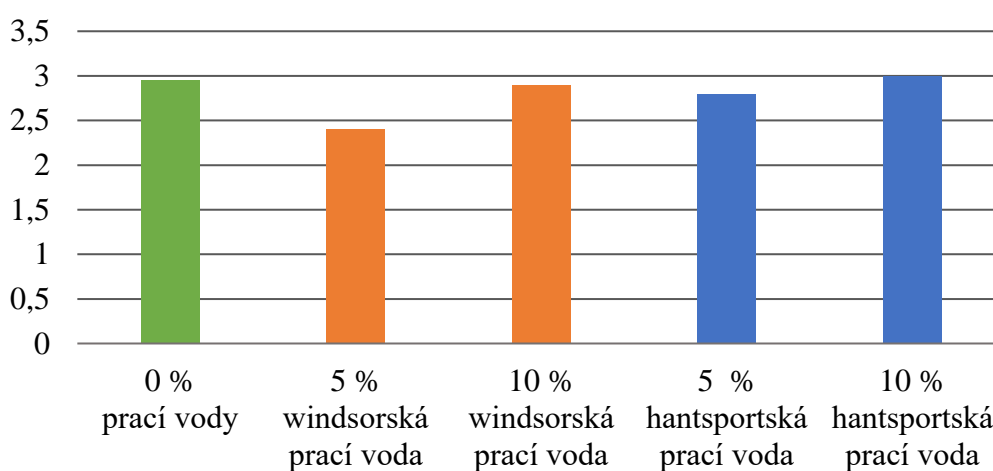
Během experimentu byla koagulačním zkouškám podrobena surová voda s 0, 5 nebo 10 % obsahem prací vody. Jako koagulant byl použit hydroxid hlinitý, jehož dávka byla stanovena pomocí koagulačních zkoušek provedených na surové windsorské i hantsportské

vodě na  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  s ohledem na hodnotu TOC, DOC a zeta potenciálu. Během první fáze byla míchána surová voda s prací vodou ze stejné úpravně, ve druhé fázi byly prací vody vzájemně vyměněny. [9]

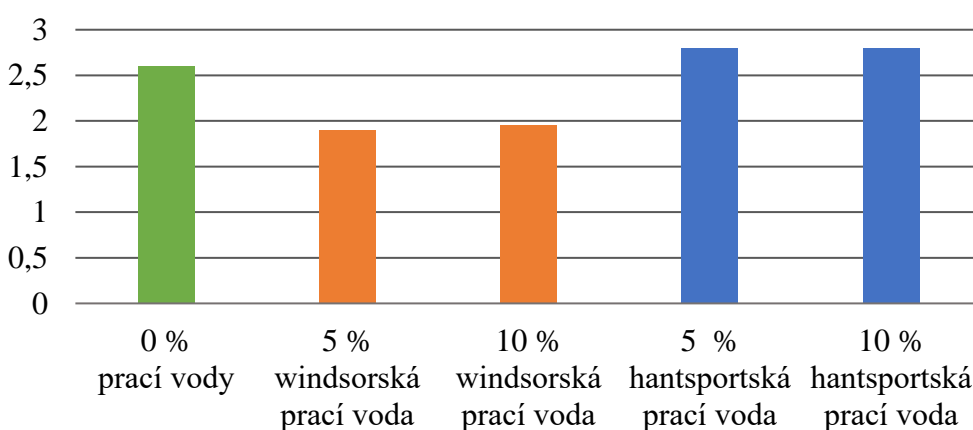
Před samotným experimentem byly na základě dostupných údajů spočítány předběžné hodnoty sledovaných ukazatelů pro použití surové windsorské vody. Z výpočtů vyplynulo, že vzhledem k parametrům surové a prací vody nedojde při přimíchání 10 % prací vody ke znatelné změně hodnot DOC, TOC nebo ke změně potřebného množství koagulantu.

Výsledky provedeného pokusu na windsorské vodě ukázaly, že hodnoty TOC (viz Graf 2.2) a DOC (viz Graf 2.3) nebyly negativně ovlivněny přimícháním prací vody, hodnoty byly dokonce ve většině případů nižší. [9]

Větší rozdíl byl v obsahu DOC. Vzorky s přidavkem windsorské prací vody vykazovaly hodnotu DOC o poznání nižší než pouze surová voda. Ve prospěch příznivějšího koagulačního a flokulačního procesu hrál fakt, že prací voda měla hodnotu zeta potenciálu blízkou nule, vyskytovaly se tedy v ní destabilizované částice, a ve směsné vodě došlo ke zvýšení zeta potenciálu, což vyplývá z Grafu 2.4. [9]

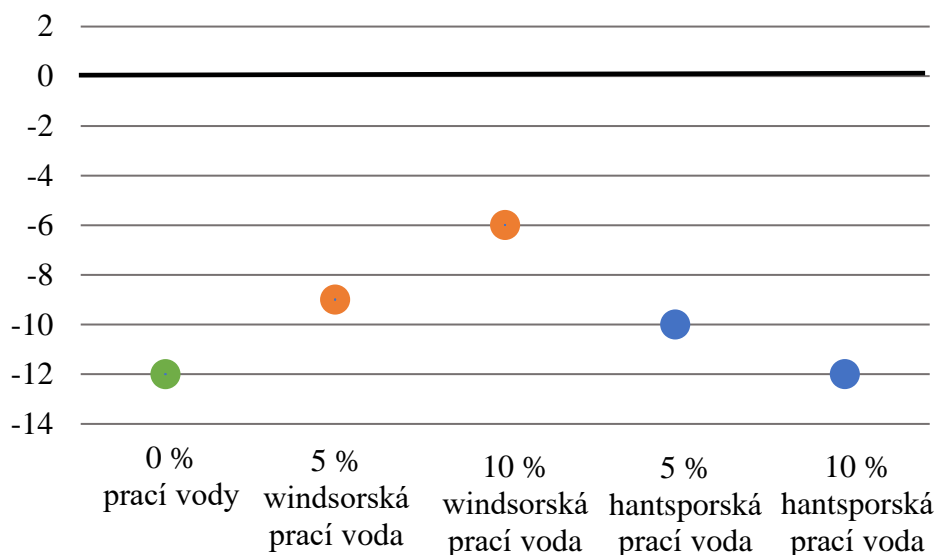


**Graf 2.2** Hodnoty TOC ve směsné vodě [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ] při rozdílném obsahu a původu prací vody za použití surové vody z Windsoru [9]



**Graf 2.3** Hodnoty DOC ve směsné vodě [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ] při rozdílném obsahu a původu prací vody za použití surové vody z Windsoru [9]

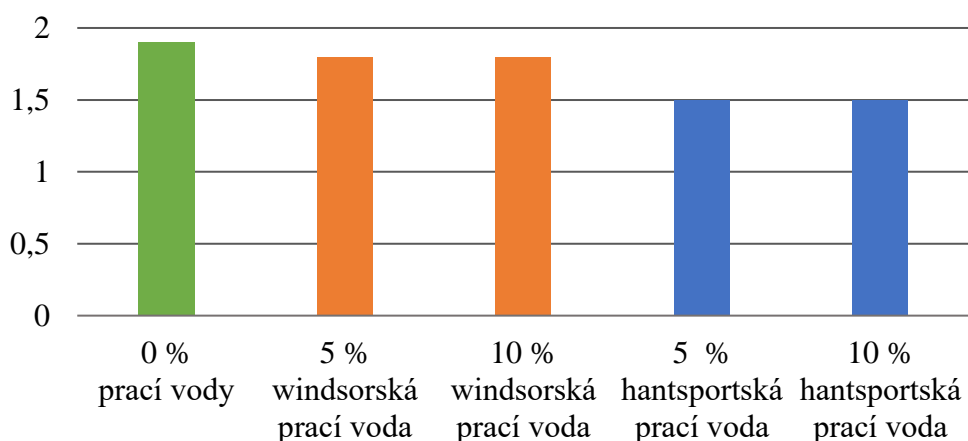




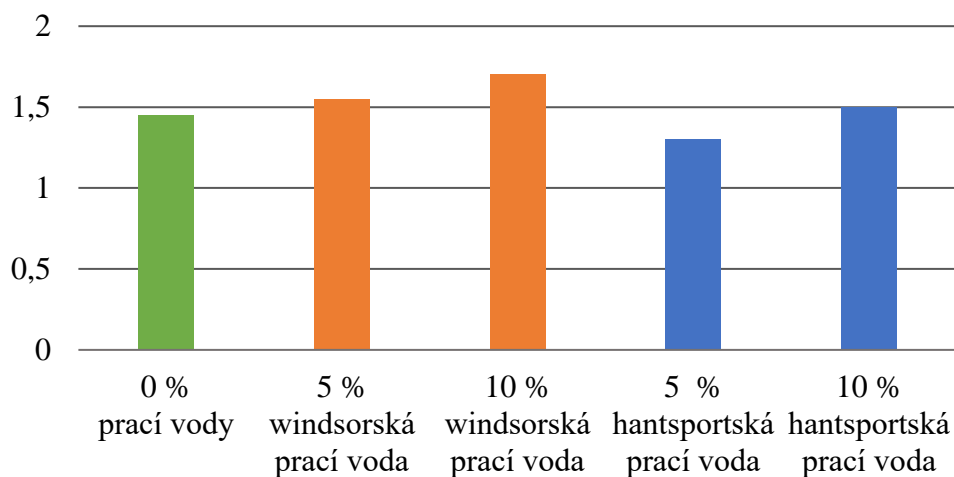
**Graf 2.4** Hodnoty zeta potenciálu ve směsné vodě [mV] při rozdílném obsahu a původu prací vody za použití surové vody z Windsoru [9]

V případě přimíchání prací vody z Hantsportu se dalo dle předběžných výpočtů předpokládat, že bude znatelně zvýšena hodnota DOC, čímž by došlo i k požadavku na zvýšení dávky koagulantu. Během experimentu se však hodnoty DOC a TOC ve směsné vodě příliš nezvýšily. [9]

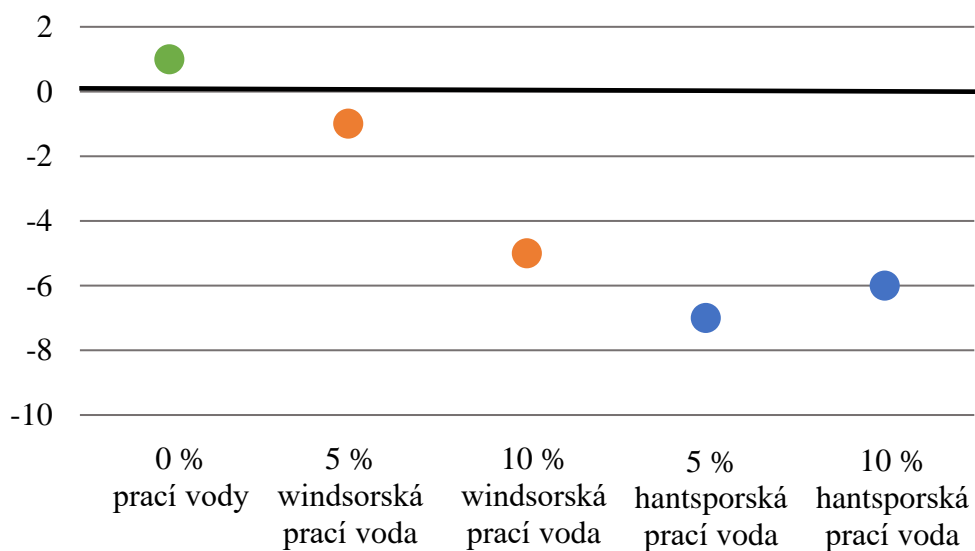
Stejný experiment byl proveden na hantsportské surové vodě. Ten však prokázal, že dávka koagulantu byla natolik přesně zvolena, že již surová odsazená voda po koagulační zkoušce vykazovala hodnotu zeta potenciálu velmi blízkou nule (viz Graf 2.7). Dávka jakéhokoliv množství a původu prací vody tak mohla výsledek koagulační zkoušky spíše zhoršit. V případě směsné vody s obsahem hantsportské prací vody došlo ke snížení zeta potenciálu směsné vody oproti vodě surové, k nepatrnému poklesu zeta potenciálu oproti surové vodě došlo i přidáním windsorské prací vody. To potvrzují i Graf 2.5 a Graf 2.6, z nichž vyplývá, že výsledné hodnoty TOC a DOC byly buď horší, nebo vykazovaly jen mírné zlepšení po přidání prací vody. [9]



**Graf 2.5** Hodnoty TOC ve směsné vodě [mg·l<sup>-1</sup>] při rozdílném obsahu a původu prací vody za použití surové vody z Hantsportu [9]



**Graf 2.6** Hodnoty DOC ve směsné vodě [mg·l<sup>-1</sup>] při rozdílném obsahu a původu prací vody za použití surové vody z Hantsportu [9]



**Graf 2.7** Hodnoty zeta potenciálu ve směsné vodě [mV] při rozdílném obsahu a původu prací vody za použití surové vody z Hantsportu [9]

Tyto výsledky podporují teorii, že za úspěšností koagulace a flokulace stojí jak fyzikální, tak chemické mechanismy. Jednou z příčin je pravděpodobně skutečnost, že v prací vodě je vyšší obsah znečišťujících částic, v důsledku toho dochází k jejich častějšímu kontaktu, což vede ke snazšímu tvoření a sedimentaci vzniklých vloček než jen ve vodě surové. Vracení prací vody před koagulací a flokulací může na úpravárnách vody, jež upravují vodu s nízkým zákalem, napodobovat situaci, kdy je do vody dávkováno více koagulantu. Podmínkou úspěšnosti je však přítomnost destabilizovaných částic se zeta potenciálem co nejbližším nule, které zvýší intenzitu koagulace a flokulace. [9]

## 2.3 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

V úseku kalového hospodářství je zpracovávána kalová voda, která vzniká během úpravárenského procesu. Kalová voda může pocházet z mechanického předčištění, z usazovacích nádrží a čističů, z praní filtrů, z procesu odželezování, odmanganování a dekarbonizace nebo například z oplachů. Kromě látek přirozeně se vyskytujících v surové vodě obsahují kaly z úpraven, kde jsou využívány koagulační procesy, i hydroxidy vzniklé z koagulantů, nejčastěji z železitých a hlinitých solí. Přesné složení a množství kalové vody a kalů tedy závisí na vlastnostech surové vody a na použitých procesech na úpravě vody. Nejobjemnější jsou zpravidla kaly z úpraven využívající již zmíněnou koagulaci. [37]

Vodárenské kaly se zpracovávají na úpravárnách v úseku kalového hospodářství. Jelikož obsahují až 99 % vody, jedním z hlavních cílů při jejich zpracování je snížení množství vody a minimalizace objemu zpracovaného kalu. Toho lze docílit zahušťováním nebo odvodněním. K zahušťování vodárenských kalů se využívá především sedimentace v zahušťovacích nádržích. Zahuštěný kal se usazuje u dna nádrže, odkud je odebírán k následnému zpracování v odvodňovacím zařízení. Zařazením zahušťovacích nádrží je dosaženo snížení objemu kalů, což vede k menšímu požadavku na kapacitu odvodňovacích zařízení. Odsazenou vodu lze vrátit zpět do procesu úpravy nebo vypustit do kanalizace či vodoteče. Odvodnění kalů probíhá buď gravitačně na kalových polích nebo strojně pomocí kalolisů, odstředivek nebo pásových lisů, přičemž z důvodu komplikovanosti provozu kalových polí jsou v současnosti více využívány a navrhovány strojní odvodňovací zařízení. Odvodněním zahuštěného kalu se získává kal rypatelné konzistence. [36]

Při využití kalolisu (viz. Obr. 2.6) je kal pod tlakem dopravován do filtračního prostoru kalolisu, kde je hydraulicky stlačován mezi jeho deskami. Pevný podíl je zachycen na plachetkách v podobě filtračního koláče a voda odtéká drenážními kanálky. Kalolisy mají při odvodňování kalů největší účinnost. [2]



Obr. 2.6 Kalolis (foto: Zdeněk Antoš)

Pásové lisy jsou zařízení pro kontinuální odvodnění kalů pomocí dvou porézních nekonečných pásů. Filtrační plocha je tvořena paralelními sítí, která jsou vedena přes řadu válců. Kal natéká na síťový pás, působením tíže se procedí voda a na sítu se vytváří filtrační koláč. Dalším pohybem pásu se dostává filtrační koláč mezi dvě síta a je jimi mechanicky stlačován. Po vytěsnění volné vody přechází filtrační koláč, sevřený mezi dvěma sítí, přes řadu paralelních válců. Zde je přehybem vrstvy a tlakem sítí uvolňována další voda z koláče a je dosaženo maximálního odvodnění kalu. [38]

## 2.4 OZONIZACE

Ozonizace může být na úpravě vody využita za účelem dezinfekce upravované vody nebo oxidace látek v ní obsažených, jako jsou sloučeniny manganu nebo železa. Ozon může být získáván buď přímo ze vzduchu, nebo z kyslíku. Koncentrace ozonu a kontaktní doba se liší individuálně v závislosti na účelu ozonizace a na vlastnostech upravované vody. Obecně lze říci, že doba zdržení se pohybuje od 4 do 12 minut, přičemž v případě vysokých koncentrací mikropolutantů ve vodě může být zapotřebí dávkovat až  $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  ozonu. [39]

Výhodou využití ozonizace je vysoká oxidační a desinfekční účinnost, nicméně se jedná o proces s vyššími provozními náklady a při použití ozonu jako desinfekčního činidla vzniká riziko sekundární kontaminace upravené vody. „Ozonizace se velmi často navrhuje pro oxidaci surové vody, oxidaci za prvním separačním stupněm, případně před filtry se zrněným aktivním uhlím pro zvýšení efektu eliminace organických látek a organismů z vody.“ [6]

### 3 JAKOST SUROVÉ VODY K ÚPRAVĚ NA VODU PITNOU

Jakost surové vody ovlivňuje upravitelnost vody i složení úpravárenské technologie. Proto na jedné straně spektra stojí úpravny bez separačního stupně, které zajišťují pouze hygienické zabezpečení vody, a na druhé straně jsou vícestupňové úpravny, jejichž technologie kombinují různá separační zařízení, jako jsou sedimentační nádrže, filtry, flotační zařízení nebo čističe.

Odlišnosti v jakosti surové vody způsobuje především její původ, tedy jestli se jedná o vodu povrchovou nebo vodu podzemní.

#### 3.1 PODZEMNÍ VODA

„Podzemní vodou se rozumí voda přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení, která je v přímém styku s horninami. Zdroje podzemních vod jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou.“ [16]

Voda z podzemních zdrojů může být stojatého nebo proudícího původu. Vlastnosti surové podzemní vody jsou poměrně stálé, závisí především na prostředí, ve kterém se voda vyskytuje. Na rozdíl od povrchových vod mají vyšší koncentraci oxidu uhličitého a nízký obsah organických látek. Podzemní vody jsou charakteristické zvýšenou koncentrací železa a manganu, případně vápníku, hořčíku, radonu a jiných prvků. Hodnota pH podzemních vod se pohybuje od 5,5 do 7,5. [2]

#### 3.2 POVRCHOVÁ VODA

Voda povrchová může být stojatá nebo tekoucí. „Složení povrchových vod je ovlivněno

- geologickou skladbou podloží a složením dnových sedimentů;
- hydro-klimatickými poměry;
- půdně-botanickými poměry;
- antropogenní činností;
- přítomností podzemních vod.“ [16]

Z toho vyplývá, že vlastnosti takové vody se mění v průběhu roku v závislosti na počasí a vegetačním období. S tím souvisí to, že obvykle obsahují vyšší koncentrace organických látek, rozpuštěného kyslíku a nižší koncentrace oxidu uhličitého. V případě vody z nádrží dále dochází ke stratifikaci kvality vody, proto je obvykle pro jímání vody využito více odběrných míst v různých hloubkách, přičemž se voda odebírá tam, kde se aktuálně vyskytuje voda s nejpříznivějšími vlastnostmi.

Hodnoty pH u povrchových vod se obvykle pohybují od 6 do 8,5. Výjimku tvoří rašeliništní vody, jejichž pH může být výrazně nižší, naopak eutrofizované vody vykazují pH obvykle vyšší. [2]

#### 3.3 POSUZOVÁNÍ JAKOSTI SUROVÉ VODY

Pro ukazatele jakosti surové vody jsou uvedeny zpravidla tři mezní hodnoty, které surovou vodu zařadí do kategorie upravitelnosti A1, A2, A3 nebo vodu definují jako neupravitelnou.

Z toho plyne, že „voda odebraná z povrchových vodních zdrojů nebo z podzemních vodních zdrojů pro účely úpravy na vodu pitnou (dále jen "surová voda") musí splňovat v

místě odběru před její vlastní úpravou požadavky na její jakost ve vazbě na použité standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou.“ [14]

Část přílohy 13 Vyhlášky 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), kde je seznam sledovaných ukazatelů a jejich mezní hodnoty pro surovou povrchovou vodu, je uveden v Příloze 2 této práce.

Ve výše uvedené vyhlášce je popsán i způsob zařazení surové vody do kategorie upravitelnosti. Princip spočívá v tom, že „každý ukazatel je svými výsledky zařazen do vlastní kategorie. Výsledná kategorie je určena podle nejhorší kategorie jednotlivého ukazatele. Pro potřebu určení typu úpravy a technologického zařízení úpraven vod, kdy vzhledem k většímu kolísání jakosti surové vody nelze v průběhu roku zdroj zařadit jednoznačně do jedné kategorie, může provozovatel určit průměrný index upravitelnosti ( $I_{u,p}$ ) vybraných ukazatelů.“ [15] Podrobněji je postup popsán v Příloze 3 této práce.

### 3.3.1 Kategorie upravitelnosti

Návrhové technologie pro kategorie upravitelnosti pak jsou stanoveny takto:

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 plynných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.“ [15]

A2 - „Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtrace, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltrace, pomalou biologickou filtrace, úpravu v horninovém prostředí, a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.“ [15]

A3 - „Úprava surové vody vyžaduje dvou či vícestupňovou úpravu čířením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinaci. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.“ [15]

Vyšší koncentrace, než jsou uvedeny pro kategorii A3 - „Podle § 13 odst. 2 zákona č. 274/2001 Sb., lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.“ [15]

„Stejně jako u povrchových vod jsou i u podzemních vod formulovány požadavky na hodnoty ukazatelů jakosti surové vody pro její úpravu na vodu pitnou. Hodnoty vybraných ukazatelů jakosti jsou obdobné jako u povrchových vod s výjimkou pro kategorii A3, kde jsou mezní hodnoty některých ukazatelů stanoveny odlišně. Jedná se například o železo, mangan a sulfan.“ [16]

## 3.4 POSUZOVÁNÍ JAKOSTI PITNÉ VODY

Pro posuzování jakosti pitné vody byly stanoveny ukazatele a jejich mezní hodnoty. „Mezní hodnota (MH) je taková hodnota, při jejímž překročení ztrácí voda vyhovující jakost v ukazateli, jehož hodnota byla překročena.“ [2] Mezní hodnoty byly stanoveny jak pro

surovou vodu, tak pro vodu pitnou. „Pokud je v pitné vodě vyšší koncentrace než MH, neznamená to akutní zdravotní riziko, ale je nutné přijmout příslušná opatření ze strany dodavatele tak, aby hodnota daného ukazatele opět vyhověla. Většina MH je stanovena jako maximum, ale například u vápníku se jedná o minimum.“ [2] U některých ukazatelů je stanovena nejvyšší mezní hodnota (dále NMH), přičemž dosažením této hodnoty již voda není pitná.

## **3.5 VYBRANÉ UKAZATELE JAKOSTI SUROVÉ A PITNÉ VODY**

### **3.5.1 Zákaly**

#### ***Charakteristika***

„Zákaly – snížení průhlednosti kapaliny způsobené přítomnými nerozpuštěnými látkami.“ [13]

„Čirotost vody je jedním ze základních požadavků na jakost pitné a užitkové vody, neboť i když je zákaly způsoben zdravotně nezávadnými látkami, dává vodě nežádoucí vzhled. Zákaly je způsoben anorganickými nebo organickými látkami přirozeného nebo antropogenního původu. Podzemní vody bývají zakalené jen zřídka, zatímco vody povrchové bývají velmi často zakalené splachem půdních vrstev, planktonem nebo zvířenými dnovými sedimenty.“ [16]

„Zákaly je významnou veličinou při posuzování účinnosti procesů úpravy vody a jedním z kritérií pro odhad dávky koagulačního činidla.“ [16]

„Zákaly se vyjadřuje v empirických, a to buď turbidimetrických formazinových jednotkách ZF(t), nebo v nefelometrických formazinových jednotkách ZF(n), které jsou bezrozměrné.“ [16]

#### ***Legislativní požadavky***

Požadavky na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou nejsou stanoveny. Pro pitnou vodu platí mezní hodnota zákalu 5 ZF(n). [17]

#### ***Stanovení zákalu nefelometricky***

##### ***Podstata***

„Nefelometrické měření zákalu je založené na detekci rozptýleného světla suspendovanými částicemi v tekutině. Výsledek měření je závislý na tom, pod jakým úhlem či v jakém souboru úhlů ze směru primárního světla se rozptýl sleduje. Výsledek se vztahuje na zákal suspenze formazinu měřený za stejných podmínek.“ [18]

##### ***Postup***

Zákaly se měří v turbidimetru. Příslušná kyveta se naplní reprezentativním vzorkem k rýsce a uzavře se uzávěrem. Poté se kyveta osuší, kápne se na ni kapka silikonového oleje a rozetře se do tenkého filmu. Při měření se kyveta vloží do kyvetového prostoru zařízení. Zákaly se měří postupem uvedeným v uživatelském návodu turbidimetru. Výsledky se vyjadřují v nefelometrických formazinových jednotkách ZF(n). [18]

## 3.5.2 Barva

### *Charakteristika*

„Barva – optická vlastnost vyvolávající změnu spektrálního složení procházejícího viditelného světla.“ [19]

„Barva vody může být buď přirozeného, nebo antropogenního původu. Barva přírodních vod je způsobena především huminovými látkami, které vodu zbarvují žlutě až žlutohnědě. Kromě rozpuštěných látek mohou vodu zbarvovat i látky nerozpuštěné. Proto se rozlišuje skutečná barva vody od barvy zdánlivé. Například zelená až zelenomodrá barva silně eutrofizovaných vod je zdánlivá, neboť je způsobena přítomností sinic a řas, které lze odstranit filtrací. Dalším zdrojem zbarvení mohou být odpadní vody různého původu a charakteru.“ [16]

Barva vody se nejjednodušeji stanovuje vizuálně, objektivně se skutečná barva určuje spektrofotometricky. Pro rozlišení skutečného zbarvení od zdánlivého se vzorek vody filtruje membránovým filtrem. [16]

Výsledky se vyjadřují v mg platiny v jednom litru -  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt. Intenzita barvy přírodních vod se pohybuje od několika jednotek až do několika set  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt. [16]

### *Legislativní požadavky*

Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud barva vody dosahuje maximálně  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt;
- kategorie A2, pokud barva vody dosahuje maximálně  $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt;
- kategorie A3, pokud barva vody dosahuje maximálně  $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt. [15]

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota barvy  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt. [17]

### *Stanovení barvy spektrofotometricky*

#### *Podstata*

„Zbarvení vzorku vody se charakterizuje měřením světelného útlumu (absorpce světla). Různé vlivy vykazují maximum absorpce při různých vlnových délkách dopadajícího záření.“ [19]

„Intenzita žlutohnědé zbarvení vody se stanoví měřením absorpčního koeficientu při vlnové délce 410 nm. Porovnáním se specifickým absorpčním koeficientem definovaného kalibračního roztoku hexachloroplatičitanu draselného a chloridu kobaltnatého při stejné vlnové délce umožňuje stanovení barvy v  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt.“ [19]

#### *Postup*

Barva se měří ve skleněných kyvetách ve spektrofotometru. Postupuje se podle uživatelského manuálu. Výsledky se vyjadřují v  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt.



### 3.5.3 Chemická spotřeba kyslíku

#### *Charakteristika*

Chemická spotřeba kyslíku (dále CHSK) se určuje dichromanem – CHSK<sub>Cr</sub>, nebo manganistanem draselným – CHSK<sub>Mn</sub>, a je využívána k detekci množství organických látek ve vodě. To se posuzuje podle množství oxidačního činidla, které se za daných podmínek spotřebuje na jejich oxidaci. Výsledky se přepočítávají na kyslíkové ekvivalenty a udávají se v mg·l<sup>-1</sup>. [16]

#### *Legislativní požadavky*

Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud CHSK<sub>Mn</sub> je maximálně 3 mg·l<sup>-1</sup> Pt;
- kategorie A2, pokud CHSK<sub>Mn</sub> je maximálně 10 mg·l<sup>-1</sup> Pt;
- kategorie A3, pokud CHSK<sub>Mn</sub> je maximálně 15 mg·l<sup>-1</sup> Pt. [15]

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota pro CHSK<sub>Mn</sub> 3 mg·l<sup>-1</sup>. [17]

#### *Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem draselným odměrnou metodou*

##### *Podstata*

Vzorek se známým objemem odměrného roztoku manganistanu draselného v prostředí kyseliny sírové se zahřívá ve vroucí vodní lázni. Část manganistanu se redukuje oxidovatelnými látkami přítomnými ve vzorku. Spotřeba manganistanu se stanoví po přidavku přebytku roztoku šťavelanu titrací tohoto přebytku odměrným roztokem manganistanu draselného. [20]

##### *Postup*

„Do skleněné zkumavky se odpipetuje 25 ml zkoušeného vzorku, přidá se 5 ml kyseliny sírové a směs se mírným kroužením promíchá. Zkumavka se umístí na 10 minut do vroucí lázně dosahující teploty 96 až 98 °C.“ Vodní lázeň je na Obr. 3.1. [20]



Obr. 3.1 Vodní lázeň se zkumavkami

„Poté se přidá 5 ml odměrného roztoku manganistanu draselného, směs se promíchá a opětovně zahřívá 10 minut. Po uplynutí této doby se do směsi přidá 5 ml roztoku šťavelanu

sodného. Odbarvený horký roztok se titruje odměrným roztokem manganistanu draselného do světle růžového odstínu, který vydrží 30 sekund. (Dávkováče šťavelanu sodného a manganistanu draselného jsou viditelné na Obr. 3.2.) Zaznamenává se spotřeba roztoku. Souběžně se stejným způsobem provede slepé stanovení s použitím 25 ml demineralizované vody. Na základě spotřeby manganistanu draselného při titraci vzorku, slepého pokusu a kalibračního pokusu se vypočte chemická spotřeba kyslíku.“ [20]



Obr. 3.2 Dávkováče šťavelanu sodného a manganistanu draselného

### 3.5.4 Hliník

#### *Charakteristika*

„V přírodě se vyskytují různé sloučeniny hliníku. Nachází se v kyselých, neutrálních i zásaditých prostředích. Hliník tvoří rovněž koloidní polymerní roztoky a vločkovité sraženiny, které jsou založeny na pozitivně nabitých hydratovaných iontech nebo hydroxohlinitanech. Hliník může tvořit převážně rozpustné komplexy s organickými sloučeninami, fluoridy, chloridy nebo sírany.“ [21]

„Hliník může také vytvářet krystalické formy s kyslíkem a hydroxidovými skupinami, křemíkem a některými kovy. Ačkoliv jsou tyto sloučeniny nerozpustné, mohou se některé z nich (zejména jíly, slídy, zeolity) vyskytovat v řekách jako jemně suspendované částice. Ačkoliv tyto částice obsahují hliník, nejsou obvykle považovány za jeho sloučeniny ve spojitosti s koloběhem vody.“ [21]

„Koncentrace hliníku v prostých podzemních a povrchových vodách se obvykle pohybují jen v setinách až desetínách  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Ve vodách upravených čiřením hlinitými solemi se při správném provozu úpravny hliník vyskytuje jen v setinách. V zimním období však může koagulace probíhat vlivem nízkých teplot zvolna, což může mít za následek výskyt vyšších zbytkových koncentrací zbytkového hliníku v upravené vodě. Navíc při nevhodném dávkování hlinitých solí vzniká nebezpečí dodatečného vylučování hydratovaného oxidu hlinitého až ve vodovodní síti.“ [16]

„Voda s obsahem hliníku může mít na člověka neurotoxické účinky, a kromě jiného se hliník dává do souvislosti se vznikem demence Parkinsonova typu a Alzheimerovou chorobou. Příčinou je pravděpodobně špatná funkce chemických přenašečů signálů mezi

nervovými buňkami způsobená tvorbou povlaků na membránách nervových buněk za přítomnosti hlinitých iontů. I přes to, že doposud nebyla prokázána přímá souvislost mezi hliníkem a uvedenými chorobami, doporučila Světová zdravotnická organizace snížit přípustnou koncentraci hliníku v pitné vodě z původní hodnoty  $0,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  na  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .“ [16]

### ***Legislativní požadavky***

Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud je hliník obsažen maximálně v koncentraci  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
  - kategorie A2, pokud je hliník obsažen maximálně v koncentraci  $1,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
  - kategorie A3, pokud je hliník obsažen maximálně v koncentraci  $2,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .
- [15]

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota koncentrace hliníku v souladu s doporučením Světové zdravotnické organizace, tedy  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . [17]

### ***Stanovení hliníku spektrofotometricky***

#### ***Podstata***

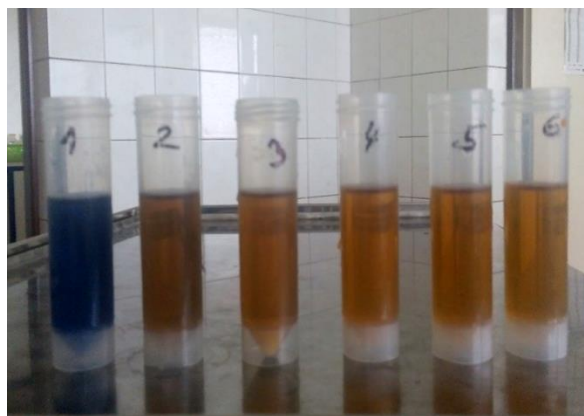
„Při vhodném pH hliník reaguje s pyrokatecholovou violetí. Intenzita vzniklého barevného komplexu se měří spektrofotometricky při vlnové délce 580 nm. Modré zbarvení je viditelné jen při vysokých koncentracích hliníku, což je viditelné na Obr. 3.3 a Obr. 3.4.“ [21]



**Obr. 3.3** Vzorčky vody s rozdílnými koncentracemi hliníku

#### ***Postup***

„Do 50 ml plastové zkumavky se odpipetuje 25 ml vzorku a vzorek se okyselí 40  $\mu\text{l}$  koncentrované kyseliny dusičné. Přidá se 1 ml směsného činidla, potom 1 ml roztoku pyrokatecholové violeti a 5 ml roztoku hexamethylentetraminu. Po 30 minutách od vybarvení (viz Obr. 3.4) se ve spektrofotometru změří hodnota absorpance roztoku při vlnové délce 580 nm v 1 cm kyvetě proti slepému pokusu, který se zpracovává stejným způsobem. Spektrofotometr na základě absorpance určí koncentraci hliníku v roztoku.“ [22]



Obr. 3.4 Vzorčky vody po koagulační zkoušce připravené ke změření koncentrace hliníku

### 3.5.5 Železo

#### *Charakteristika*

„Železo se vyskytuje v rudách, jako je pyrit, krevet, magnetovec nebo limonit, dále se železo vyskytuje v přírodních hlinitokřemičitanech. Rozpouštění těchto látek napomáhá přítomnost oxidu uhličitého a huminových látek. Mimořádné koncentrace železa lze najít ve vodách obsahujících kyselinu sírovou. V mechanismu oxidace pyritu a jiných sulfidických rud se uplatňují i biochemické procesy za přítomnosti chemolitotrofních mikrobů. Antropogenním zdrojem železa v přírodních a užitkových vodách mohou být odpadní vody nebo produkty koroze ve vodovodním potrubí.“ [16]

„V nízkých koncentracích je přítomnost železa běžnou součástí vod. Jeho koncentrace je obvykle vyšší než koncentrace manganu. V povrchových vodách se koncentrace železa pohybuje obvykle v setinách až desetínách  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , výjimku tvoří kyselé vody z rašelinišť, které mohou obsahovat železo v koncentracích až  $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . V nádržích dochází k vertikální stratifikaci železa. (Totéž platí pro mangan.) V období letní a zimní stagnace se ve spodních vodách u dna hromadí různé formy železa v koncentracích až několika desítek  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .“ [16]

„Železo obsažené ve vodách způsobuje zejména technické závady tím, že stykové materiály zbarvuje žlutě až hnědě. Dále ovlivňuje organoleptické vlastnosti – chuť, barvu i zákal. I nízké koncentrace železa mohou vést k velkému rozvoji železitých bakterií, které ucpávají potrubí, navíc v případě jejich úhynu voda zapáchá.“ [16]

#### *Legislativní požadavky*

Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud je železo obsaženo maximálně v koncentraci  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
  - kategorie A2, pokud je železo obsaženo maximálně v koncentraci  $1,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
  - kategorie A3, pokud je železo obsaženo maximálně v koncentraci  $2,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .
- [15]

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota koncentrace železa  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . [17]

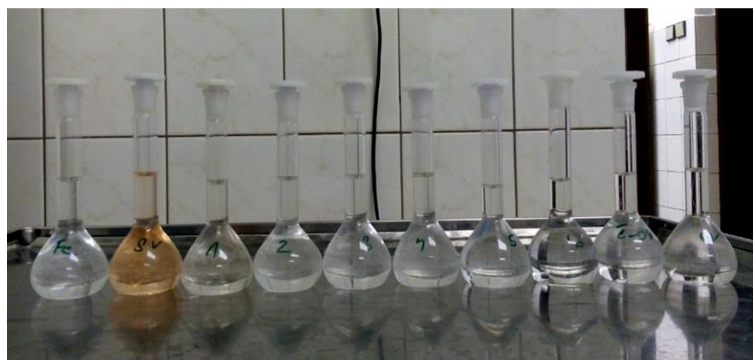
## ***Stanovení rozpuštěného železa spektrofotometricky***

### ***Podstata***

„Stanovení rozpuštěného železa spočívá v redukcí  $\text{Fe}^{3+}$  na  $\text{Fe}^{2+}$ . Přídavkem daných chemikálií ke zkoušenému objemu vzorku vznikne červenooranžový komplex vhodný k fotometrickému měření při vlnové délce 510 nm.“ [23] Intenzita zbarvení je přímo úměrná obsahu  $\text{Fe}^{2+}$ . [24]

### ***Postup***

„Do 50 ml odměrné baňky se odpipetuje 40 ml vzorku, který se okyselí 1 ml kyseliny sírové, přidá se 1 ml roztoku hydroxylaminhydrochloridu a roztok se promíchá. Přidají se 2 ml octanu, 2 ml 1,10-fenantrolinu a objem baňky se doplní po rysku. Vzorek se nechá vybarvovat 15 minut na světle, možnosti výsledného zbarvení jsou zřejmé z Obr. 3.5, a poté se změří absorbance roztoku při 510 nm spektrofotometrem, který na jejím základě určí koncentraci rozpuštěného železa ve vzorku. Stejným způsobem se provede i kontrolní slepý pokus.“ [24]



**Obr. 3.5** Vybarvené vzorky vody připravené k analýze koncentrace železa

## **3.5.6 Mangan**

### ***Charakteristika***

„Mangan doprovází obvykle železné rudy. Mangan přechází do vod také z půd a sedimentů. Antropogenními zdroji manganu mohou být některé odpadní vody.“ [16]

„Ve vodě obsahující kyslík je převážná část manganu přítomna v nerozpuštěných formách, často v návaznosti na mikroorganismy nebo komplexy, např. s huminovými kyselinami. Ve vodě bez kyslíku nebo v silně kyselé vodě se veškerý mangan vyskytuje v rozpuštěné formě.“ [25]

Zvýšená koncentrace železa je obvykle doprovázena i zvýšenou koncentrací manganu, i když ho bývá méně. Mangan je nezbytný pro rostliny i živočichy. V koncentracích vyskytujících se v přírodních vodách je zdravotně nezávadný, významně však ovlivňuje organoleptické vlastnosti. Vyšší koncentrace manganu mohou negativně ovlivňovat chuť, hrozí také zbarvení stykových materiálů do hněda. Obdobně jako u železa může zvýšená koncentrace manganu vést k růstu manganových bakterií, které mohou být příčinou zarůstání vodovodního potrubí jejich biomasou. Jelikož jsou výše popsány účinky škodlivější již od nižších koncentrací než u železa, limity maximální koncentrace ve vodách jsou přísnější než pro železo. [16]

## ***Legislativní požadavky***

Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud je mangan obsažen maximálně v koncentraci  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
  - kategorie A2, pokud je mangan obsažen maximálně v koncentraci  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ;
  - kategorie A3, pokud je mangan obsažen maximálně v koncentraci  $1,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .
- [15]

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota koncentrace manganu  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . [17]

## ***Stanovení manganu spektrofotometricky***

### ***Podstata***

„Mangan reaguje v alkalickém prostředí s formaldoxinem za vzniku oranžově červeného komplexu. Intenzita zbarvení je přímo úměrná koncentraci přítomného manganu a měří se při vlnové délce  $450 \text{ nm}$ .“ [25]

### ***Postup***

„Do 100 ml Erlenmeyerovy baňky se napipetuje 50 ml vzorku, který se okyslí  $0,25 \text{ ml}$  kyseliny sírové. Ke vzorku se přidá 1 ml roztoku síranu diamonnoželeznatého a 2 ml roztoku EDTA. Po promíchání se do vzorku přidá 1 ml roztoku formaldoxinu a 2 ml roztoku hydroxidu sodného. Roztok se opět promíchá a nechá 10 minut odstát. Následně se přidají 3 ml roztoku chloridu hydroxylamonného s amoniakem a vybarvený roztok, viditelný na Obr. 3.6, se nechá stát alespoň 1 hodinu. Výsledek po 1 hodině je viditelný na Obr. 3.7, vzorky růžovou barvu téměř ztratí. Poté se změří hodnota absorbance při  $450 \text{ nm}$ , na jejímž základě spektrofotometr určí koncentraci manganu ve vzorku. Stejným způsobem se stanovuje i slepý pokus.“ [27]



**Obr. 3.6** Vybarvené vzorky vody připravené k analýze koncentrace manganu po nadávkování amoniaku



Obr. 3.7 Vzorky vody připravené k analýze koncentrace manganu po 1 hodině odstání

### 3.5.7 pH

#### *Charakteristika*

„pH – míra aktivity vodíkových iontů v roztoku.“ [28]

„Měření hodnoty pH je velmi důležité u mnoha druhů vzorků. Vysoké, ale i nízké hodnoty pH působí toxicky na vodní organismy buď přímo, nebo nepřímo. Ukazatel pH je nejvýznamnější parametr používaný k posuzování korozivních vlastností vodního prostředí. Má také význam pro účinné provozování úpravárenských pochodů a jejich řízení (např. flokulace, dezinfekce chlorem), řízení schopnosti pitných vod rozpouštět olovo a pro biologické čištění odpadních vod nebo jejich vypouštění.“ [28]

#### *Legislativní požadavky*

Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud je hodnota pH 6,5 – 9,5;
- kategorie A2, pokud je hodnota pH 5 – 6,5 nebo 9,5 - 10;
- kategorie A3, pokud je hodnota pH < 5 nebo > 10. [15]

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota pH 6,5 – 9,5. [17]

#### *Stanovení pH elektrometricky*

##### *Podstata*

„Elektrometrická metoda stanovení pH je založena na měření rozdílu potenciálu elektrochemického článku, v němž je jedním z poločlánků měřicí elektroda a druhým referenční elektroda. Potenciál měřicí elektrody je funkcí aktivity vodíkových iontů měřeného vzorku. Elektrolyty používané v referenční elektrodě mohou být v kapalné nebo polymerní formě nebo ve formě gelu.“ [28] Zařízení pro určení pH je uvedeno na Obr. 3.8.

##### *Postup*

„Elektroda se před měřením opláchne demineralizovanou vodou. Vzorek vody se před měřením promíchá tak, aby se jeho složení v bezprostředním okolí povrchu elektrody shodovalo s celkovým složením, a přitom nedošlo ke zvržení případného sedimentu. Měřený potenciál se odečítá přímo v hodnotách pH.“ [29]



Obr. 3.8 Přístroj pro měření pH

### 3.5.8 Alkalita

„Většina vod se vlivem obsažených látek vyznačuje určitou tlumivou neutralizační kapacitou (kyselinovou, zásadovou) – to znamená, že při přidávání silné kyseliny, resp. louhu do vzorku vody se pH vzorku nemění přímo úměrně dávce kyseliny, resp. louhu, ale v určitém rozsahu má voda schopnost vázat vodíkové nebo hydroxidové ionty. [40]

Alkalita vody je definována jako schopnost vody neutralizovat kyselou reagující látku. Alkalitu přirozených vod způsobují převážně hydrogenuhličitanů. Alkalita vody je jednou ze základních měrných hodnot při stanovení kvality vody. Označuje se jako kyselinová neutralizační kapacita (KNK). U přirozených vod odpovídá stanovení KNK obsahu hydrogenuhličitanů ve vodě. Pokud je voda upravována jinými, alkalicky reagujícími látkami, např. louhem sodným, odpovídá KNK sumě obsahu hydrogenuhličitanů a použité látky, která reaguje s vodou alkalicky. V tomto případě je stanovována celková KNK vody.“ [40]

### 3.5.9 Kultivovatelné mikroorganismy

#### *Charakteristika*

„Všechny druhy vod obsahují rozmanité druhy mikroorganismů pocházejících z různých zdrojů, jako jsou půda a rostliny, a stanovení celkového počtu mikroorganismů poskytuje užitečnou informaci pro posouzení jakosti vody a její kontrolu. Jednotlivá kvantitativní stanovení se obvykle provádějí s mikroorganismy, které jsou schopné růst a tvořit kolonie na živném agarovém médiu při 36 °C (tj. KTJ 36 °C) a 22 °C (tj. KTJ 22 °C).“ [31]

„Jedná se o všudypřítomné mikroorganismy, které se množí ve vodě za vhodných podmínek. Na jejich množení má vliv velký počet faktorů, mezi něž může patřit například doba zdržení vody v síti a s ní související faktory, jako je vyšší teplota vody, rychlost proudění vody nebo druh dezinfekčního prostředku. Vliv hrají i korozní produkty a sediment na stěnách a dně potrubí, kvalita materiálu, a především takzvaná biologická stabilita vody a přítomnost nutrientů, tedy uhlíku, fosforu a dusíku.“ [32]



## **Legislativní požadavky**

Požadavky na mezní hodnoty KTJ 36 a 22 °C surové povrchové vody pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou nejsou stanoveny.

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota definovaná jako „bez abnormálních změn“, pokud u zásobované oblasti nelze pro malý počet vzorků určit, zda se jedná o abnormální změnu, platí pro KTJ 22 °C mezní hodnota 200 KTJ·ml<sup>-1</sup>, pro KTJ 36 °C je to 40 KTJ·ml<sup>-1</sup>. Zvláštní limity pak platí pro situace, kdy je zajišťováno náhradní zásobování. [17]

## **Stanovení mikroorganismů kultivačními metodami**

### **Podstata**

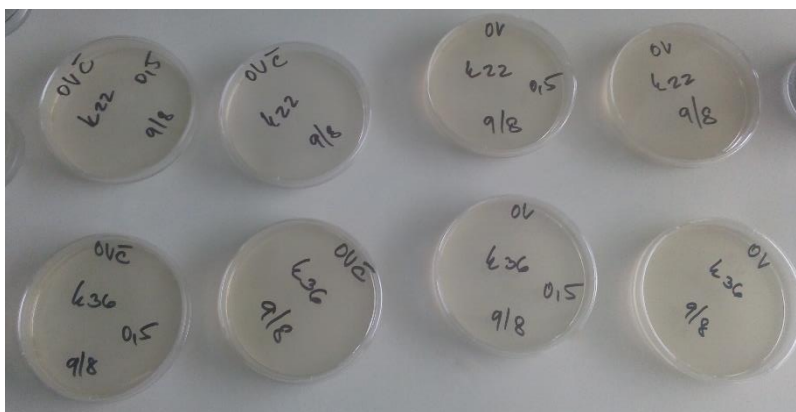
„Způsoby izolace a kvantitativního stanovení mikroorganismů založené na schopnosti organismů růst na specifických kultivačních médiích jsou významné a všeobecně používané metody pro hodnocení mikrobiologické jakosti vod.“ [30]

„Obecný princip spočívá v očkování známého objemu vzorku vody na nebo do kultivačního média. Předpokládá se, že během inkubace každého přítomného mikroorganismu dojde k jeho pomnožení, a tak se vytvoří kolonie přímo viditelné na kultivačním médiu.“ [30]

„Zkoušený vzorek se očkuje na kultivační medium tak, že po inkubaci mikroorganismy vytvoří kolonie na povrchu nebo uvnitř kultivačního média. Z praktických důvodů se předpokládá, že každá kolonie je vytvořena z jednoho mikroorganismu, nebo ze shluku mikroorganismů přítomných ve vzorku v okamžiku jeho očkování. Vezme-li se v úvahu objem zkoušeného podílu vzorku a počet vyrostlých kolonií, může být výsledek vyjádřen jako počet kolonie tvořících jednotek v předem určeném objemu vzorku.“ [30]

### **Postup**

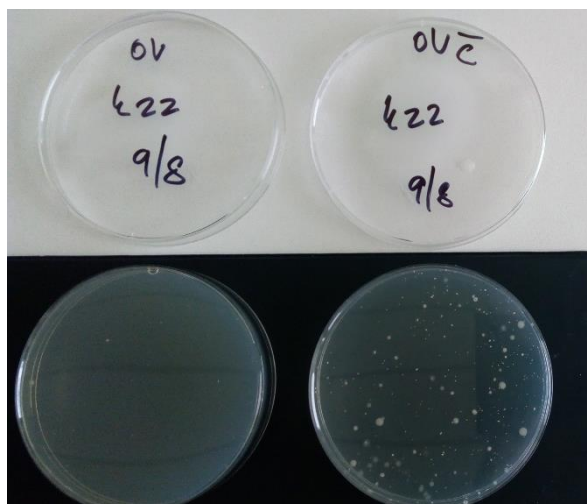
Použije se metoda přímého výsevu do kultivačního média. Do Petriho misky se naočkuje 0,1 až 5 ml vzorku, přidá se roztopené kultivační médium a obsah misky se promíchá krouživým pohybem. Pak se obsah misky nechá ztuhnout. [35] Petriho misky se vzorkem a kultivačním médiem jsou uvedeny na Obr. 3.9.



**Obr. 3.9** Petriho misky přichystané pro analýzu KTJ 36 a 22 °C

Očkuje se nejméně jedna miska pro inkubaci při každé teplotě. Misky se obrátí dnem vzhůru a jedna sada se kultivuje při teplotě 36 °C po dobu 48 ± 1 hodin. Druhá sada se kultivuje při 22 ± 1 °C po dobu 72 ± 4 hodin. Misky se vyhodnotí ihned po vyjmutí z inkubátoru. Misky se splývajícím počtem kolonií se vyloučí.“ [35]

„Na každé misce se spočítají kolonie, které mohou vypadat například jako na Obr. 3.10, a pro každou kultivační teplotu se vypočte KTJ v 1 ml vzorku.“ [35]



Obr. 3.10 Kolonie po kultivaci na Petriho miskách přichystané pro analýzu KTJ 36 a 22 °C

### 3.5.10 Clostridium perfringens

#### *Charakteristika*

„Clostridia jsou anaerobní organismy, tvořící spory a redukující sulfity, přičemž v našich vodách je nejčastěji zastoupen druh *Clostridium perfringens*. Spory se vyskytují ve střevním traktu, exkrementech či odpadní vodě, řadí se tedy mezi indikátory fekálního znečištění.“ [35]

„Jelikož mají vysokou rezistenci vůči chloru a jiným chemickým či fyzikálním faktorům, je vhodné využít je pro doplňkovou kontrolu vodárenského systému, rozvodů a pro kontrolu účinnosti dezinfekce.“ [35]

„*Clostridium perfringens* jsou bakterie, které vytvářejí na specifikované selektivní půdě charakteristické kolonie a které v jedné z konfirmačních technik vykazují pozitivní konfirmační reakce.“ [34]

#### *Legislativní požadavky*

Požadavky na mezní hodnoty v ukazateli *Clostridium perfringens* surové povrchové vody pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou nejsou stanoveny.

Pro pitnou vodu platí mezní hodnota 0 KTJ·100 ml<sup>-1</sup>. [17]

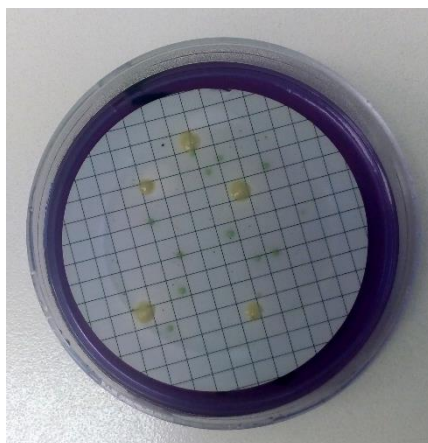
#### *Stanovení Clostridium perfringens*

Daný objem se přefiltruje filtračním zařízením (viz Obr. 3.11), ve kterém je umístěn papírový filtr. Tím je dosaženo toho, že na něm ulpí všechny přítomné mikroorganismy.

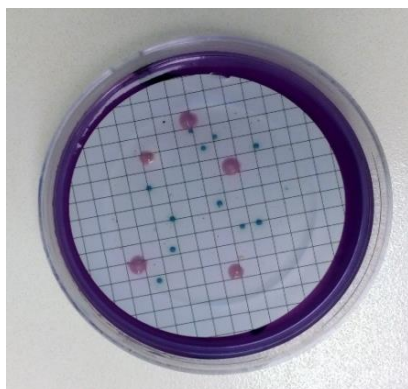


**Obr. 3.11 Filtrační zařízení**

Filtr se umístí na živnou půdu v Petriho miskách. Takto připravené vzorky se inkubují v anaerobním prostředí při  $44 \pm 1$  °C po dobu  $21 \pm 3$  hodin. Po inkubaci se spočítají KTJ. Pokud je filtr zarostlý tak, že není možno KTJ stanovit, provede se ředění a postup se opakuje. Narostlé kolonie mohou mít různé zbarvení, pro určení *Clostridium perfringens* jsou však brány v úvahu pouze světle žluté neprůsvitné kolonie, které po 20 – 30 sekund dlouhém vystavení parám amoniaku změny barvu na sytě růžovou. Tato barevná změna je viditelná na Obr. 3.12 a Obr. 3.13. [35]



**Obr. 3.12 Narostlé kolonie po kultivaci**



Obr. 3.13 Barevná změna kolonií

### 3.5.11 Intestinální enterokoky

#### *Charakteristika*

„Intestinální enterokoky se běžně vyskytují v intestinálním traktu, proto jsou používány jako indikátor fekálního znečištění. Jsou citlivé vůči změnám vnějšího prostředí, proto se ve vodě velmi vzácně pomnožují a přežívají jen krátkou dobu. Jsou tedy považovány za indikátor čerstvého fekálního znečištění. Dále jsou poměrně odolné vůči dezinfekčním prostředkům, mohou indikovat jeho nedostatečnou dávku.“ [35]

#### *Legislativní požadavky*

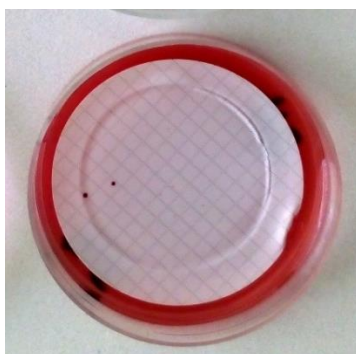
Dle požadavků na hodnoty ukazatelů jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro standardní metody úpravy surové vody na vodu pitnou platí:

- Kategorie A1, pokud je hodnota 20 KTJ·100 ml<sup>-1</sup>;
- kategorie A2, pokud je hodnota 1 000 KTJ·100 ml<sup>-1</sup>;
- kategorie A3, pokud je hodnota 10 000 KTJ·100 ml<sup>-1</sup>. [15]

Pro pitnou vodu platí nejvyšší mezní hodnota 0 KTJ·100 ml<sup>-1</sup>. [17]

#### *Stanovení intestinálních enterokoků*

Stanovení je založeno na kultivaci ve vhodném médiu, které potlačuje růst přídavné mikroflóry. Je provedena filtrace přes membránový filtr, ten je přenesen na povrch média. Po uzavření misky probíhá kultivace při 37 ± 1 °C po dobu 44 ± 4 hodin. Narostlé kolonie enterokoků jsou hnědočervené, hnědé až tmavě růžové (viz Obr. 3.14). [35]



Obr. 3.14 Intestinální enterokoky po kultivaci

## 4 ÚPRAVNA VODY ŠVAŘEC

Úpravna vody Švařec je po prameništi v Březové nad Svitavou druhým nejvýznamnějším zdrojem vody brněnské vodárenské soustavy, kterou provozují Brněnské vodárny a kanalizace a. s. Úpravna vody Švařec je součástí tzv. Vířského oblastního vodovodu (dále VOV), který slouží pro zásobování nejen Brna, ale mnoha měst a obcí v jeho okolí. Hlavní činností sdružení VOV založeného v roce 1993 je správa jeho majetku a rozvoj jeho strategie. [11]

Úpravna je umístěna v údolí řeky Svratky asi 5 km vzdušnou čarou od hráze vodní nádrže Víř I, odkud je přiváděna surová voda určená k úpravě. Nádrž má vyhlášena pásma hygienické ochrany, je v ní zakázáno koupání a rybolov. [11]

Voda z vodní nádrže Víř I je měkká, málo mineralizovaná, s poměrně nízkým obsahem organických látek přírodního původu. V hrázi jsou vybudována 3 odběrná místa v různých hloubkách, z nichž lze zvolit odběr na základě aktuální kvality vody, neboť ta se v průběhu roku mění v závislosti na teplotě, množství srážek apod. [33]

Výkon úpravní byl původně plánován na  $2\,300\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , avšak v průběhu výstavby byl tento výkon z důvodu klesající tendence spotřeby vody redukován na polovinu. Úpravna má tedy v současnosti maximální výkon  $1\,150\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , přičemž optimální výkon pro provoz je  $700 - 800\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  a minimální výkon  $550\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . [11]

Současný provoz úpravní je v tzv. přískokovém režimu, kdy dochází k plánovaným odstávkám. Průměrný výkon úpravní tak v důsledku tohoto opatření klesá asi na  $100\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Upravená voda zásobuje několik měst a obcí ve směru přivaděče na Brno, dále je míchána ve vodojemu Čebín v poměru asi 1:9 s podzemní vodou z Březové nad Svitavou. Smíchaná voda putuje II. březovským přivaděčem do Brna a několika dalších měst a obcí v jeho blízkosti. [11]

Z původně 20 pískových filtrů byla vystrojena pouze polovina, přičemž dalších 6 filtrů bylo dodatečně využito pro 2. stupeň filtrace přes granulované aktivní uhlí (dále jen GAU). [11] O ně byl provoz rozšířen mimo jiné z důvodu přítomnosti nežádoucích produktů eutrofizace v surové vodě. Pro správný provoz filtrů je nezbytné jejich pravidelné praní, které obnáší značnou spotřebu prací vody.

V rámci snahy o vyšší hospodárnost provozu bylo v minulosti rozhodnuto, že část odsazené prací vody bude vrácena na vtok do úpravní k opětovné úpravě. Zde je voda smíchávána s vodou surovou z vodní nádrže Víř I. V prvním kroku navyšování hospodárnosti byla prací voda vratná přimíchávána do surové vody v poměru 5:95, avšak provozovatel zvažuje, zda by bylo možné množství vratné vody navýšit.

V Tab. 4.1 je uvedeno, jaké množství odsazené prací vody z jejího původního objemu by bylo vypuštěno do vodoteče v případě, že by bylo do vody surové přimícháváno 5, 6, 7, 8, 9 a 10 % odsazené prací vody. Z Tab. 4.1 vyplývá, že v případě přimíchávání 10 % by v roce 2011 bylo využito přes 90 % odsazené prací vody, zatímco v roce 2012 by ani 10 % nebylo možné vracet, neboť by úpravna neprodukovala její dostatečné množství. Z tohoto hlediska by tedy vrácení většího podílu odsazené prací vody nemělo smysl. Proto byly provedeny analýzy, které měly ověřit, zda je možné přimíchávat do surové vody 10 % vody prací.

**Tab. 4.1 Objemy nevyužitě odsazené prací vody [%] v letech 2011 a 2012 z původního objemu prací vody**

[%]	rok	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	průměr
5	2011	50,0	65,9	65,9	63,2	50,6	56,5	62,7	64,6	-24,9	62,1	78,1		54,1
	2012	66,8	67,2	43,6	50,3	69,1	33,8	42,1	32,4	68,5	38,2	46,2	22,0	48,4
6	2011	40,1	59,1	59,1	55,8	40,8	47,7	55,2	57,5	-49,9	54,5	73,7	0,0	44,9
	2012	60,1	60,6	32,3	40,4	62,9	20,6	30,5	18,9	62,2	25,9	35,5	6,4	38,0
7	2011	30,1	52,3	52,3	48,4	30,9	39,0	47,7	50,4	-74,9	46,9	69,3		35,7
	2012	53,5	54,0	21,0	30,5	56,7	7,4	18,9	5,3	56,0	13,5	24,7	-9,2	27,7
8	2011	20,1	45,5	45,5	41,1	21,0	30,3	40,2	43,3	-99,8	39,4	64,9		26,5
	2012	46,8	47,4	9,7	20,5	50,6	-5,9	7,4	-8,2	49,7	1,1	14,0	-24,7	17,4
9	2011	10,1	38,6	38,7	33,7	11,1	21,6	32,8	36,2	-124,8	31,8	60,5		17,3
	2012	40,2	40,9	-1,6	10,6	44,4	-19,1	-4,2	-21,7	43,4	-11,2	3,2	-40,3	7,0
10	2011	0,1	31,8	31,8	26,3	1,3	12,9	25,3	29,1	-149,8	24,2	56,2		8,1
	2012	33,5	34,3	-12,9	0,6	38,2	-32,3	-15,8	-35,2	37,1	-23,6	-7,5	-55,9	-3,3

vysvětlivky:	
	< 0 %
	1 - 20 %
	21 - 40 %
	41 - 60 %
	61 - 100 %

Pozn.: Kromě obrázků uvedených v této kapitole jsou uvedeny fotografie některých zařízení na ÚV Švařec v Příloze 1 této práce.

## 4.1 DEFINICE POJMŮ

Aby bylo možné záměr provést, byly vyhodnocovány vzorky vody různého původu. Z tohoto důvodu byly stanoveny názvy jednotlivých vod, aby byla zpřehledněna situace:

- surová voda – je voda, která je odebírána z vodní nádrže Vír I;
- upravovaná voda – je voda, která právě prochází procesem úpravy;
- upravená voda – je voda vyrobená pitná, která je dodávána spotřebiteli;
- prací voda – je voda používaná pro praní pískových i GAU filtrů;
- prací voda čerstvá – je již využitá prací voda před nátokem do kalového hospodářství;
- prací voda odsazená – je prací voda, která již prošla alespoň jedním sedimentačním stupněm kalového hospodářství a byla z ní odstraněna část kalů;

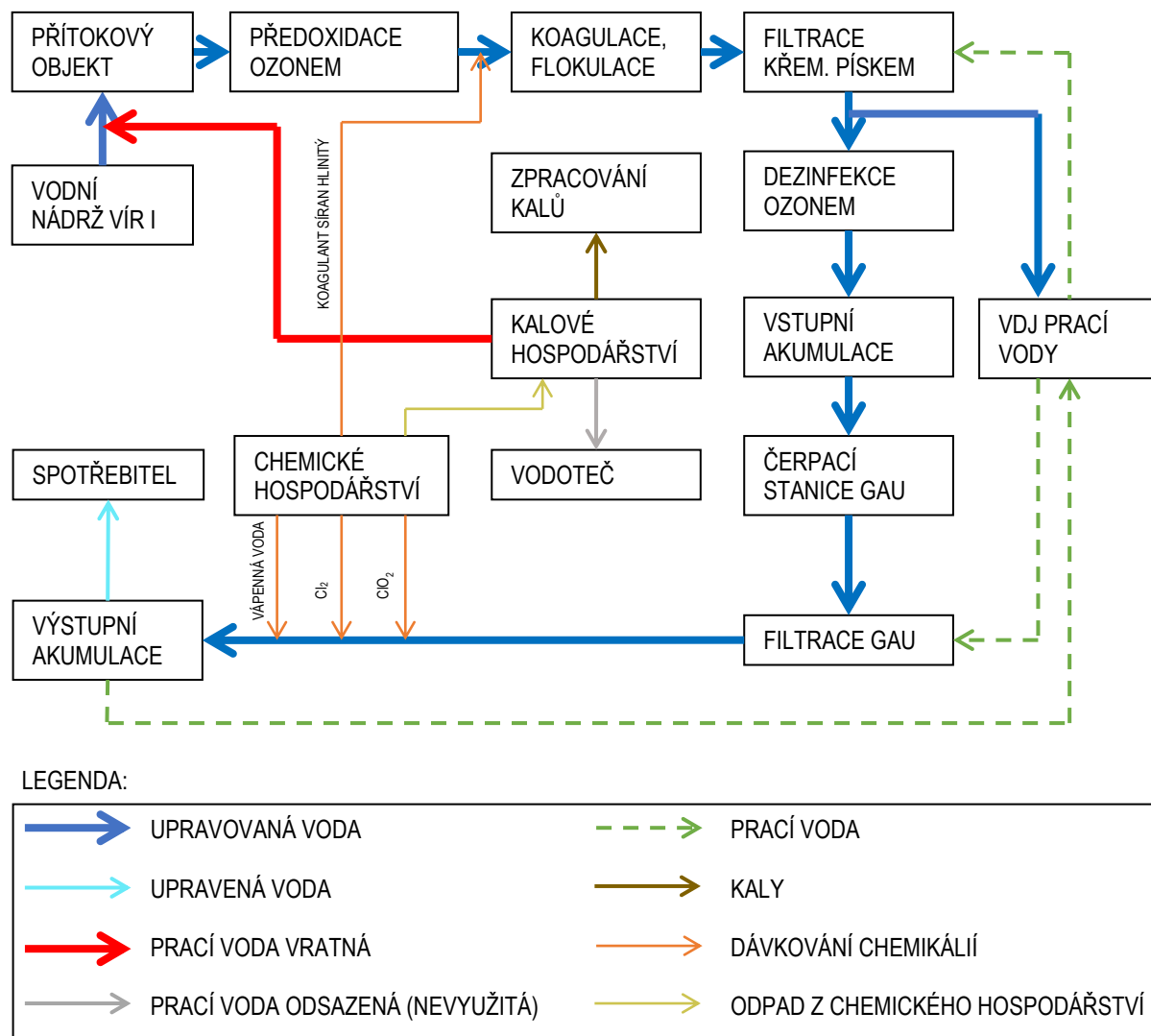
- prací voda vratná – je prací voda odsazená vracená do úpravárenského procesu;
- směsná voda – voda vzniklá smícháním surové vody a prací vody vratné.

## 4.2 SCHEMA ÚV ŠVAŘEC

Z Obr. 4.1 je zřejmé, přes jaké objekty upravovaná voda postupně protéká. Z vodní nádrže Vír I teče surová voda do přítokového objektu, odkud putuje do předoxidace ozonem, dále je realizováno nadávkování koagulantu síranu hlinitého a v upravované vodě proběhne koagulace a flokulace. Potom voda prochází nejdříve filtrací ve filtrech s křemičitým pískem, následuje desinfekční ozonizace a čerpání na druhý separační stupeň – GAU filtry. Upravovaná voda je hygienicky zabezpečena oxidem chloričitým a chlorem, dále je upraveno její pH pomocí vápenné vody a poté míří do výstupní akumulace, odkud je již upravená voda dopravována ke spotřebitelům.

Do procesu úpravy vody lze dávkovat i další pomocné chemikálie, jako je pomocný flokulant či manganistan draselný, dále je možno změnit cestu upravované vody, na schématu (Obr. 4.1) je uveden stav, v jakém úpravna funguje nejčastěji.

Prací voda je získávána z vodojemu prací vody, do kterého je zavedeno čerpání jak z výstupní akumulace, tak z úseku hned za pískovými filtry. Prací voda je využívána na praní obou filtračních stupňů a použitá čerstvá prací voda (společně s vodou ze zafiltrování) je dále zpracovávána v kalovém hospodářství zejména pomocí sedimentace. Usazené kaly jsou odváženy z úpravny, odsazená prací voda je z části vypouštěna do vodoteče a je zde využíváno potrubí, které odvádí vratnou prací vodu zpět k úpravě do přítokového objektu, kde je smíchána s vodou surovou. Do kalového hospodářství je také veden přívod odpadů z chemického hospodářství.



Obr. 4.1 Schéma úpravny vody ÚV Švařec

### 4.3 ODBĚR SUROVÉ VODY

Surová voda přitéká z odběrného zařízení ve hrázi vodárenské nádrže Vír I, přičemž je možno volit odběr ze tří různých horizontů:

- 418,55 m n. m. (tzn. cca 18 m nade dnem nádrže);
- 436,55 m n. m. (tzn. cca 36 m nade dnem nádrže);
- 451,15 m n. m. (tzn. cca 51 m nade dnem nádrže). [33]

Na odběru ze všech tří horizontů je prováděna analýza koncentrace kyslíku, hodnoty pH, zákalu a teploty. Zároveň je zde možné odebrání vzorku pro laboratorní rozbor surové vody. V závislosti na tom, jaký horizont se jeví svými vlastnostmi jako nejpříznivější, je volen odběr surové vody pro úpravárenské účely. [33]

Nejčastěji je využíváno prostředního odběrového okna. Horní odběr není využíván téměř vůbec, protože zde hrozí velmi rychlá změna kvality vody v závislosti na počasí. Navíc, pokud je v přehradě hladina vody nízko, je horní odběrné okno na suchu. Spodního odběrového okna je využíváno na jaře a na podzim, kdy dochází k míchání vody v nádrži.



## 4.4 PŘÍTOKOVÝ OBJEKT

Surová voda je nejdříve využita pro energetické účely pomocí Francisovy turbíny (viz Obr. 4.2), následně je dopravována k úpravě na vodu pitnou. Proces úpravy vody je možné započít již v přítokovém objektu, jelikož je zde umožněno dávkování koagulačního činidla síranu hlinitého a v případě potřeby i manganistanu draselného. [33]

Manganistan draselný však zpravidla dávkován není, protože mangan zvládá z vody odstraňovat filtrace. V případě zvýšených koncentrací manganu je upřednostňována změna odběrného profilu před dávkováním manganistanu. [41]



Obr. 4.2 Francisova turbína na přítoku (foto: Zdeněk Antoš)



Obr. 4.3 Ozonizátor (foto: Zdeněk Antoš)

Dávkování koagulantu je takto realizováno pouze v případě, že upravovaná voda neprochází předoxidací ozonem. Pokud ano, a v drtivé většině času tomu tak je, dochází k dávkování až na přelivu umístěném za nádrží předoxidace ozonem. [41] Ozonizátor je uveden na Obr. 4.3.

## 4.5 MÍCHÁNÍ

Fáze rychlého míchání je realizována pomocí přelivného objektu zmíněného již v předchozí kapitole. Na přelivnou hranu kape síran hlinitý, pod přelivnou hranou voda silně víří a dochází k dokonalému promísení. Dávka koagulantu se mění v závislosti na výsledcích koagulačních zkoušek, pohybuje se od 25 do 35 mg·l<sup>-1</sup>. [41]

Pomalé míchání je realizováno přes tři paralelní nádrže, z nichž každá je vybavena dvojicí míchadel, která se otáčí rychlostí 4,5 ot·min<sup>-1</sup>. Míchadlo je uvedeno na Obr. 4.4. Doba zdržení upravované vody v nádržích pomalého míchání se mění v závislosti na tom, kolik nádrží je v provozu. Počet mísících nádrží je možno volit podle množství upravované vody a kvality surové vody v rozsahu zapojení 1 – 3 nádrže. [41]



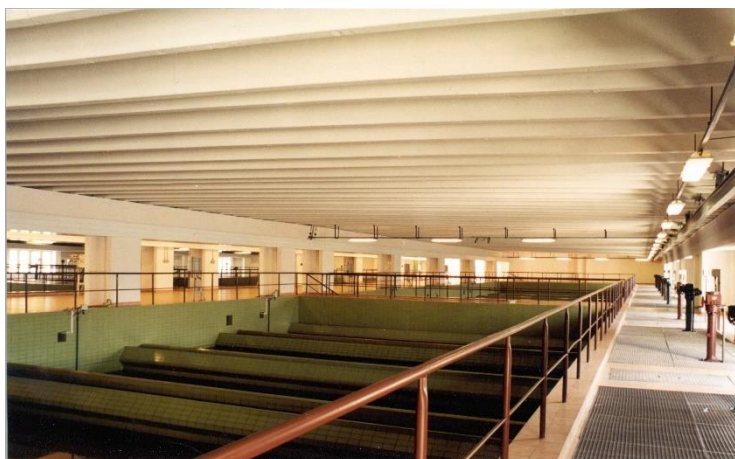
Obr. 4.4 Míchadlo

## 4.6 FILTRACE

Na úpravně se nacházejí dva separační stupně, v obou případech se jedná o filtraci. Z původně zamýšlených 20 pískových filtrů byla nakonec naplněna polovina, z dalších 6 filtrů vznikl druhý separační stupeň s GAU, který byl zřízen po realizaci čerpací stanice pro filtry s GAU. Zbývající 4 vybudované konstrukce pro filtry momentálně nejsou v provozu, ale jsou napojeny na čerpací stanici, lze je tedy naplnit GAU a využívat. Hala filtrů je viditelná na Obr. 4.5.

Za běžného provozu, který funguje na úpravně zhruba 2 týdny v měsíci a řídí se předem daným harmonogramem, je filtrováno asi 700 l·s<sup>-1</sup> po dobu 8 hodin denně. Pokud je pozastavena dodávka pitné vody z Březovských vodovodů, úpravna může fungovat v nepřetržitém provozu a pokrýt tak celkovou potřebu pitné vody v zásobované oblasti. [41]

Před odstávkou během přískokového režimu jsou pískové filtry vyprány, ale zůstávají zatopené, zatímco GAU filtry se vyperou a vypustí.



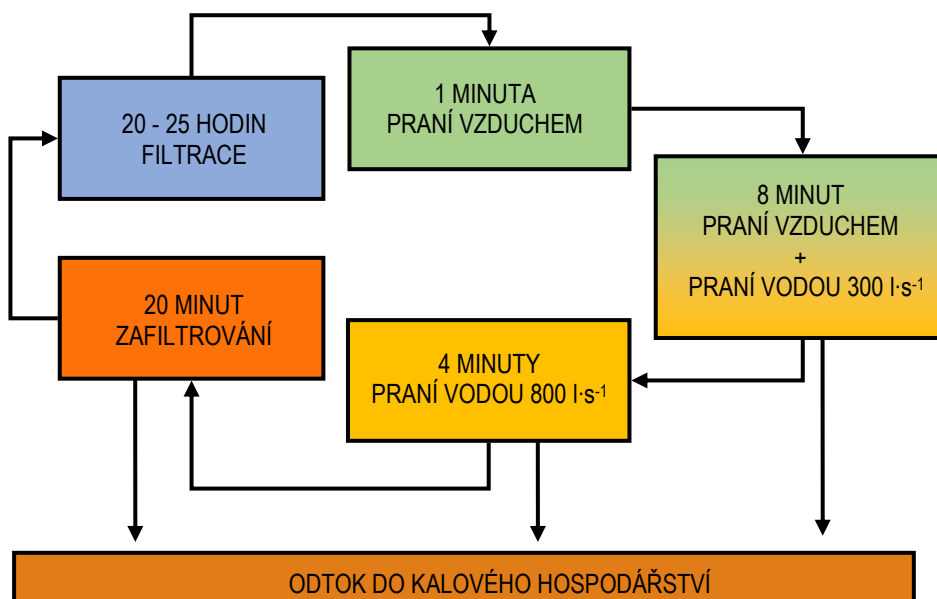
Obr. 4.5 Hala filtrů (foto: Zdeněk Antoš)

#### 4.6.1 Filtrace přes křemičitý písek

Přítok upravované vody k deseti filtrům o ploše  $10 \times 100 \text{ m}^2$  uspořádaných do dvojic je zajištěn potrubím napojeným na přepadovou část míchačů. Přefiltrovaná voda je odváděna z mezidna filtrů směrem na další separační stupeň. Jedná se o filtry evropského typu, k jejich praní je využíván i vzduch. Ten je přiváděn z dmychárny. Prací voda je odebírána z vodojemu prací vody a použitá prací voda je potrubím, do kterého je i vyústěn odtok vody ze zafiltrování, odváděna do úseku kalového hospodářství. [33]

Z Obr. 4.6 je patrné, jak za běžného provozu filtrační a prací cyklus probíhá. Obvyklá délka filtračního cyklu je při standardní kvalitě upravované vody 20 – 25 hodin. Pokud je kvalita upravované vody snížena, doba filtrace se pohybuje mezi 10 a 13 hodinami. Jsou stanovena 3 kritéria, přičemž při překročení alespoň jednoho z nich je zahájeno praní:

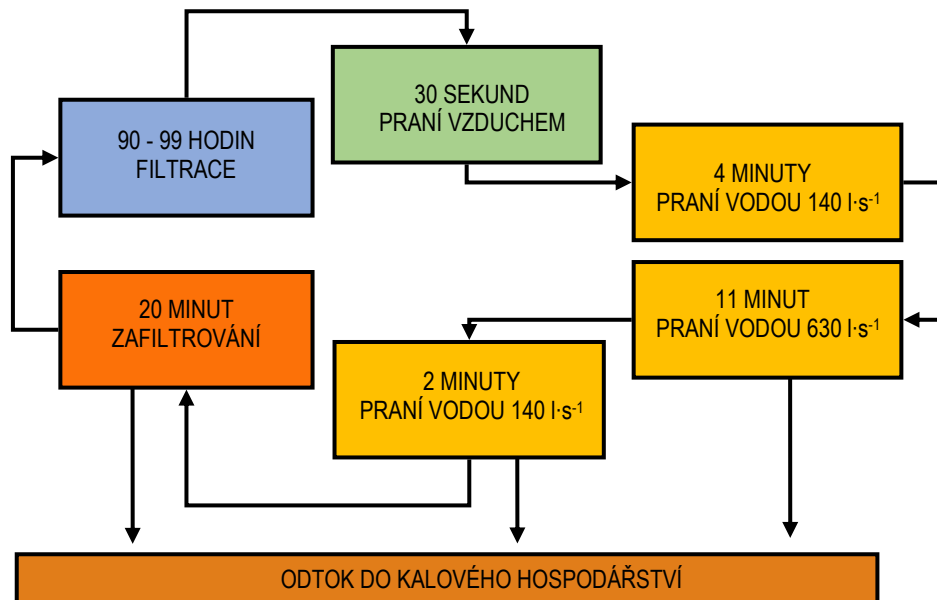
- tlaková ztráta 7 kPa;
- zákal 0,5 ZF(n);
- doba filtrace 60 hodin. [33] [41]



Obr. 4.6 Schéma průběhu filtračního a pracího cyklu pískových filtrů

## 4.6.2 Filtrace přes granulované aktivní uhlí

Filtry s GAU fungují jako druhý separační stupeň. Po filtraci vody přes pískové filtry prochází voda desinfekční ozonizací, po níž je upravovaná voda dočasně umístěna ve vstupních akumulacích nádržích. Odsud je čerpána na filtry s GAU. Vzhledem k tomu, že filtry měly být původně všechny zaplněny pískem a byly podle toho i realizovány, nátok na filtry a odvod prací vody je realizován prakticky shodně jako na prvním separačním stupni. Odlišně však probíhá praní, což je patrné na Obr. 4.7.



Obr. 4.7 Schéma průběhu filtračního a pracího cyklu GAU filtrů

Oproti pískovým filtrům mají GAU filtry delší filtrační cyklus, protože odstraňují menší množství znečištění. Praní probíhá nejdříve pouze vzduchem a potom pouze vodou ve 3 fázích, které se od sebe liší jak délkou, tak intenzitou praní.

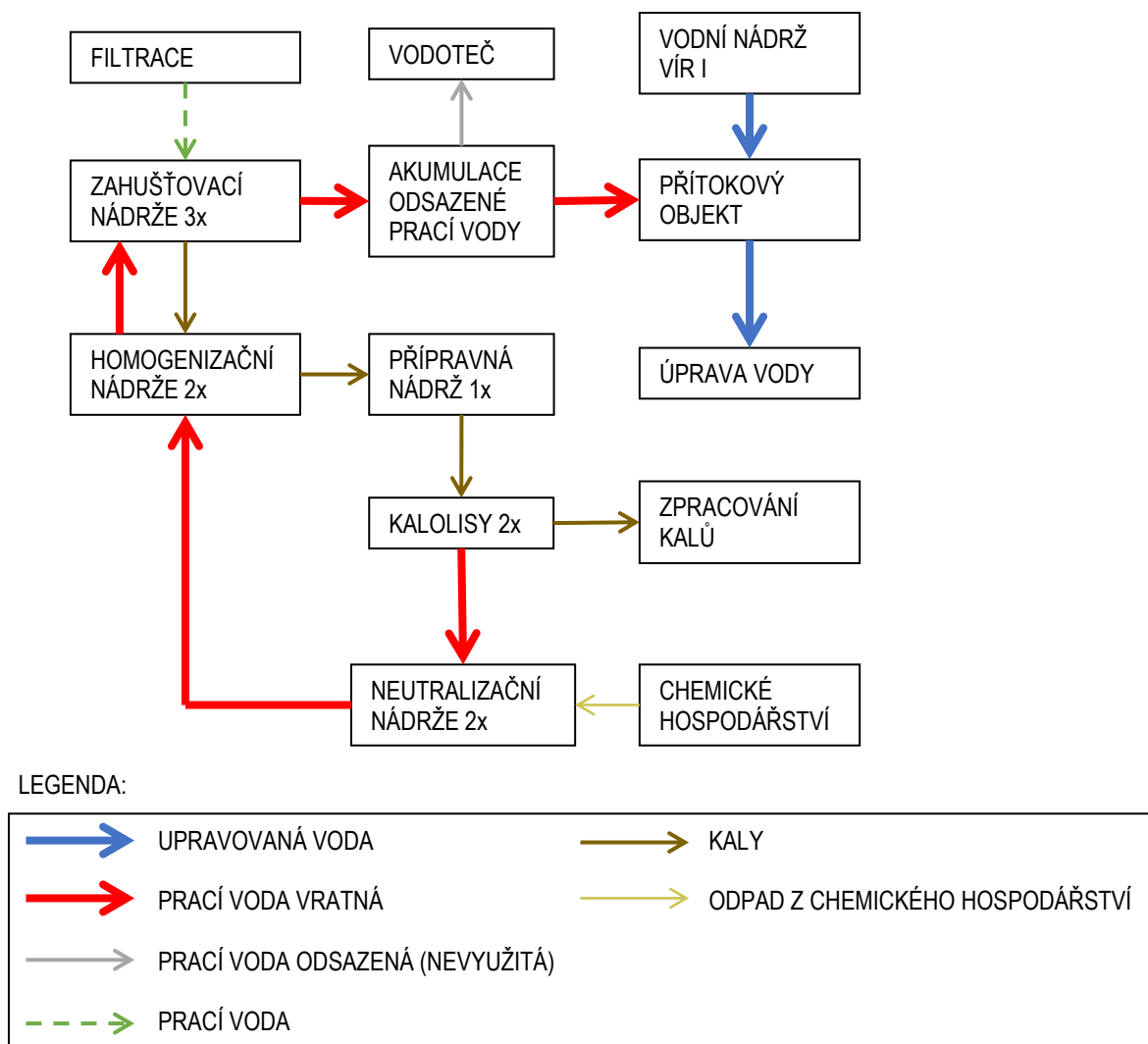
Po filtraci na GAU je odváděna voda ke konečné akumulaci, přičemž před nátokem do akumulacích nádrží je do vody nadávkováno desinfekční činidlo v podobě oxidu chloričitého a v případě potřeby vápenná voda pro optimalizaci pH vody.

## 4.7 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Detailněji je úsek kalového hospodářství popsán na Obr. 4.8. Z něj vyplývá, že prací voda odtéká do tří zahušťovacích nádrží, kde je kal usazen a odsazená prací voda odtéká do akumulace odsazené prací vody. Šířka každé nádrže je 6 m, délka 30 m a hloubka se pohybuje v rozmezí od 5,15 do 5,45 m. Prací voda do zahušťovacích nádrží přitéká nátokovým žlabem s bezpečnostním přelivem. Každá zahušťovací nádrž je rozdělena do tří zón. První z nich je rozdělovací část o objemu asi 40 m<sup>3</sup>, kde dochází k přítoku prací vody do nádrže a k jeho zpomalení a zrovnoměnění po celém příčném průřezu nádrže. Do druhé, sedimentační, části voda přitéká děrovanou stěnou. Tato část má objem asi 950 m<sup>3</sup> a zde dochází k usazování kalů z prací vody. Poslední částí jsou kalové jímky. Na konci každé nádrže jsou 2 kalové jímky tvaru obráceného komolého jehlanu a jejich objem je asi 22 m<sup>3</sup>. Sem jsou shrabovány kaly ze dna nádrže a následně jsou přemístěny k dalšímu zpracování. [33]

Kaly putují do dvou kruhových homogenizačních nádrží o průměru 6 m a objemu 107 m<sup>3</sup>, které fungují na podobném principu. Prívod kalů je zajištěn válcem umístěným ve středu nádrže a odsazená prací voda je získávána díky přepadu umístěnému po obvodu nádrže. Voda je odváděna zpět do sedimentačních nádrží a kaly ze dna nádrží jsou přepravovány do přípravné nádrže. [33]

Přípravná nádrž tvoří poslední stupeň pro usazování kalů. Má stejnou velikost, uspořádání a vybavení jako homogenizační nádrže. Kal získaný v tomto stupni je přepravován do kalolisů. Pomocí kalolisů je získána poslední část odsazené prací vody, která se dostává do neutralizačních nádrží a zpět do homogenizačních nádrží. Do neutralizačních nádrží jsou zřízeny přítoky odpadů z chemického hospodářství, které jsou však využívány pouze výjimečně, zejména v případě poruchy v chemickém hospodářství. V kalovém hospodářství tedy dochází k cirkulaci kalů a odsazené prací vody tak, aby bylo dosaženo minimalizace objemu kalů, které jsou zpracovány a odvezeny z provozu úpravný pryč.



Obr. 4.8 Schéma kalového hospodářství ÚV Švařec

## 4.8 KONTROLA JAKOSTI VODY

Kontrola jakosti vody je prováděna ve smyslu těchto předpisů:

- Vyhláška č. 428/2001 Sb. Ministerstva zemědělství, 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);
- Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Metody, postupy kontroly, způsob zpracování evidence a archivace výsledků jsou prováděny dle platných standardních pracovních postupů a standardních operačních postupů útvaru kontroly kvality Brněnských vodáren a kanalizací a.s. Odběr vzorků a jejich vyhodnocení se řídí směrnicí Brněnských vodáren a kanalizací, a.s. a plánem odběrů vzorků pro příslušný rok. [33] Obecně lze říci, že platí tato tabulka:

**Tab. 4.2 Četnost odběru vzorků [33]**

<i>Místo odběru vzorků, popis</i>	<i>Četnost</i>
Vzorky vody ze tří výškových odběrových horizontů surové vody (za účelem volby odběru z horizontu s aktuálně nejlepší kvalitou surové vody)	Vždy před najetím úpravní, za provozu dle potřeby, min. 1x týdně
Monitoring sondou a hladin 0 – 30 cm	V sezónním období květen až říjen vždy před najetím úpravní, za provozu dle potřeby, min. 1x měsíčně
Nátok surové vody do úpravní vody	Za provozu 1x denně
Nátok surové vody do úpravní vody - koagulační řada vzorku surové vody	Dle potřeby, min. 1x týdně
Vzorek vody odebraný před nátokem na rychlofiltry (za mícháním)	Za provozu 1x denně
Vzorky vody odebrané na odtoku z rychlofiltrů (křemičitý písek i GAU)	Za provozu 1x denně
Vzorky vody odebrané na vtoku do akumulární nádrže	Za provozu 1x denně
Vzorky vody odebrané na odtoku z akumulární nádrže upravené vody	Za provozu 1x denně
Odpadní voda z kalového hospodářství	1 x za 3 měsíce
ClO <sub>2</sub> z výrobní jednotky	Za provozu 1x týdně

## 5 PRVNÍ ETAPA OVĚŘENÍ MOŽNOSTI PROVEDENÍ ZÁMĚRU

Pro posouzení, zda je záměr zvýšit podíl vratné prací vody z poměru 5:95 na 10:90 možný, byly sledovány některé ukazatele kvality vody. Ukazatele byly vybrány na základě provozních zkušeností pracovníků na ÚV Švařec. Mezi vybrané ukazatele byla zařazena

- hodnota zákalu;
- hodnota barvy;
- hodnota chemické spotřeby kyslíku manganistanem draselným;
- koncentrace železa;
- koncentrace manganu;
- koncentrace hliníku.

Sledování koncentrace hliníku bylo vybráno z důvodu, že pro úpravu vody je využíváno koagulantu síranu hlinitého, který značně zvyšuje koncentraci hliníku v prací vodě.

Byly využity naměřené hodnoty ze vzorků surové, upravené a prací vratné vody během roku 2015, přičemž posouzení bylo provedeno na konci téhož roku. Naměřené a vypočtené hodnoty vybraných ukazatelů jsou uvedeny jako Příloha 4, Příloha 5 a Příloha 6 této práce.

### 5.1 KVALITA UPRAVENÉ VODY

Z Tab. 5.1 Kvalita upravené vody v roce 2015 vyplývá, že hodnota zákalu byla po celý rok v průměru dvacetkrát nižší, než je MH daná vyhláškou. V některých případech klesla hodnota zákalu pod detekovatelnou mez, tj. 0,01 ZF. Podobná situace nastala pro barvu, jejíž hodnota klesla pod detekovatelnou mez, tj. 5 mg·l<sup>-1</sup> Pt, v naprosté většině případů. V případě CHSK<sub>Mn</sub> byla výsledná hodnota v průměru čtyřikrát nižší, než je MH daná vyhláškou, avšak hodnoty byly značně nevyrovnané. Příkladem mohou být rozdílné výsledky z období 22. 9. až 10. 11., kdy hodnota původně pod detekovatelnou mezí nabyla celoročního maxima a zase klesla pod detekovatelnou mez. Koncentrace železa byla v upravené vodě průměrně sedmkrát nižší, než je MH. Pro mangan i hliník platilo, že jejich koncentrace byly prakticky celoročně nižší, než je detekovatelná mez, která je pro mangan stanovena na 0,02 mg·l<sup>-1</sup> a pro hliník 0,04 mg·l<sup>-1</sup>.

Z těchto výsledků vyplývá, že úpravna po celý rok produkovala velmi kvalitní vodu, která se ani v jednom parametru neblížila mezním hodnotám daným vyhláškou i přes to, že již bylo do procesu úpravy vody přimícháváno 5 % prací vody vratné.

**Tab. 5.1 Kvalita upravené vody v roce 2015**

<i>Datum rozboru</i>	<i>Zákal [ZF]</i>	<i>Barva [m·l<sup>-1</sup> Pt]</i>	<i>CHSK<sub>Mn</sub> [m·l<sup>-1</sup>]</i>	<i>Železo [m·l<sup>-1</sup>]</i>	<i>Mangan [m·l<sup>-1</sup>]</i>	<i>Hliník [m·l<sup>-1</sup>]</i>
6.1.	0,43	<5	1,48	0,04	<0,020	<0,04
27.1.	0,19	<5	0,48	0,03	<0,020	<0,04
10.2.	0,47	<5	1,47	0,04	<0,020	<0,04
17.2.	0,28	<5	0,93	0,03	<0,020	<0,04
3.3.	0,40	<5	1,09	0,04	<0,020	<0,04
17.4.	0,28	5	0,51	<0,02	<0,020	<0,04
21.4.	0,16	<5	0,45	0,03	<0,020	<0,04
12.5.	0,22	<5	0,96	0,02	<0,020	<0,04
19.5.	0,13	<5	0,55	0,03	<0,020	<0,04
2.6.	0,40	<5	1,04	0,05	<0,020	<0,04
10.6.	0,17	<5	0,90	<0,02	<0,020	<0,04
23.6.	0,32	<5	1,02	0,03	<0,020	<0,04
30.6.	0,12	<5	0,68	0,03	<0,020	<0,04
14.7.	0,39	<5	0,82	<0,02	<0,020	<0,04
21.7.	0,12	<5	0,39	0,03	<0,020	<0,04
4.8.	1,62	<5	1,55	0,04	<0,020	<0,04
11.8.	<0,10	<5	0,84	0,03	<0,020	<0,04
25.8.	0,39	5	0,58	0,03	<0,020	<0,04
1.9.	0,11	<5	0,90	<0,02	<0,020	<0,04
15.9.	1,07	9	0,90	<0,02	<0,020	<0,04
22.9.	<0,10	<5	<b>&lt;0,30</b>	0,03	<0,020	<0,04
6.10.	1,24	<5	<b>0,77</b>	0,04	<0,020	0,19
20.10.	0,44	<5	<b>2,58</b>	0,03	<0,020	<0,04
3.11.	0,64	6	<b>0,51</b>	0,06	0,023	<0,04
10.11.	0,29	6	<b>&lt;0,30</b>	0,03	0,029	<0,04
24.11.	0,59	6	1,76	0,04	0,025	<0,04
1.12.	0,43	6	<0,30	<0,02	<0,020	<0,04
7.12.	0,12	<5	0,74	<0,02	<0,020	<0,04
<b>MH daná vyhláškou</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,05</b>	<b>0,2</b>

## 5.2 HODNOTY VYBRANÝCH UKAZATELŮ

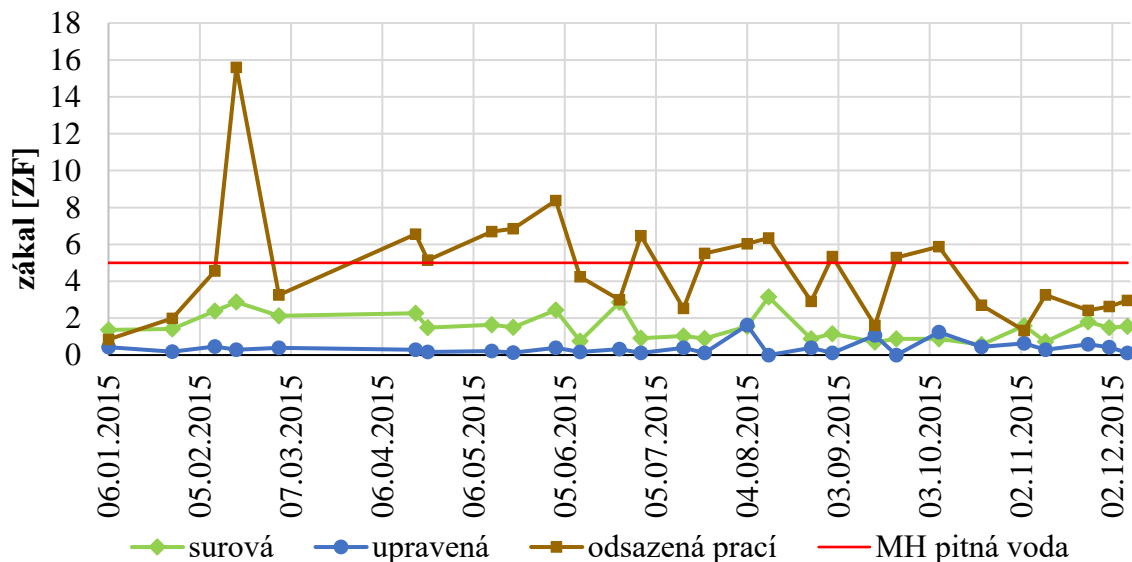
Pro všechny vybrané ukazatele byl proveden grafický rozbor hodnot surové, upravené a odsazené prací vody. Pro ty, pro které to bylo možné, tj. železo, mangan a hliník, bylo vypočteno, jakých koncentrací by bylo dosaženo ve směsné vodě, která by obsahovala 5 nebo 10 % odsazené prací vody.



### 5.2.1 Zákál

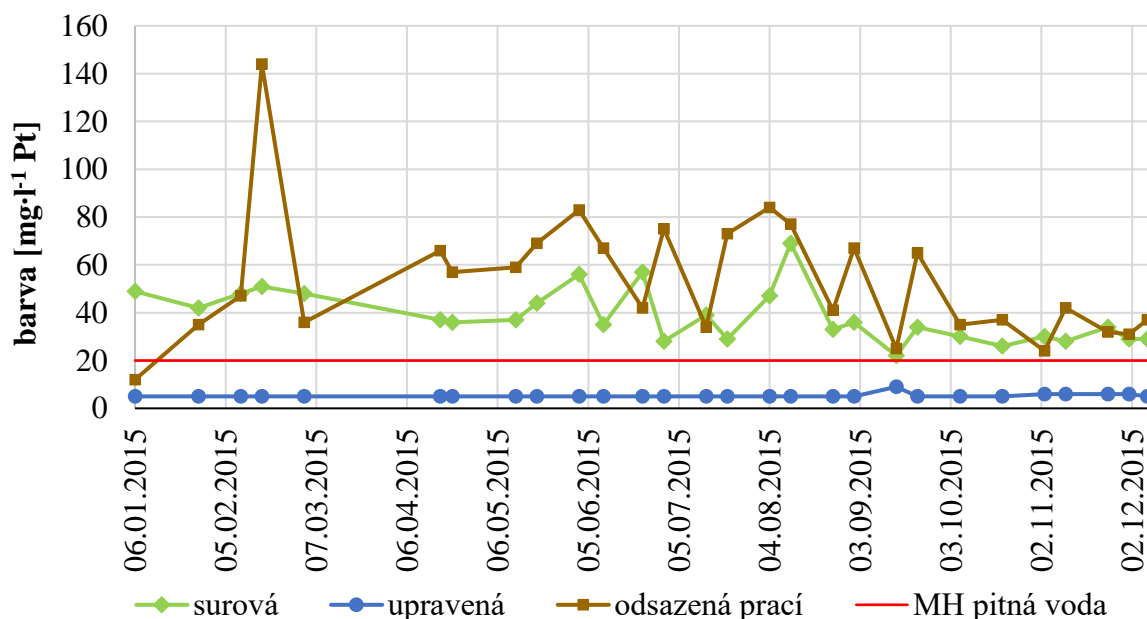
Pro zákál byl zpracován Graf 5.1. Vyplývá z něj, že nejhorších hodnot a největších rozdílů v hodnotách bylo dosahováno v odsazené práci vodě. I přesto ale zhruba polovina hodnot zákálu této vody je nižší než MH stanovená vyhláškou. Dalo se tedy předpokládat, že směsná voda s obsahem 10 % odsazené práci vody by sice měla vyšší hodnoty zákálu, proces úpravy by však nebyl výrazně negativně tímto faktem ovlivněn. Přesnějších hodnot by mohlo být docíleno laboratorními pokusy.

Zvýšený zákál v odsazené práci vodě může poukazovat na výskyt nežádoucích mikroorganismů. V následujících krocích by měly být sledovány i některé mikrobiologické ukazatele.



Graf 5.1 Naměřené hodnoty zákálu v průběhu roku 2015

### 5.2.2 Barva

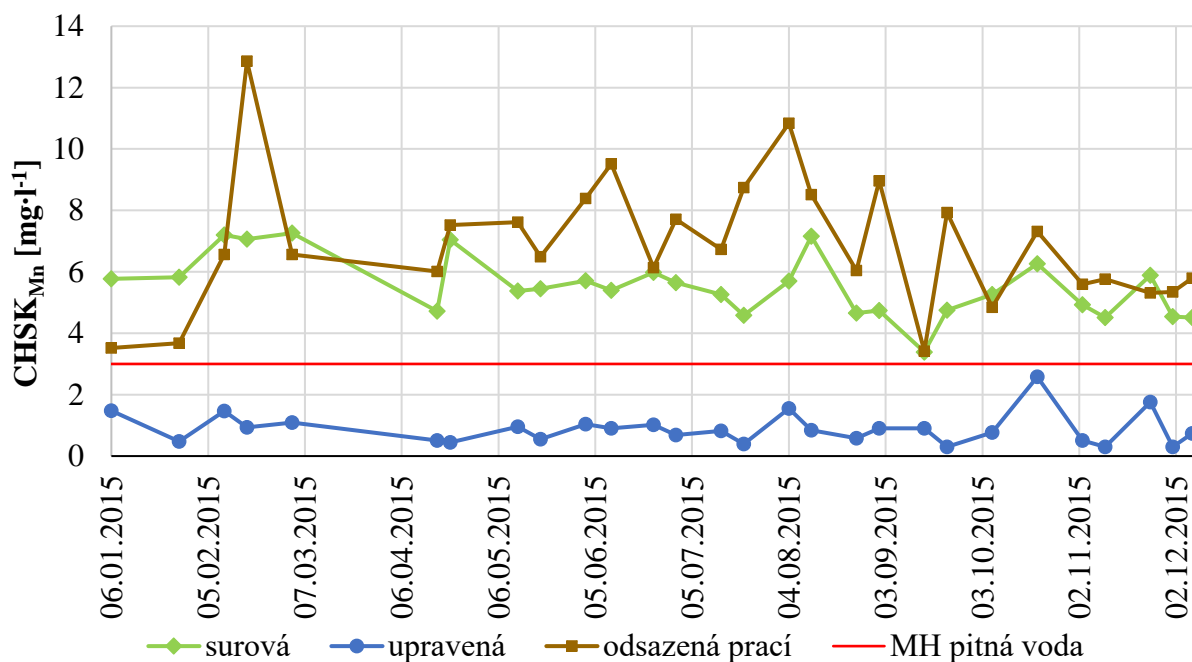


Graf 5.2 Naměřené hodnoty barvy v průběhu roku 2015

Analýzou hodnot barvy bylo zjištěno (viz Graf 5.2), že jak hodnota surové vody, tak hodnota odsazené prací vody přesahovala celoročně MH danou vyhláškou. Směsná voda s 10 % odsazené prací vody by tedy měla horší hodnotu v tomto ukazateli, bez laboratorních pokusů však nebylo možné určit směrodatnou hodnotu.

### 5.2.3 Chemická spotřeba kyslíku

Situace u  $CHSK_{Mn}$  byla téměř totožná s barvou. Jak hodnoty surové, tak hodnoty odsazené prací vody byly celoročně vyšší než MH pro pitnou vodu. Při přimíchání 10 % odsazené prací vody do vody surové by došlo ke zhoršení tohoto ukazatele, avšak bez laboratorních testů nebylo možné určit, o kolik. To je zřejmé z Grafu 5.3.



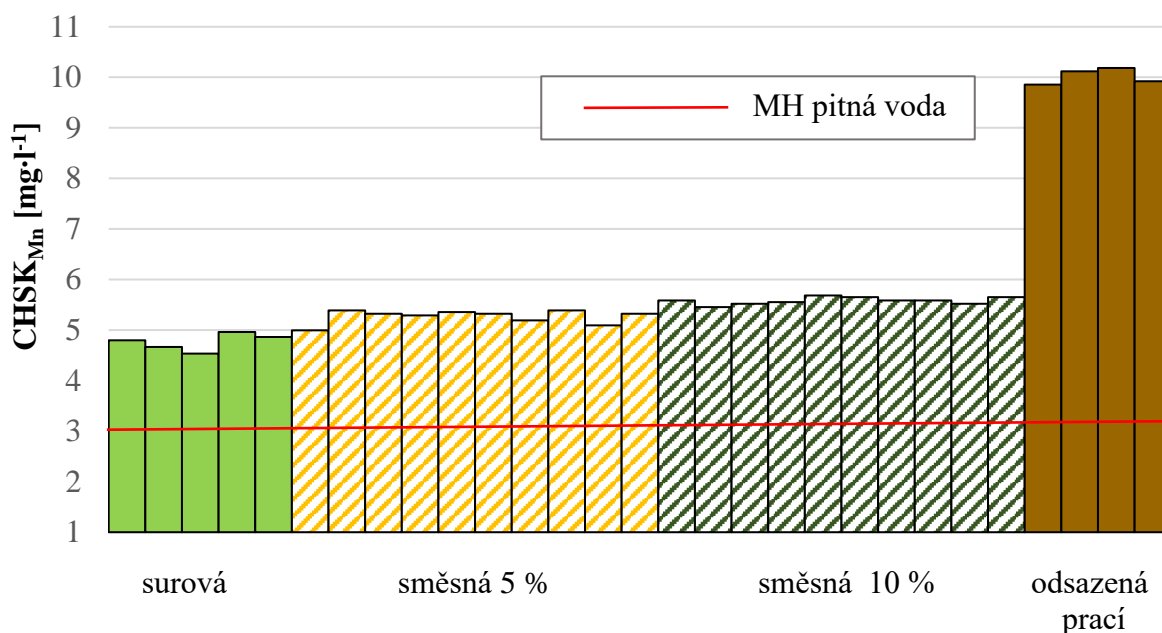
Graf 5.3 Naměřené hodnoty  $CHSK_{Mn}$  v průběhu roku 2015

#### ***Stanovení chemické spotřeby kyslíku laboratorně***

Vzhledem k tomu, že  $CHSK_{Mn}$  směsné vodě nelze určit výpočtem, bylo přistoupeno k jejímu laboratornímu stanovení, aby bylo možné určit, jak smíchávání dvou různých druhů vod  $CHSK_{Mn}$  ovlivňuje. Z tohoto důvodu bylo provedeno stanovení  $CHSK_{Mn}$  během dvou dnů na čtyřech skupinách vzorků:

- 10 vzorků odsazené prací vody a surové vody v poměru 5:95 (tj. směsná voda 5 %);
- 10 vzorků odsazené prací vody a surové vody v poměru 10:90 (tj. směsná voda 10 %);
- 5 vzorků surové vody;
- 5 vzorků odsazené prací vody, přičemž v průběhu prvního měření byl jeden vzorek vyřazen z důvodu chyby.

Postup laboratorního určení  $CHSK_{Mn}$  odměrnou metodou je popsán v kapitole 3.5.3 této práce. Tabulky s výsledky měření jsou uvedeny jako Příloha 7 této práce.



**Graf 5.4** Hodnoty CHSK<sub>Mn</sub> v různých vzorcích vody

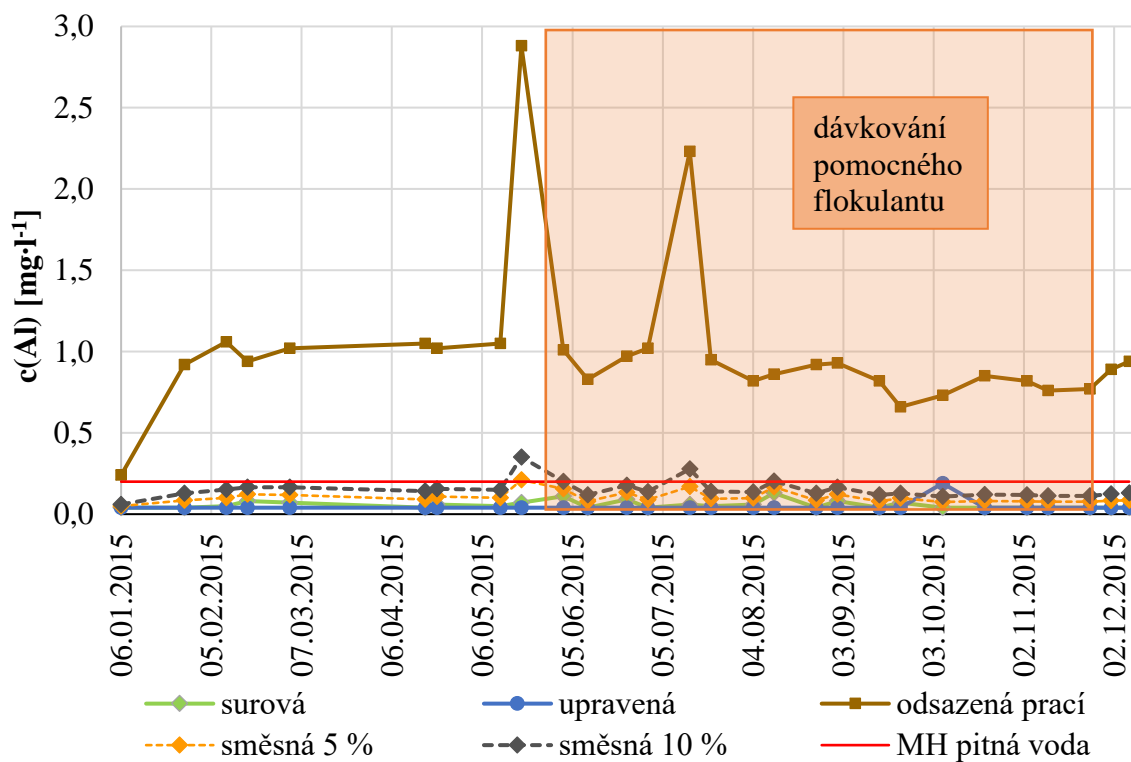
Z naměřených hodnot (viz Graf 5.4) vyplývá, že i přes to, že odsazená prací voda vykazovala CHSK<sub>Mn</sub> mnohem vyšší, tak v obou typech směsných vod došlo jen k mírnému nárůstu tohoto parametru.

Průměrná CHSK<sub>Mn</sub> surové vody byla stanovena na 4,76 mg·l<sup>-1</sup>. Odsazená prací voda měla průměrnou CHSK<sub>Mn</sub> více než dvojnásobnou, tj. 10,02 mg·l<sup>-1</sup>. Pokud byla smíchána surová voda s odsazenou prací vodou v poměru 95:5, pak se průměrná CHSK<sub>Mn</sub> směsné vody zvýšila na 5,27 mg·l<sup>-1</sup>, což je asi o 11 % více než CHSK<sub>Mn</sub> vody surové. V případě, kdy byla smíchána surová voda a voda odsazená prací v poměru 90:10, se průměrná CHSK<sub>Mn</sub> zvýšila na 5,58 mg·l<sup>-1</sup>, což je o 17 % více než u vody surové.

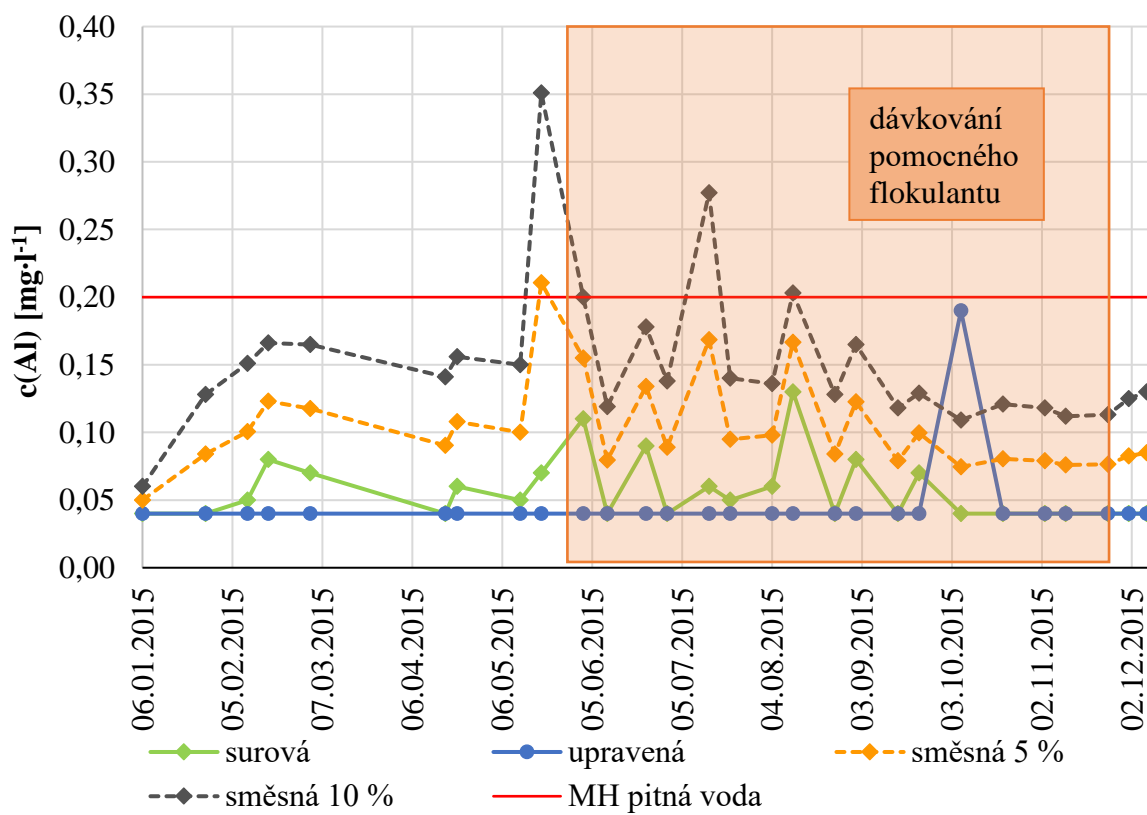
Byla provedena i druhá sada měření, nicméně ta z důvodu chyby nemohla být uvažována. Její výsledky jsou uvedeny jako Příloha 8 této práce.

#### 5.2.4 Hliník

Z Grafu 5.5 je viditelné, že koncentrace hliníku byla v odsazené prací vodě značně zvýšená. Důvodem je již zmíněné dávkování koagulantu síranu hlinitého. Vzhledem k tomu, že surová voda nemá stálé vlastnosti, bylo v období od 2. června do 28. listopadu 2015 zapotřebí dávkování pomocného flokulantu, neboť bez něj nedocházelo k dostatečnému vyvločkování před nátokem na filtraci. Po dávce flokulantu se podařilo tento nepříznivý stav odstranit a ustálit hodnoty hliníku ve vratné vodě na nižších hodnotách. V Grafu 5.6, ve kterém již nejsou zaneseny hodnoty odsazené prací vody, jsou uvedeny teoretické hodnoty koncentrace hliníku, které by směsná voda před procesem úpravy měla, pokud by do surové bylo přimíchání 5 nebo 10 % odsazené prací vody. Z grafu vyplývá, že přimícháním odsazené vody prací by došlo ke zvýšení koncentrace hliníku ve směsné vodě, ale i přesto by směsná voda jen výjimečně obsahovala množství, které přesahuje MH danou vyhláškou. I tak je ale zapotřebí brát na zřetel, že zvýšením koncentrace hliníku by mohlo dojít k negativnímu ovlivnění úpravárenského procesu.



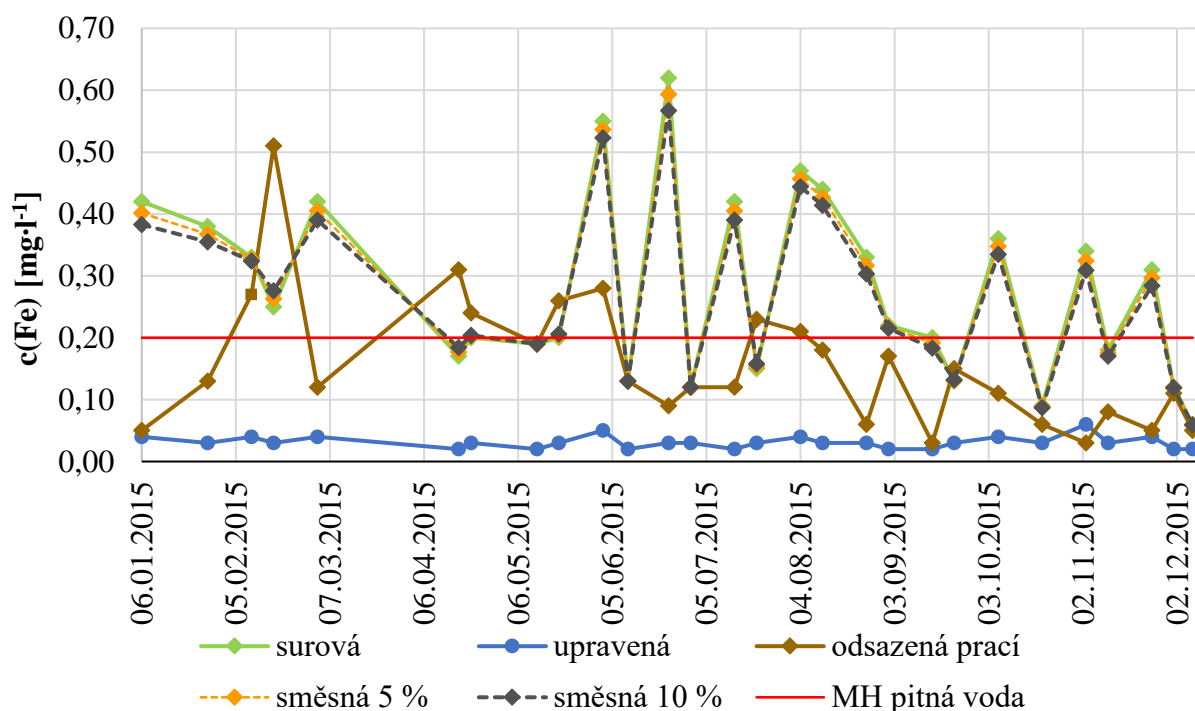
Graf 5.5 Naměřené a teoretické koncentrace hliníku v průběhu roku 2015



Graf 5.6 Detail naměřených a teoretických koncentrací hliníku v průběhu roku 2015

### 5.2.5 Železo

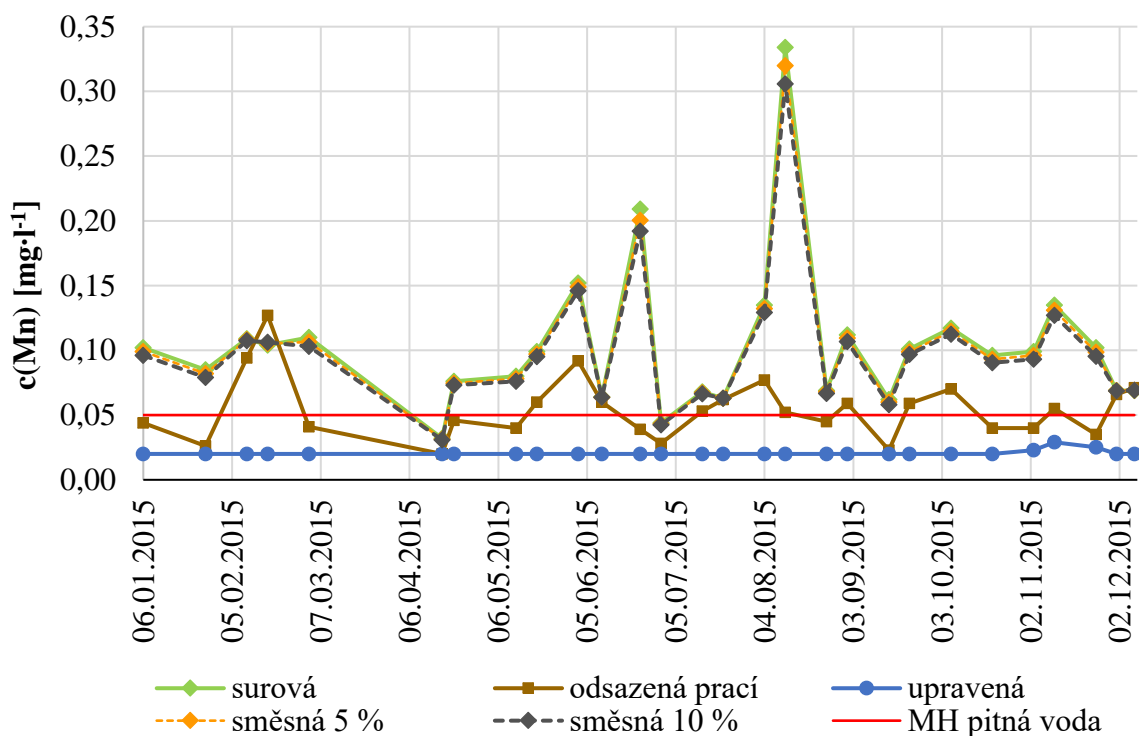
Jak vyplývá z Grafu 5.7, koncentrace železa v odsazené práci vodě byla zhruba v polovině případů nižší, než je MH pro pitnou vodu. Navíc byly tyto hodnoty mnohem nižší než koncentrace železa v surové vodě. To zřejmě zapříčinila velmi účinná sedimentace v kalovém hospodářství provozu, díky níž se zde od vratné vody oddělila většina znečištění, které práci voda a voda ze zafiltrování obsahovala. Odsazená práci voda by upravovanou vodu co do koncentrace železa mírně naředila. Navýšení podílu vratné vody z 5 na 10 % by tedy nemělo způsobovat žádné provozní problémy.



Graf 5.7 Naměřené a teoretické koncentrace železa v průběhu roku 2015

### 5.2.6 Mangan

Obdobná situace jako pro železo platila pro mangan. Pravděpodobně díky účinné sedimentaci v kalovém hospodářství vykazovala odsazená práci voda lepší hodnoty než surová voda, což je naznačeno ve Grafu 5.8. Proto lze předpokládat zlepšení upravitelnosti v tomto parametru, neboť vratná práci voda by upravovanou vodu co do koncentrace manganu mírně naředila.



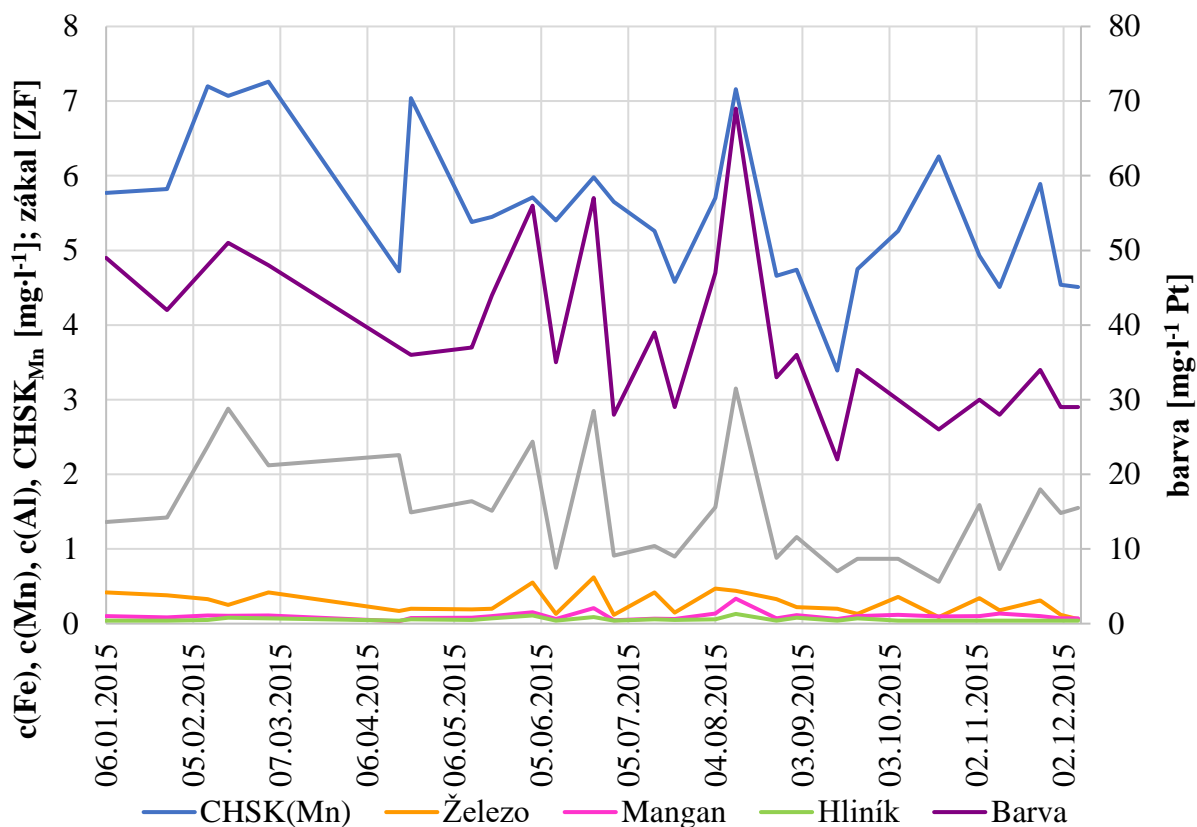
Graf 5.8 Naměřené a teoretické koncentrace manganu v průběhu roku 2015

### 5.3 POROVNÁNÍ PRŮBĚHU HODNOT VYBRANÝCH UKAZATELŮ

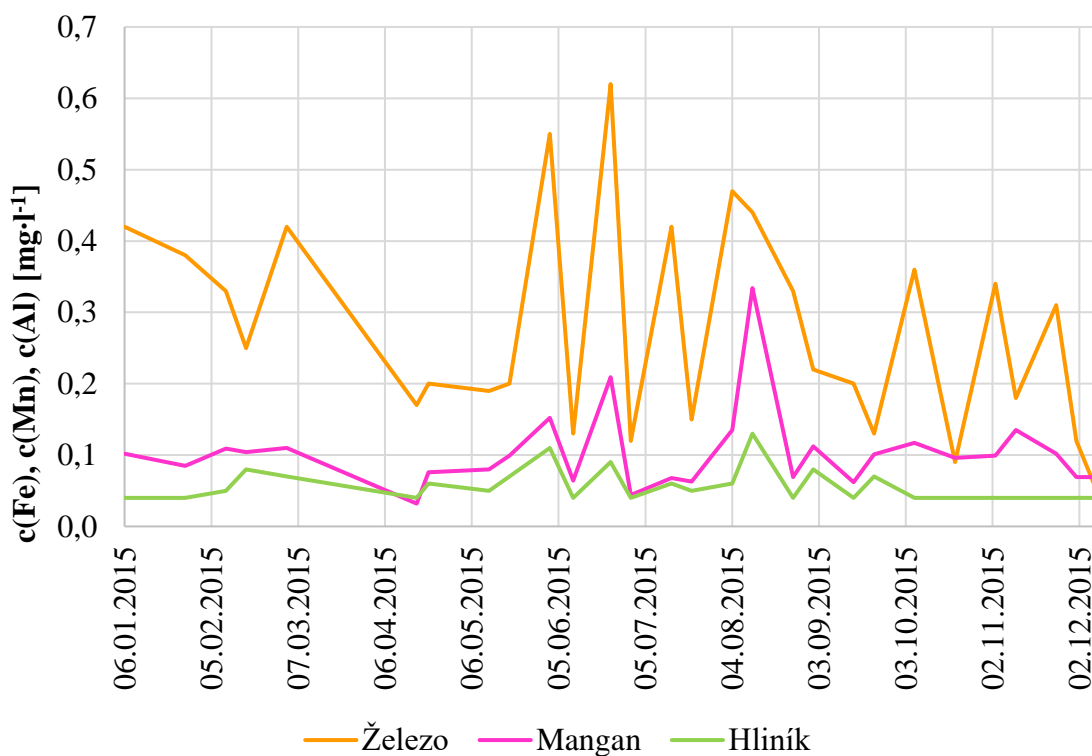
Pro lepší představu o tom, jak spolu souvisejí hodnoty ukazatelů, byly vypracovány Graf 5.9 až Graf 5.12. Z nich vyplývá, že v surové vodě si je průběh hodnot všech 6 ukazatelů velmi podobný.

Průběhy hodnot  $CHSK_{Mn}$ , zákalu a barvy jsou si navzájem podobné i v odsazené prací vodě. Obdobně je tomu u obsahu železa a manganu. Průběh obsahu hliníku v odsazené prací vodě se liší, jelikož během úpravy je do vody nadávkován síran hlinitý, který v ní výrazně zvýší obsah hliníku.

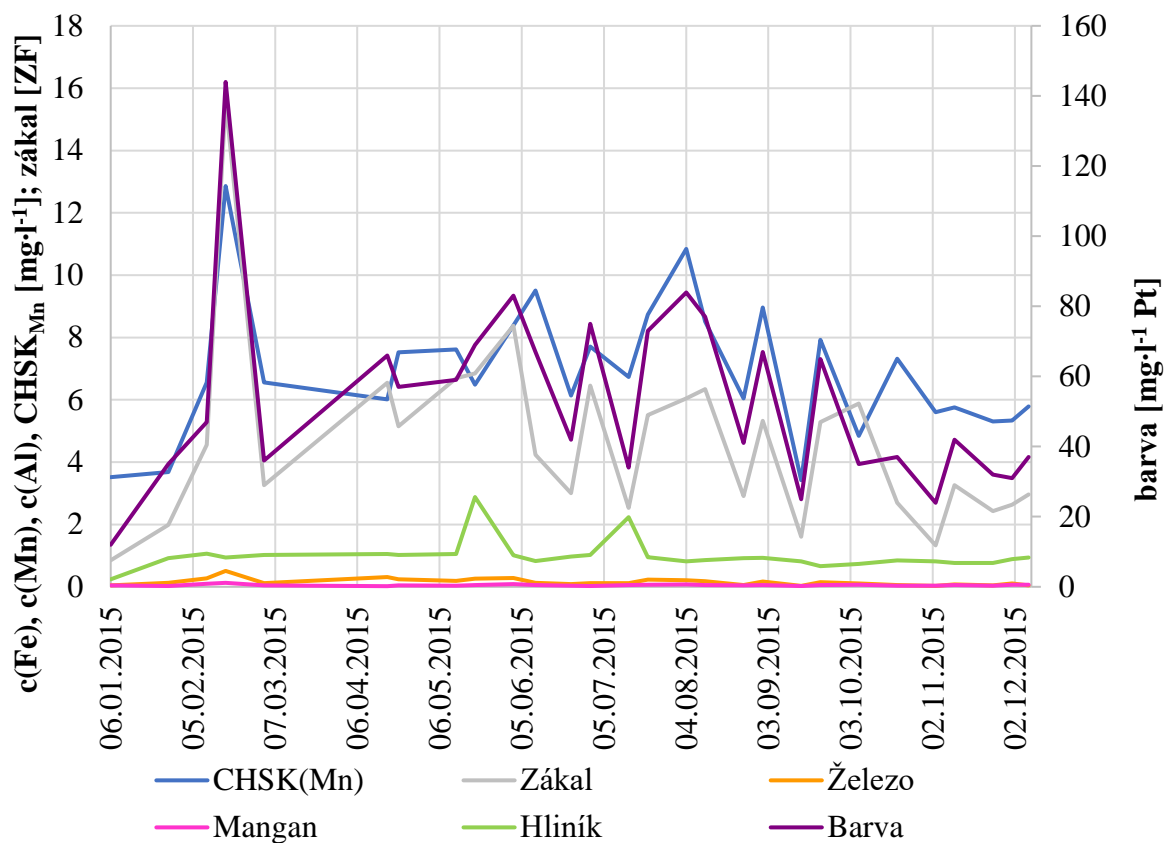
Průběh hodnot vybraných ukazatelů u upravené vody nelze objektivně posoudit, neboť jejich hodnoty byly často pod detekovatelnou mezí. Příslušné grafy jsou zařazeny v Příloze 9 jako Graf 15.1 a Graf 15.2 této práce.



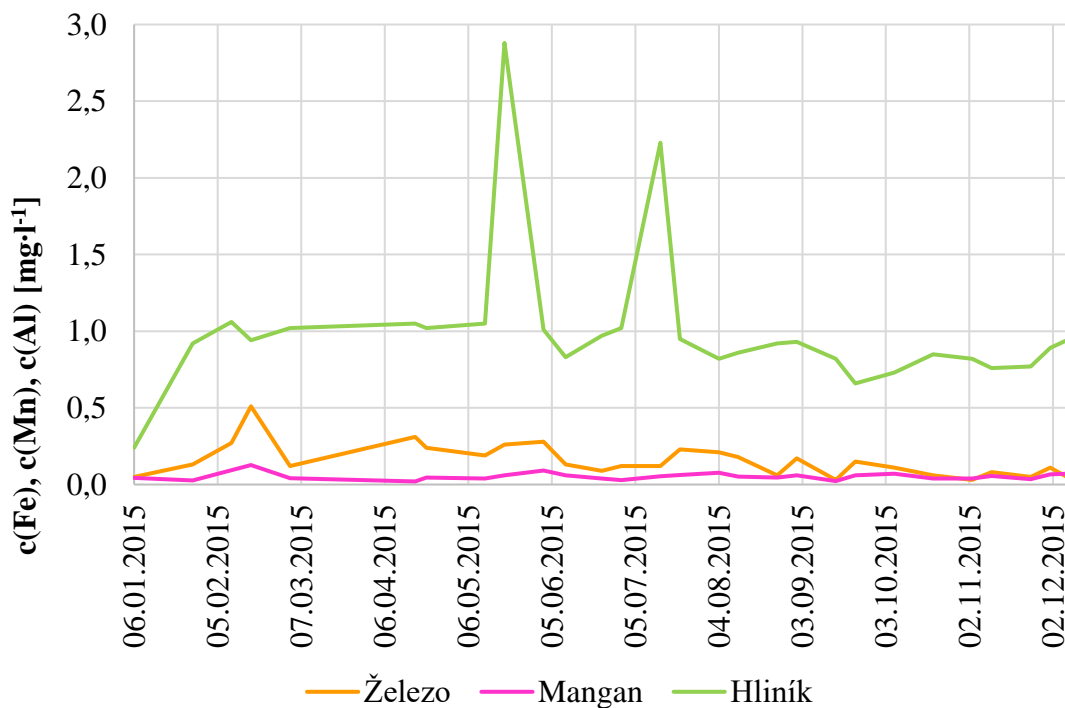
Graf 5.9 Porovnání průběhu hodnot ukazatelů v surové vodě během roku 2015



Graf 5.10 Detail porovnání průběhu hodnot železa, manganu a hliníku v surové vodě během roku 2015



Graf 5.11 Porovnání průběhu hodnot ukazatelů v odsazené prací vodě během roku 2015



Graf 5.12 Detail porovnání průběhu hodnot železa, manganu a hliníku v odsazené prací vodě během roku 2015



## 5.4 ZÁVĚRY VYVOZENÉ Z PRVNÍ ETAPY

Zvýšení podílu vratné prací vody z 5 na 10 % by nemělo negativně ovlivňovat proces úpravy vody s ohledem na koncentraci železa a manganu, neboť lze očekávat dokonce mírné snížení výsledných koncentrací těchto prvků. Hodnoty CHSK<sub>Mn</sub>, barvy a zákalu by se zvýšily, nicméně nejspíš ne natolik, aby výrazně ovlivnily upravitelnost vody. Největší důraz by měl být kladen na obsah hliníku, jelikož jeho koncentrace ve vratné vodě jsou výrazné a s větším podílem vratné vody by se tato koncentrace zvýšila i ve vodě určené k úpravě.

Jedná se však pouze o teoretické předpoklady. V současnosti nejsou odebírány vzorky směsné vody (5 %), tudíž nejsou známy hodnoty ukazatelů pro současně používaný podíl vratné prací vody, ze kterých by bylo možné přibližně odhadnout, jakých by bylo dosaženo hodnot při použití 10 %. Bylo by tedy zapotřebí tyto hodnoty ověřit ideálně koagulačními zkouškami.

Jelikož je v ÚV Švařec přískokový provoz a je zde upravována povrchová voda, která je typická měnící se kvalitou v průběhu roku, bylo by třeba tyto pokusy provést v dostatečné kvantitě tak, aby vznikla množina výsledků vypovídající o skutečném stavu.

Vzhledem k tomu, že si byl průběh hodnot jednotlivých ukazatelů v surové vodě během roku 2015 podobný, rizikové období by mohlo nastat, pokud by se nárazově zhoršily hodnoty všech pozorovaných ukazatelů v surové vodě, jak tomu bylo například v srpnu 2015. Průběh hodnot ukazatelů by měl být pozorován i v následujících letech a mělo by být vyhodnoceno, čím jsou zvýšené hodnoty způsobeny. Pro srpen 2015 se nabízí jako možné vysvětlení nárůst množství sinic ve vodní nádrži Vír I.

Během realizace další etapy by kromě výše uvedených postupů měla být pozorována kvalita odsazené prací vody, protože délka zdržení prací vody v kalovém hospodářství se výrazně liší. V průběhu chodu úpravně se jedná o hodiny, pokud je úpravna odstavena, může být prací voda podrobena usazování několik dní. To by zřejmě mohlo mít za následek rozdíly ve vlastnostech odsazené prací vody a ty by měly být v dalším kroku taktéž vyhodnoceny.

Dále by měly být v další etapě sledovány vybrané mikrobiologické ukazatele, na které nebyl v první etapě brán zřetel.

## 5.5 ZVÝŠENÍ OBJEMU VRATNÉ PRACÍ VODY V ROCE 2016

Na základě výsledků z první etapy, které nasvědčovaly, že navýšení objemu vratné prací vody nebude mít za následek komplikace během úpravárenského procesu, které by mohly ovlivnit kvalitu upravené vody, bylo rozhodnuto, že od června 2016 bude množství prací vody navýšeno na 6 % celkového objemu vody surové. Z Tab. 5.2 je patrné, že již v letech 2013 až 2015, kdy mělo být do surové vody mícháno 5 % prací vody vratné, bylo dosaženo situace, kdy bylo do vodoteče vypouštěno pouze 70 % objemu prací vody jako prací voda odsazená nevyužitá. Bližší analýzou bylo taktéž zjištěno, že i přes to, že množství vratné prací vody z celkového množství vody surové mělo být 5 %, ve skutečnosti se v ročním průměru jednalo o 3,8 – 4,2 %. Tato odchylka pravděpodobně vznikla jako důsledek složitějšího přískokového provozu, který na úpravně funguje.

Z Tab. 5.2 dále plyne, že během roku 2016 bylo do surové vody přimícháváno průměrně 5,2 % vratné prací vody, přičemž z Tab. 5.3. je zřejmé, že před navýšením objemu vratné prací vody (v období leden až květen 2016) se jednalo průměrně o 4,6 % a po navýšení (v období červen až prosinec 2016) bylo do surové vody přimícháváno 5,6 % vratné prací vody. Díky této změně bylo do vodoteče vypouštěno během roku 2016 průměrně 50 % z původního objemu prací vody. Došlo tedy ke značnému navýšení hospodárnosti provozu, aniž by byl jakkoliv změněn či narušen úpravárenský proces. Objemy sledovaných druhů vody pro jednotlivé měsíce jsou vedeny jako Příloha 10.

**Tab. 5.2 Bilance pro roky 2013 až 2016**

	<i>rok</i>	<i>celkem</i>	<i>měsíční průměr</i>
<i>upravená voda [m<sup>3</sup>]</i>	2013	1 080 379	90 032
	2014	1 697 964	141 497
	2015	1 610 751	134 229
	2016	1 851 224	154 269
<i>surová voda [m<sup>3</sup>]</i>	2013	1 258 120	104 843
	2014	1 828 502	152 375
	2015	1 726 630	143 886
	2016	1 898 490	158 208
<i>prací voda odsazená nevyužitá [m<sup>3</sup>]</i>	2013	148 209	12 351
	2014	143 762	11 980
	2015	156 302	13 025
	2016	97 511	8 126
<i>prací voda vratná [m<sup>3</sup>]</i>	2013	46 388	3 866
	2014	78 229	6 519
	2015	71 171	5 931
	2016	103 212	8 601
<i>prací voda z celkového množství vody surové [%]</i>	2013		16,0
	2014		14,4
	2015		15,0
	2016		10,9
<i>prací voda vratná z celkového množství surové vody [%]</i>	2013		4,2
	2014		4,3
	2015		3,8
	2016		5,2
<i>prací voda odsazená nevyužitá z celkového množství prací vody [%]</i>	2013		78,9
	2014		68,5
	2015		71,5
	2016		50,8

**Tab. 5.3 Detail bilance vody v roce 2016**

	<i>leden - květen</i>	<i>červen - prosinec</i>
<i>průměrný objem prací vody z celkového množství vody surové [%]</i>	12,1	10,1
<i>průměrný objem prací vody vratné z celkového množství surové vody [%]</i>	4,6	5,6
<i>průměrný objem prací vody odsazené nevyužitě z celkového množství prací vody [%]</i>	59,0	43,4

### 5.5.1 Vliv množství prací vody

Z Tab. 5.4 vyplývá, že přestože bylo v roce 2016 odebráno z vodního zdroje víc vody než v roce 2015, úprava vyprodukovala méně prací vody. V procentuálním vyjádření se jedná o 10,9 % vody surové v roce 2016 oproti 15,0 % v roce 2015. Pro zjištění, jak je tento fakt významný pro úspěšnost vracení vody, byl proveden výpočet, v němž bylo předpokládáno, že v roce 2015 bylo průměrně vráceno 5,2 % prací vratné vody do vody surové, stejně jako tomu bylo v roce 2016.

Na základě tohoto předpokladu bylo zjištěno, že v roce 2015 by za předpokladu stejného navýšení vracení vody došlo k vypouštění asi 60 % odsazené vody, zatímco v roce 2016 to bylo asi 50 %. Procentuální množství vyprodukované prací vody oproti vodě surové tedy ovlivňuje úspěšnost vracení prací vody k úpravě celkem významně a je vhodné, aby její množství bylo co nejnižší:

**Tab. 5.4 Porovnání let 2015 a 2016 při předpokládaném vracení prací vratné vody o objemu 5,2 % vody surové**

	2015	2016
<i>celkový objem prací vody [m<sup>3</sup>]</i>	227 473	200 723
<i>celkový objem surové vody [m<sup>3</sup>]</i>	1 726 630	1 898 490
<i>prací voda vratná z celkového množství surové vody [%]</i>	15,0	10,9
<i>množství vratné vody při 5,2 % [m<sup>3</sup>]</i>	89 784	98 721
<i>množství nevyužité vody při 5,2 % [m<sup>3</sup>]</i>	137 688	102 002
<i>množství nevyužité vody z celkového objemu vody prací při 5,2 % [%]</i>	60,5	50,8

Stejně jako pro roky 2011 a 2012, bylo i pro následující roky provedeno vyhodnocení situace, kdy by bylo do surové vody přimícháváno 5 až 10 % vratné prací vody. Z Tab. 5.5 vyplývá, že vzhledem k tomu, že v letech 2013, 2014 a 2015 úprava produkovala zvýšené množství prací vody, docházelo by i při přimíchávání 10 % vratné prací vody k vypouštění přes 20 % nevyužité vody do vodoteče. V roce 2016 by byla situace srovnatelná s rokem 2011 a 2012.

**Tab. 5.5 Objemy nevyužité odsazené prací vody [%] v letech 2013 až 2016 z původního objemu prací vody**

[%]	rok	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	průměr
5	2013	-23,2	77,9	38,0	72,1	75,6	70,2	68,2	68,3	70,2	72,6	57,3	79,2	<b>60,5</b>
	2014	54,4	63,3	33,1	66,5	64,1	61,4	57,6	79,1	59,5	70,9	58,5	77,2	<b>62,1</b>
	2015	48,4	76,4	82,9	65,3	66,0	56,0	60,6	54,3	64,5	75,7	51,4	54,8	<b>63,0</b>
	2016	52,7	32,3	60,2	74,3	53,1	43,3	38,8	56,1	36,8	56,0	52,1	59,3	<b>51,3</b>
6	2013	-47,8	73,5	25,6	66,5	70,7	64,2	61,9	61,9	64,3	67,2	48,8	75,0	<b>52,6</b>
	2014	45,3	56,0	19,7	59,8	56,9	53,7	49,1	74,9	51,4	65,0	50,2	72,6	<b>54,5</b>
	2015	38,0	71,6	79,5	58,3	59,3	47,2	52,7	45,1	57,4	70,8	41,7	45,8	<b>55,6</b>
	2016	43,2	18,7	52,2	69,2	43,7	32,0	26,6	47,3	24,2	47,2	42,6	51,2	<b>41,5</b>
7	2013	-72,5	69,1	13,2	61,0	65,8	58,2	55,5	55,6	58,3	61,7	40,2	70,9	<b>44,8</b>
	2014	36,2	48,7	6,3	53,1	49,8	45,9	40,6	70,8	43,3	59,2	41,9	68,1	<b>47,0</b>
	2015	27,7	66,9	76,1	51,4	52,5	38,5	44,8	36,0	50,2	66,0	31,9	36,7	<b>48,2</b>
	2016	33,8	5,2	44,3	64,1	34,3	20,6	14,3	38,6	11,5	38,4	33,0	43,0	<b>31,8</b>
8	2013	-97,1	64,7	0,8	55,4	60,9	52,3	49,1	49,2	52,4	56,2	31,7	66,7	<b>36,9</b>
	2014	27,0	41,3	-7,1	46,3	42,6	38,2	32,1	66,6	35,2	53,4	33,6	63,5	<b>39,4</b>
	2015	17,4	62,2	72,7	44,4	45,7	29,7	36,9	26,9	43,1	61,1	22,2	27,7	<b>40,8</b>
	2016	24,3	-8,4	36,3	58,9	24,9	9,3	2,1	29,8	-1,1	29,6	23,4	34,9	<b>22,0</b>
9	2013	-121,7	60,3	-11,6	49,8	56,0	46,3	42,8	42,9	46,4	50,7	23,2	62,5	<b>29,0</b>
	2014	17,9	34,0	-20,5	39,6	35,4	30,5	23,6	62,4	27,1	47,6	25,2	58,9	<b>31,8</b>
	2015	7,0	57,5	69,3	37,5	38,9	20,9	29,0	17,7	36,0	56,3	12,5	18,7	<b>33,4</b>
	2016	14,9	-21,9	28,3	53,8	15,5	-2,0	-10,2	21,0	-13,7	20,8	13,8	26,8	<b>12,3</b>
10	2013	-146,4	55,9	-24,0	44,2	51,1	40,3	36,4	36,5	40,5	45,3	14,6	58,4	<b>21,1</b>
	2014	8,8	26,7	-33,9	32,9	28,2	22,8	15,1	58,2	18,9	41,7	16,9	54,4	<b>24,2</b>
	2015	-3,3	52,7	65,9	30,5	32,1	12,1	21,1	8,6	28,9	51,4	2,8	9,6	<b>26,0</b>
	2016	5,4	-35,4	20,4	48,7	6,1	-13,4	-22,4	12,2	-26,4	11,9	4,3	18,6	<b>2,5</b>

Vysvětlivky:	
	< 0 %
	1 - 20 %
	21 - 40 %
	41 - 60 %
	61 - 100 %

## **6 DRUHÁ ETAPA OVĚŘENÍ MOŽNOSTI PROVEDENÍ ZÁMĚRU**

Na základě výsledků z první etapy, která byla založena především na teoretických předpokladech, byla provedena realizace etapy druhé, během níž byly sledovány vytipované ukazatele ve vodách vyskytujících se na ÚV Švařec. Měření probíhala od srpna do prosince roku 2016 a následně bylo provedeno vyhodnocení výsledků.

### **6.1 UKAZATELE SLEDOVANÉ V RŮZNÝCH DRUZÍCH VOD**

#### **6.1.1 Prací voda čerstvá**

Čerstvá prací voda byla odebírána v místě před nátokem do zahušťovacích nádrží kalového hospodářství. Jednalo se tedy o vodu, jejíž součástí bylo veškeré znečištění z praní filtrů. V této vodě byly sledovány barva, zákal, chemická spotřeba kyslíku, koncentrace železa, manganu a hliníku. Dále bylo měřeno pH této vody a byly stanovovány mikrobiologické ukazatele *Clostridium Perfringens*, počty kolonií při 22 °C a 36 °C, Enterokoky a koliformní bakterie. Po provedení několika měření bylo od sledování posledních dvou jmenovaných ukazatelů upuštěno, neboť vykazovaly hodnoty blízké nule. Získané hodnoty ukazatelů jsou uvedeny jako Příloha 11.

#### **6.1.2 Prací voda vratná**

Prací voda vratná má totožné parametry jako voda prací odsazená nevyužitá. Odběr této vody byl prováděn na odtoku z akumulace odsazené prací vody. Sledované ukazatele byly totožné s prací vodou čerstvou.

Cílem sledování dvou druhů pracích vod bylo posoudit, jak ovlivňuje úsek kalového hospodářství vlastnosti prací vody. Jednalo se zejména o to, jak se po průtoku skrze kalové hospodářství sníží jednotlivé sledované ukazatele. Jelikož průtok prací vody kalovým hospodářstvím trvá vlivem přískokového provozu různě dlouhou dobu, šlo i o ověření, zda nedochází k růstu nežádoucích mikroorganismů v prací vodě, když se doba zdržení prodlouží. Získané hodnoty ukazatelů jsou uvedeny jako Příloha 12.

#### **6.1.3 Směsná voda**

V období měření bylo prováděno míchání surové a odsazené prací vody v poměru 9:1. Na této směsné vodě byly uskutečněny koagulační zkoušky s následnou filtrací. Koagulant byl použit shodný, jako je využíván na ÚV Švařec, tedy síran hlinitý v dávkách 15, 20, 25, 30, 35 a 40 mg·l<sup>-1</sup>. U získaných vzorků byly stanoveny barva, zákal, chemická spotřeba kyslíku a koncentrace železa, manganu a hliníku. Mikrobiologické ukazatele sledovány nebyly. Získané hodnoty ukazatelů jsou uvedeny jako Příloha 13.

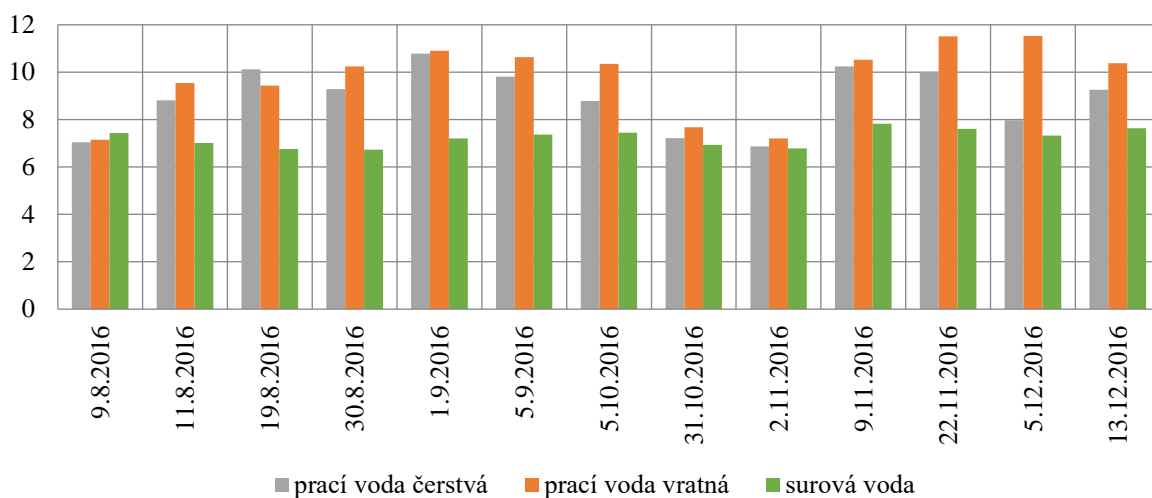
#### **6.1.4 Surová voda**

Aby bylo možné zjistit, jak vlastnosti surové vody ovlivňují sledované parametry jednotlivých druhů vod, byly sledovány výše uvedené ukazatele i v surové vodě. Jejich hodnoty byly získány z měření, která jsou standardně prováděna během provozu ÚV. Získané hodnoty ukazatelů jsou uvedeny jako Příloha 14.

## 6.2 POROVNÁNÍ HODNOT VYBRANÝCH UKAZATELŮ V SUROVÉ VODĚ A V PRACÍ VODĚ ČERSTVÉ A VRATNÉ

### 6.2.1 pH

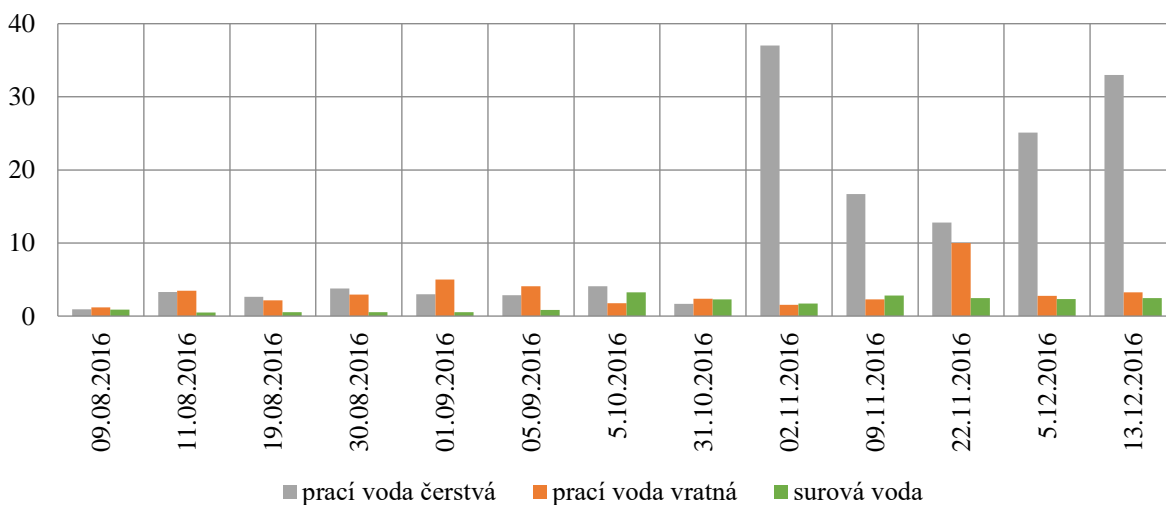
Z Grafu 6.1 vyplývá, že úpravna vody produkuje prací vodu, jejíž pH je oproti vodě surové zpravidla značně zvýšené. Tyto hodnoty jsou průchodem kalovým hospodářstvím ještě navýšeny.



Graf 6.1 Porovnání hodnot pH v různých druzích vod

### 6.2.2 Zákal

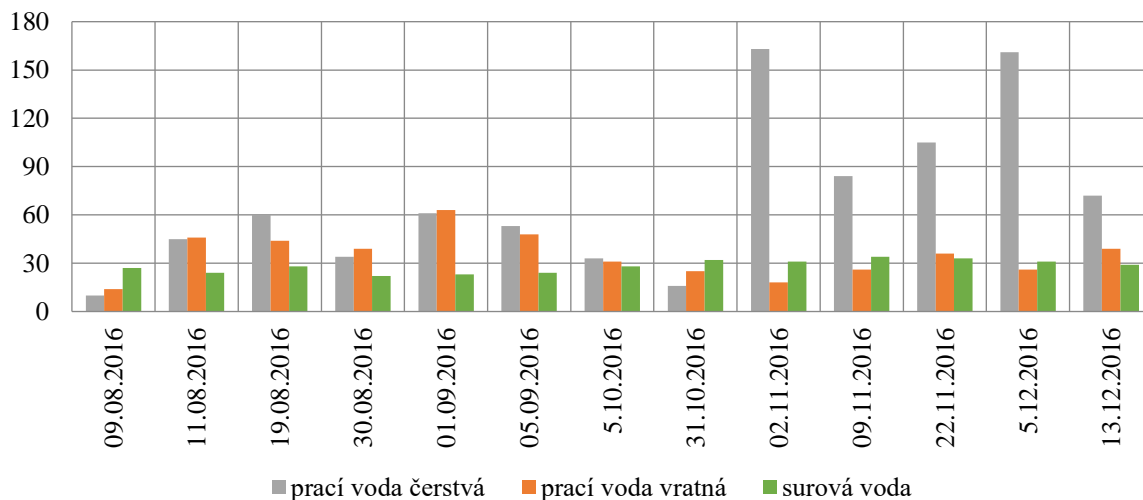
Graf 6.2 ukazuje, že hodnota zákalu prací vody čerstvé se v průběhu roku značně měnila. Zejména v listopadu a prosinci 2016 byly naměřeny poměrně vysoké hodnoty. Nicméně po průtoku skrze úsek kalového hospodářství byla produkována prací voda vratná, jejíž zákal byl téměř během všech měření (s výjimkou 22. 11. 2016) v mezích pro pitnou vodu daných vyhláškou, tj. menší než 5 ZF.



Graf 6.2 Porovnání hodnot zákalu [ZF] v různých druzích vod

### 6.2.3 Barva

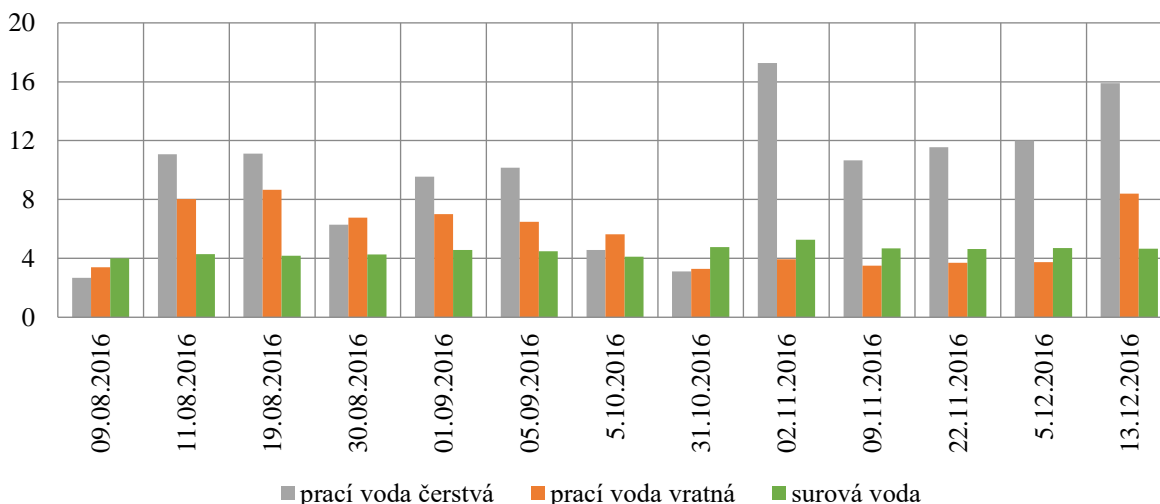
Průběh hodnot barvy vody během měřicího období (viz Graf 6.3) byl podobný jako u zákalu. Zejména ke konci roku byla úpravnou produkována čerstvá prací voda se značně zvýšenou hodnotou barvy, která však byla průchodem přes kalové hospodářství velmi účinně snížena na hodnoty blízké mezní hodnotě pro pitnou vodu dané vyhláškou, tj. 20 mg·l<sup>-1</sup> Pt.



Graf 6.3 Porovnání hodnot barvy [mg·l<sup>-1</sup> Pt] v různých druzích vod

### 6.2.4 Chemická spotřeba kyslíku

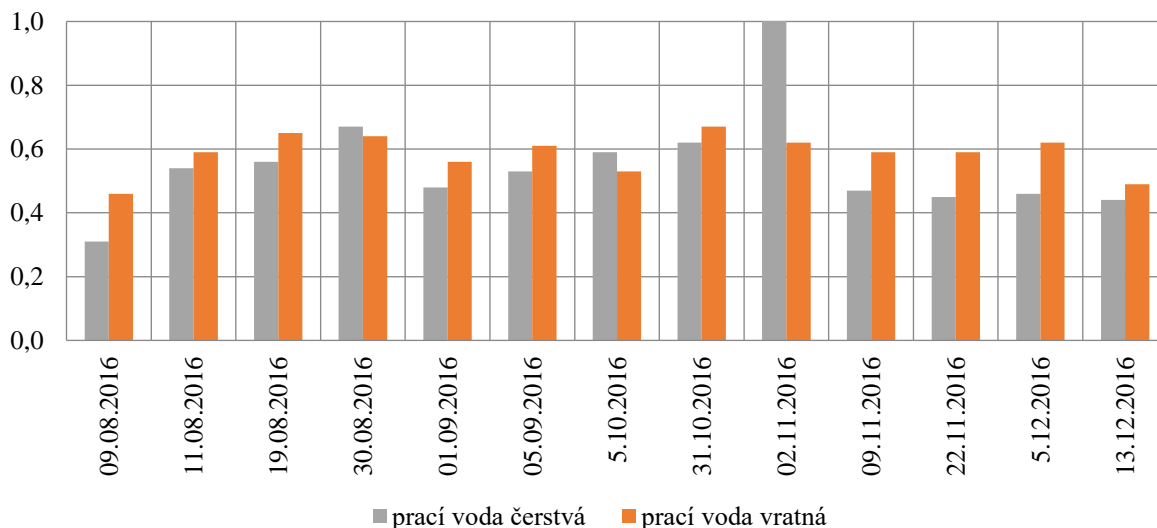
Hodnota chemické spotřeby kyslíku surové vody byla během měřicího období velmi podobná (viz Graf 6.4), ale CHSK čerstvé prací vody vykazovala značnou proměnlivost. Z výsledků plyne, že i když byly v listopadu a prosinci naměřeny nejvyšší hodnoty CHSK v čerstvé prací vodě, po průchodu kalovým hospodářstvím vykazovala prací voda vratná nejnižší hodnoty CHSK z celého měřicího období.



Graf 6.4 Porovnání hodnot chemické spotřeby kyslíku [mg·l<sup>-1</sup>] v různých druzích vod

## 6.2.5 Hliník

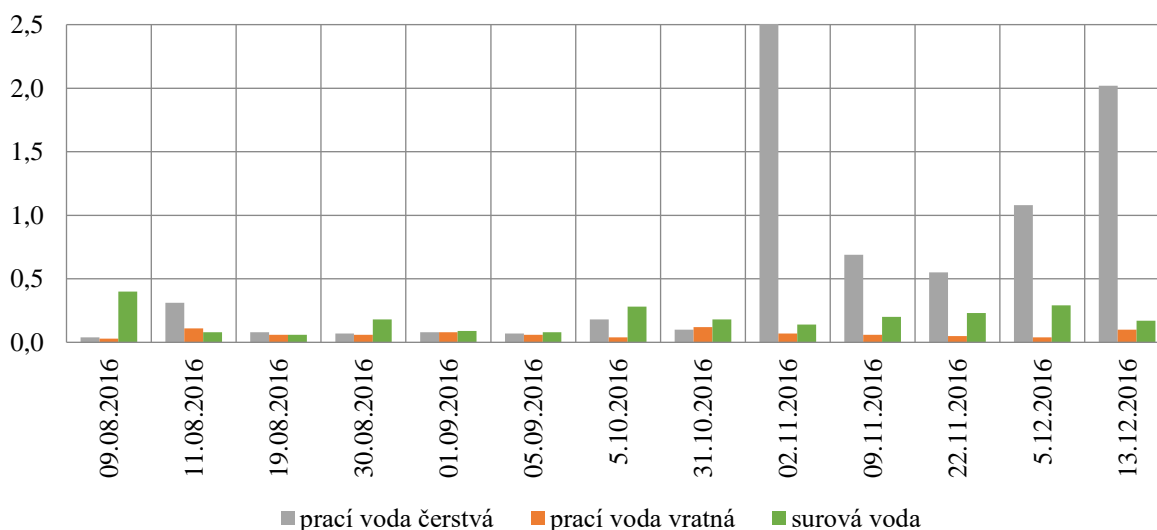
Koncentrace hliníku byly porovnány v práci vodě čerstvé a vratné (viz Graf 6.5). Ačkoliv bylo předpokládáno, že průchodem kalovým hospodářstvím bude značná část hliníku odstraněna, koncentrace hliníku v práci vodě vratné byly ve většině případů mírně vyšší než v čerstvé práci vodě, což indikuje, že je časem pravděpodobně hliník uvolňován ze sraženiny zpět do vody.



Graf 6.5 Porovnání koncentrace hliníku [mg·l<sup>-1</sup>] práci vodě čerstvé a vratné

## 6.2.6 Železo

Nejvyšších koncentrací železa v čerstvé práci vodě bylo dosaženo v listopadu a prosinci. Nicméně z Grafu 6.6 je patrné, že i přes to byly během celého měřicího období výsledné koncentrace železa ve vratné práci vodě pod mezní hodnotou pro pitnou vodu (tj. 0,2 mg·l<sup>-1</sup>), nebo se k ní blížily.

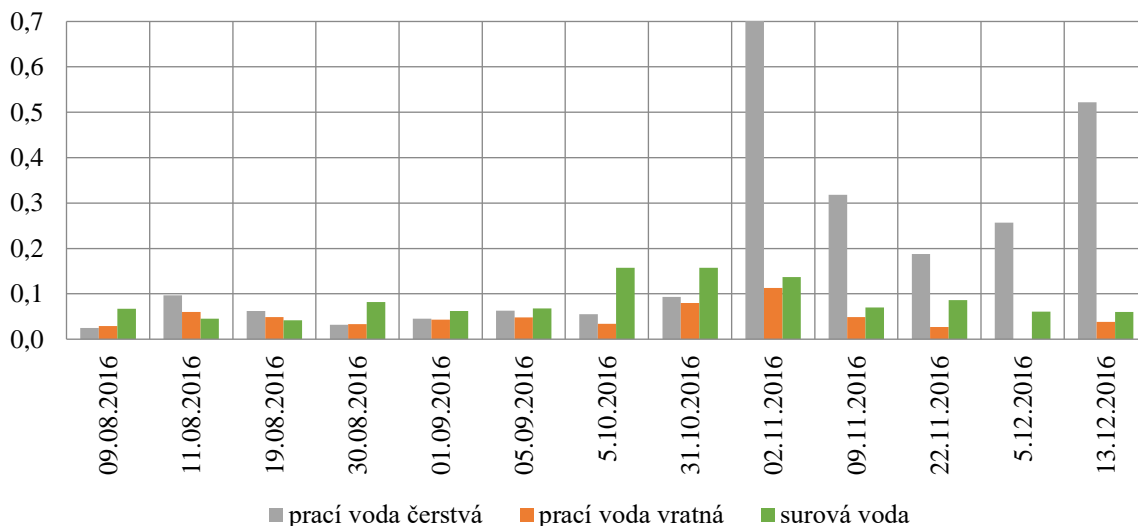


Graf 6.6 Porovnání koncentrace železa [mg·l<sup>-1</sup>] v různých druzích vod



## 6.2.7 Mangan

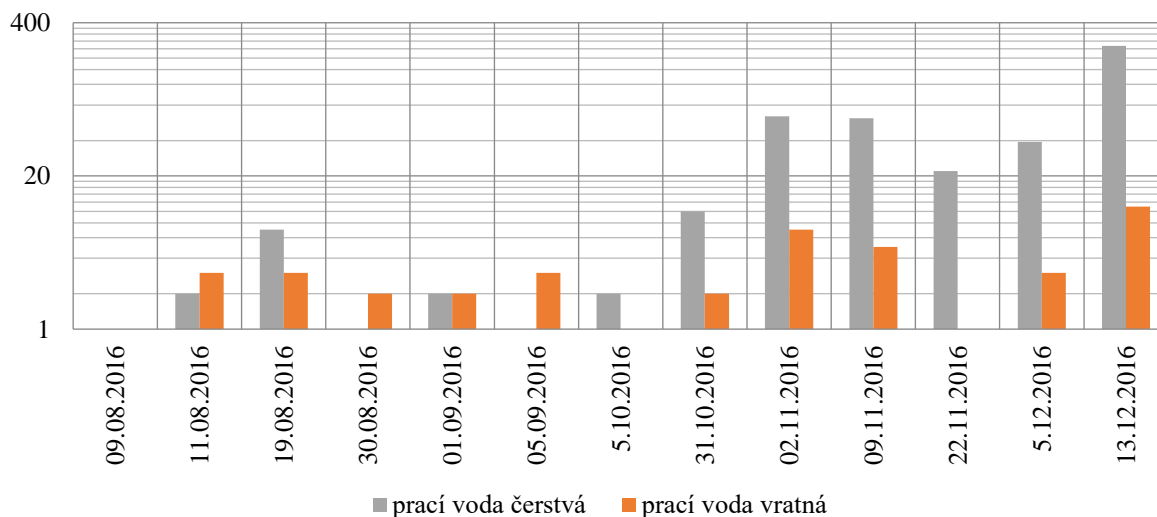
Průběh hodnot koncentrací manganu čerstvé prací vody koresponduje s výše uvedenými sledovanými ukazateli. Z Grafu 6.7 vyplývá, že i v případě manganu byla jeho koncentrace snížena pod mezní hodnotu danou vyhláškou (tj.  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) nebo na koncentraci jí blízkou i přesto, že v listopadu a prosinci byla tato mezní hodnota v prací vodě čerstvé několiknásobně překračována.



Graf 6.7 Porovnání koncentrace manganu [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ] v různých druzích vod

## 6.2.8 Clostridium Perfringens

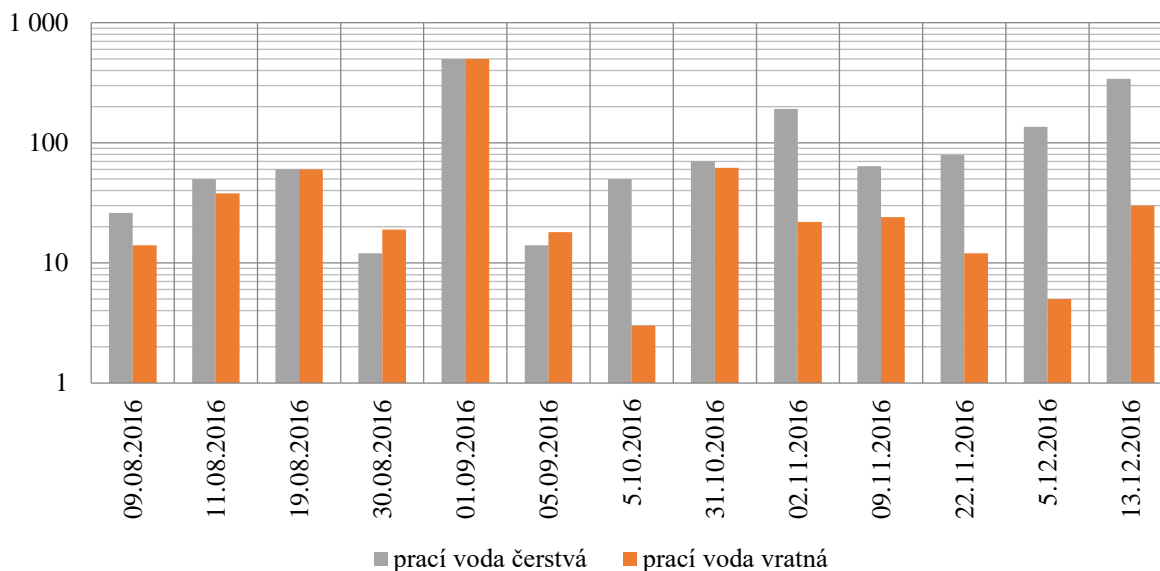
Graf 6.8 byl sestaven proto, aby bylo analyzováno, zda nedochází k růstu a množení bakterie Clostridium Perfringens v prací vodě během průtoku kalovým hospodářstvím. Z grafu plyne, že ve většině případů došlo v prací vodě naopak ke snížení KTJ této bakterie. V několika případech došlo k nárůstu v řádu jednotek  $\text{KTJ}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že surová voda vykazuje běžně do  $30 \text{ KTJ}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$ , nemá tento občasný mírný nárůst význam.



Graf 6.8 Porovnání množství Clostridium Perfringens [ $\text{KTJ}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$ ] prací vodě čerstvé a vratné

### 6.2.9 Kultivovatelné organismy při 36 °C

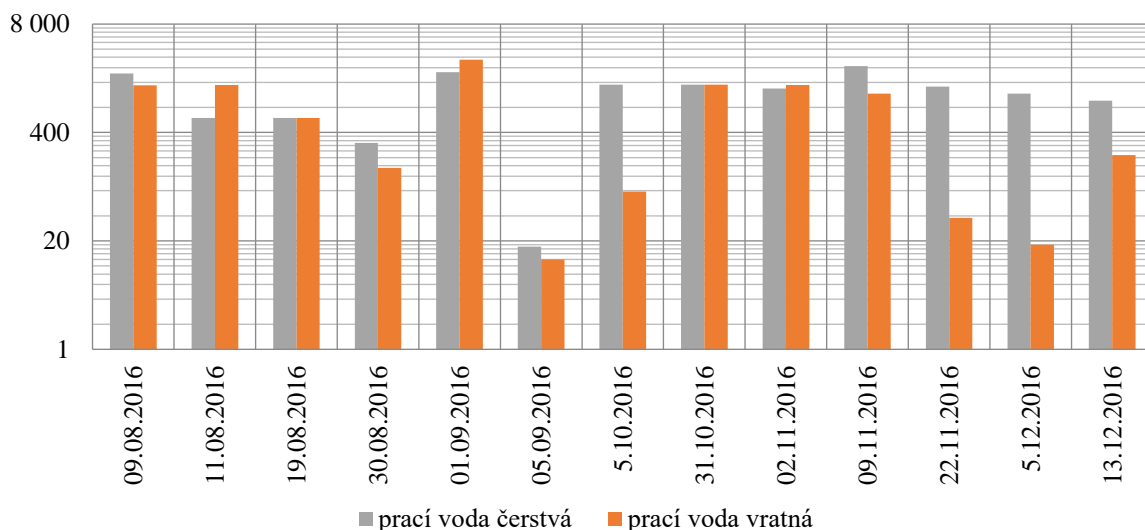
Z Grafu 6.9 vyplývá, že k nárůstu nedochází ani u kultivovatelných organismů při 36 °C. Zpravidla naopak dochází ke snížení hodnot v práci vodě vratné oproti práci vodě čerstvé. Průchodem práci vody skrze kalové hospodářství je tak dosaženo v tomto parametru obdobných hodnot, jako má surová voda z Víru.



Graf 6.9 Porovnání množství kultivovatelných organismů při 36 °C [KTJ·ml<sup>-1</sup>] v práci vodě čerstvé a vratné

### 6.2.10 Kultivovatelné organismy při 22 °C

Hodnoty kultivovatelných organismů při 22 °C (viz Graf 6.10) jsou zpravidla po průtoku kalovým hospodářstvím mírně sníženy. I tak se ale asi v polovině případů pohybovaly okolo maximálních hodnot, které vykazovala surová voda odebraná z Víru.



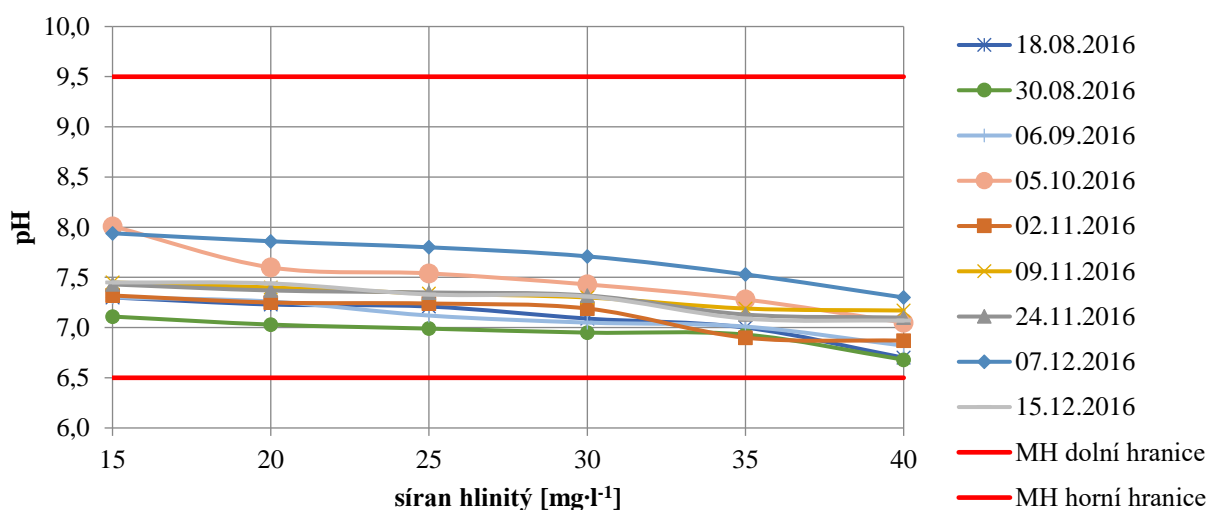
Graf 6.10 Porovnání množství kultivovatelných organismů při 22 °C [KTJ·ml<sup>-1</sup>] práci vodě čerstvé a vratné

## 6.3 VÝSLEDKY KOAGULAČNÍCH ZKOUŠEK NA SMĚSNÉ VODĚ

Na ÚV Švařec je využíváno koagulantu síranu hlinitého. Jeho dávka se obvykle pohybuje mezi 25 a 35 mg·l<sup>-1</sup>. Koagulační zkoušky byly provedeny v rozsahu dávky 15 až 40 mg·l<sup>-1</sup>, přičemž bylo porovnáváno, zda jsou výsledné hodnoty sledovaných ukazatelů v souladu s mezními hodnotami danými vyhláškou již při běžných dávkách nebo zda by bylo nutno v případě navýšení objemu prací vody na 10 % z vody surové navýšit i dávku koagulantu. Bylo provedeno celkem 9 měření v období srpen až prosinec 2016.

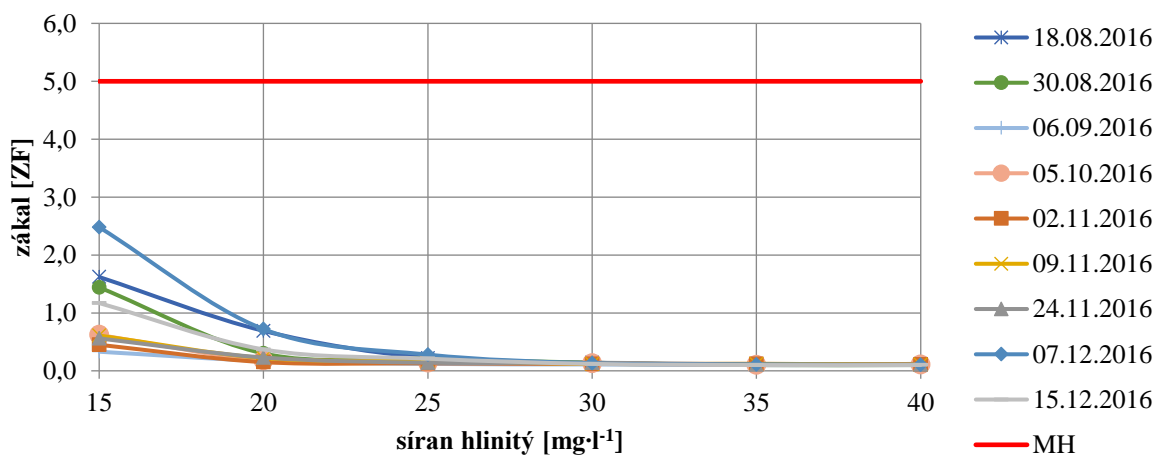
### 6.3.1 pH

I přes to, že vratná prací voda měla zvýšené pH, po provedení koagulačních zkoušek vody směsné vykazovala voda pH od 7 do 8 při minimální dávce koagulantu a od 6,5 do 7,5 při maximální dávce koagulantu. Směsná voda tak splnila rozmezí mezních hodnot pro pitnou vodu dané vyhláškou ve všech měřeních, což znázorňuje Graf 6.11.



Graf 6.11 Hodnoty pH po provedení koagulačních zkoušek

### 6.3.2 Zákal

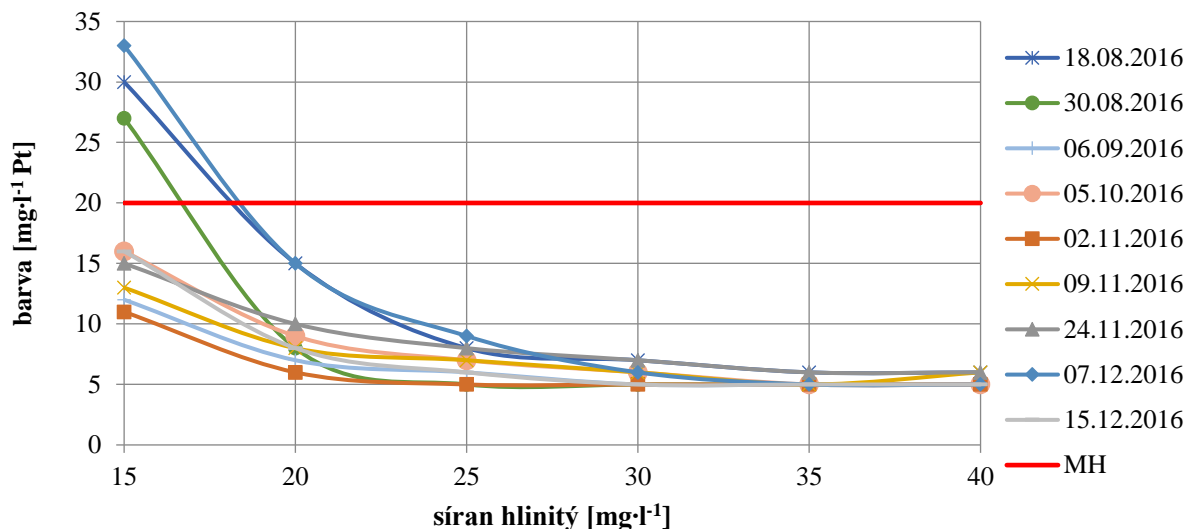


Graf 6.12 Hodnoty zákalu po provedení koagulačních zkoušek

Hodnoty zákalu během všech měření splňovaly již při minimální dávce koagulantu mezní hodnotu danou vyhláškou (viz Graf 6.12).

### 6.3.3 Barva

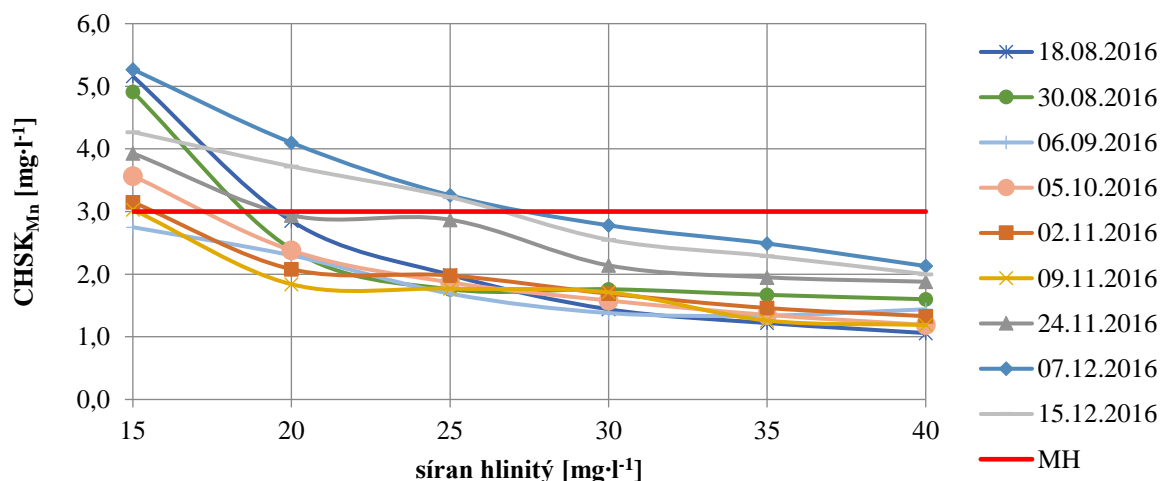
Z Grafu 6.13 vyplývá, že mezní hodnota pro barvu byla splněna ve všech měřeních při dávce 20 mg·l<sup>-1</sup>. U 6 měření byla splněna již při minimální dávce koagulantu.



Graf 6.13 Hodnoty barvy po provedení koagulačních zkoušek

### 6.3.4 Chemická spotřeba kyslíku

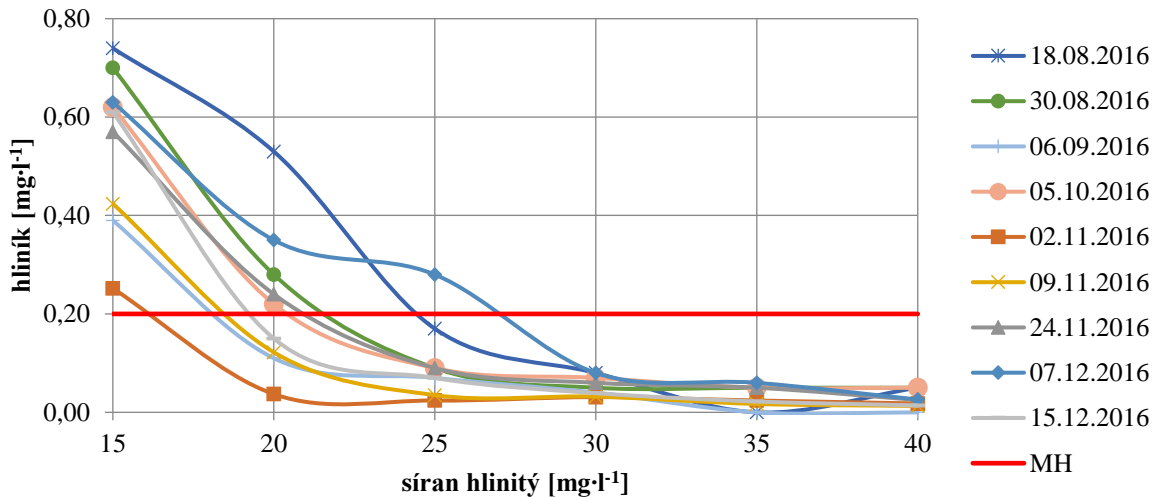
Z Grafu 6.14 je patrné, že výsledky CHSK po provedení koagulačních zkoušek se poměrně liší. Zatímco při minimální dávce koagulantu vyhoví mezní hodnotě pouze 1 měření, při dávce 20 mg·l<sup>-1</sup> je to již 7 z 9 měření. Aby však vyhověla všechna měření, muselo být použito minimálně 30 mg·l<sup>-1</sup>, přičemž i tak měření z 7. a 15. 12. 2016 vyhoví jen s malou rezervou.



Graf 6.14 Hodnoty chemické spotřeby kyslíku po provedení koagulačních zkoušek

### 6.3.5 Hliník

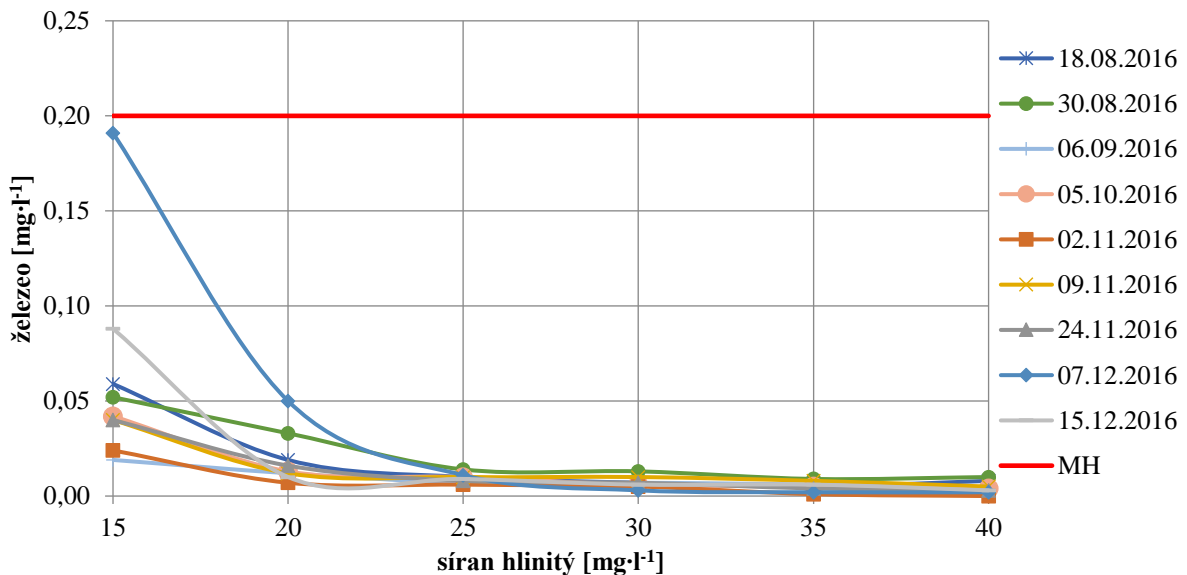
V Grafu 6.15 je naznačeno, jak byla koncentrace hliníku ovlivněna dávkou koagulantu. S výjimkou měření ze 7. 12. 2016 byla dostačující dávka  $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Aby bylo dosaženo splnění mezní hodnoty ve všech měřeních, bylo zapotřebí použít  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .



Graf 6.15 Koncentrace hliníku po provedení koagulačních zkoušek

### 6.3.6 Železo

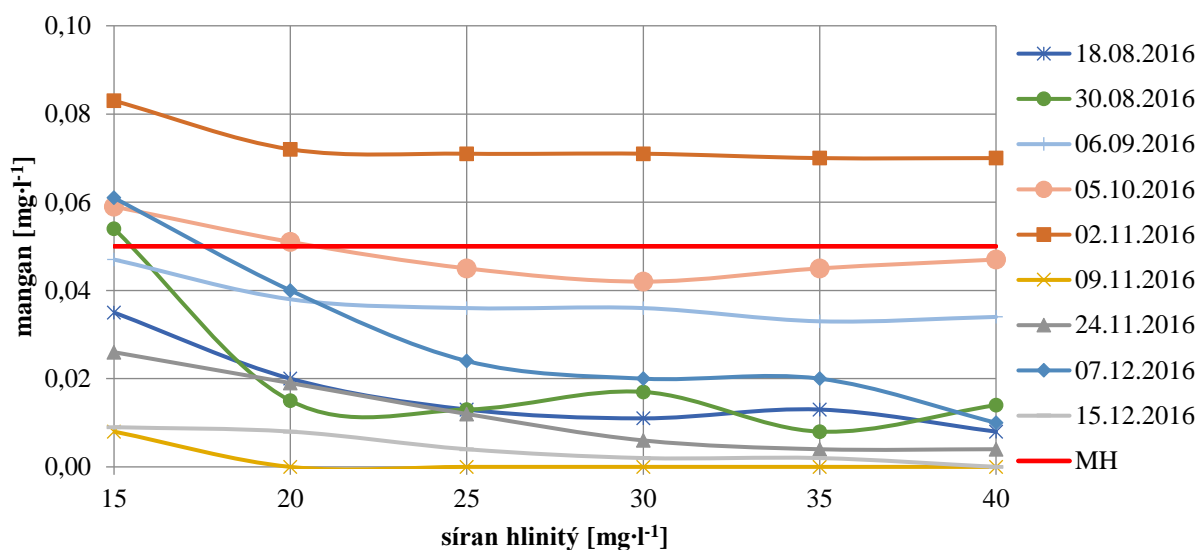
Z Grafu 6.16 je viditelné, že mezní hodnota pro koncentraci železa byla splněna již při minimální dávce koagulantu a při dávce  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  splnila výsledná koncentrace železa ve vodě MH se značnou rezervou.



Graf 6.16 Koncentrace železa po provedení koagulačních zkoušek

### 6.3.7 Mangan

Jak vyplývá z Grafu 6.17, na snížení koncentrace manganu měly provedené koagulační zkoušky minimální nebo žádný vliv.



Graf 6.17 Koncentrace manganu po provedení koagulačních zkoušek

## 6.4 ZÁVĚRY VYVOZENÉ Z DRUHÉ ETAPY

### *pH*

Výsledné pH po koagulačních zkouškách směsné vody s 10 % obsahem prací vody vratné odpovídalo rozmezí mezních hodnot (tj. 6 – 9) i přes to, že podíl vratné prací vody vykazoval pH od 7 do téměř 12. Naředění se surovou vodou, jejíž pH se obvykle pohybovalo okolo 7, a následné koagulační zkoušky výsledné pH snížily do požadovaných mezí. Obvyklá dávka koagulantu, která je v současnosti na ÚV Švařec používána by tedy měla být dostačující i při zvýšení množství prací vody vratné na 10 % z objemu vody surové.

### *Zákal*

Úpravna vody produkovala po celé měřicí období (s výjimkou 22. 11. 2016) vratnou prací vodu s hodnotou zákalu, která již odpovídá mezní hodnotě pro pitnou vodu (tj. 5 ZF) i přes to, že v listopadu a prosinci byly hodnoty zákalu v čerstvé prací vodě znatelně zvýšené. To naznačuje vysokou účinnost kalového hospodářství úpravny. Zároveň byla odebírána surová voda z Víru, která taktéž odpovídala hodnotou zákalu MH dané vyhláškou. V důsledku těchto faktorů by pravděpodobně směsná voda vyhověla MH i bez provedení koagulačních zkoušek, nicméně jejich realizací bylo dosaženo u všech měření zákalu menšího než 1 ZF při dávce 20 mg·l<sup>-1</sup> síranu hlinitého.

### *Barva*

Průběh hodnot barvy vody prací čerstvé a vratné byl podobný jako u zákalu. Díky účinnému kalovému hospodářství bylo i v obdobích, kdy byla produkována čerstvá prací voda se zvýšenou hodnotou barvy, docíleno ve vodě prací vratné hodnot, které se blížily mezní hodnotě dané vyhláškou (tj. 20 mg·l<sup>-1</sup> Pt) a zároveň byly velmi podobné hodnotám vody

surové. Koagulačními zkouškami bylo docíleno splnění mezní hodnoty pro všechna měření při dávce  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  síranu hlinitého, což je nižší dávka, než je obvyklé množství koagulantu používané na ÚV Švařec, a již při dávce  $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  žádná z hodnot barvy nepřekročila hodnotu  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  Pt.

### ***Chemická spotřeba kyslíku***

Hodnota CHSK čerstvé prací vody se v průběhu měřicího období značně měnila. V listopadu a prosinci byly hodnoty CHSK nejvyšší, přesto po průtoku kalovým hospodářstvím byla produkována prací voda vratná, která vykazovala nejnižší hodnoty CHSK z celého měřicího období. Tento fakt může poukazovat na skutečnost, že zvýšení CHSK bylo na podzim způsobeno látkami, které byly usazováním v kalovém hospodářství odstraněny snadněji než ve zbytku měřicího období. Vratná prací voda vykazovala někdy mírně nižší, někdy až dvakrát vyšší hodnoty CHSK než surová voda z Víru, jejíž hodnoty CHSK byly poměrně neměnné a pohybovaly se okolo  $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Výsledky koagulačních zkoušek se však značně lišily. Zatímco při minimální dávce koagulantu vyhovělo mezní hodnotě (tj.  $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) pouze 1 měření, při dávce  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  vyhovělo již 7 z 9 měření. Aby vyhověla všechna měření, muselo být použito minimálně  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , přičemž i tak měření z 7. a 15. 12. 2016 vyhověla jen s minimální rezervou.

Výsledky CHSK ve sledovaných druzích vod napovídají, že na účinnost koagulace má značný vliv i původ organického znečištění. Příkladem může být, že v období okolo 13. 12. 2016 byla smíchávána surová voda s průměrným CHSK a vratná prací voda s jedním z nejvyšších CHSK za celé měřicí období. Tomu odpovídal i výsledek koagulační zkoušky z 15. 12. 2016, kdy bylo zapotřebí  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , aby byla splněna MH daná vyhláškou. Nicméně v období okolo 19. 8. 2016, kdy byla smíchávána surová voda s průměrných CHSK a prací vratná voda s CHSK nejvyšším za celé měřicí období, prokázaly koagulační zkoušky provedené 18. 8. 2016, že pro splnění MH dané vyhláškou stačilo nadávkování  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  koagulantu. To bylo pravděpodobně způsobeno rozdílným původem organických znečišťujících látek ve vodě. I tak však všechna měření prokázala, že standardně používaná dávka  $25 - 35 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  koagulantu by byla v případě navýšení množství upravované vratné prací vody dostačující.

### ***Hliník***

Hliník se do prací vody dostává zejména nadávkováním koagulantu síranu hlinitého. Surová voda zpravidla měla koncentraci hliníku pod detekovatelnou mezí. Průchodem kalovým hospodářstvím se koncentrace hliníku mírně zvyšovala, což naznačuje, že během zdržení vody v kalovém hospodářství docházelo ke zpětnému uvolňování hliníku z kalu do vody, a přibližně dvakrát až čtyřikrát převyšovala MH pro pitnou vodu danou pro hliník vyhláškou (tj.  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Díky minimálnímu obsahu hliníku v surové vodě je však výsledná koncentrace hliníku ve směsné vodě značně snížena. Koagulačními zkouškami bylo zjištěno, že až na výjimku, která nastala 7. 12. 2016, byla dostačující dávka  $25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  pro to, aby byla dosažena MH. Při dávce  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  již odpovídala MH všechna měření, což odpovídá běžnému rozmezí dávek koagulantu na ÚV Švařec.

### ***Železo***

Kalovým hospodářstvím byla produkována prací voda vratná, která vykazovala během všech měření nižší koncentrace železa, než je MH daná vyhláškou (tj.  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) i přes to, že v listopadu a prosinci byly koncentrace železa v čerstvé prací vodě natékající do kalového hospodářství poměrně vysoké. Koncentrace železa v prací vodě vratné byly zpravidla nižší

než ve vodě surové, jejíž koncentrace železa se pohybovaly okolo MH, ale v některých případech ji překračovaly. Tudíž při smíchání těchto dvou druhů vod došlo k mírnému naředění množství železa. Z výsledků koagulačních zkoušek vyplynulo, že již při minimální dávce koagulantu bylo dosaženo splnění MH, přičemž při dávce  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  byla výsledná koncentrace železa ve vodě desetkrát až čtyřikrát nižší, než je koncentrace daná mezní hodnotou. Do určité míry se tedy během koagulace projevovala sorpce na vzniknuvší sraženině.

### ***Mangan***

Koncentrace manganu v prací vodě vratné byla po celé měřicí období snížena pod MH danou vyhláškou (tj.  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) nebo se jí blížila i přes to, že v listopadu a prosinci úpravná produkovala prací vodu čerstvou se zvýšenými koncentracemi manganu. Bylo docíleno stavu, kdy prací voda vratná vykazovala nižší koncentrace manganu než voda surová, tudíž smícháním těchto dvou druhů vod došlo k mírnému snížení výsledné koncentrace. Ačkoliv koagulační zkoušky neprokázaly vliv na snižování koncentrace manganu ve vodě, nelze předpokládat, že by navýšení množství prací vody vratné způsobilo komplikace během úpravárenského procesu.

### ***Mikrobiologické ukazatele***

Vybrané mikrobiologické ukazatele byly sledovány proto, aby bylo zjištěno, zda nedochází k růstu mikroorganismů v objektech kalového hospodářství a zda by nebylo do surové vody zvýšením množství vratné prací vody přimícháváno i zvýšené množství těchto mikroorganismů. Z výsledků vyplynulo, že průtokem skrze kalové hospodářství je množství mikroorganismů většinou sníženo jak pro ukazatel *Clostridium Perfringens*, tak pro kultivovatelné organismy při  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ . Výsledky v prací vodě vratné se svými hodnotami blíží výsledkům ve vodě surové. V případech, kdy došlo k mírnému nárůstu mikroorganismů, to nebylo natolik, aby byla změněna jakost směsné vody oproti vodě surové.

Výsledky kultivovatelných mikroorganismů při  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  ukazují, že jejich hodnoty v prací vodě vratné se pohybují od desítek  $\text{KTJ}\cdot\text{ml}^{-1}$  po hodnoty okolo  $1000 \text{ KTJ}\cdot\text{ml}^{-1}$ , přičemž vyšší hodnoty během měření dominovaly. Rozkolísané hodnoty vykazuje i surová voda, přičemž naměřené maximum pro surovou vodu během měřicího období bylo  $1490 \text{ KTJ}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Přimícháním většího množství vratné prací vody do vody surové by tedy mohlo mírně zvýšit množství kultivovatelných mikroorganismů při  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ , nicméně stále by se jednalo o hodnoty, které jsou běžně získávány i v surové vodě. Navýšení objemu prací vody vratné by tedy nemělo způsobit komplikace při úpravě vody.

### ***Shrnutí***

Zvýšení množství přimíchávané vratné prací vody do vody surové by se nemělo podstatně negativně projevit ani v jednom ze sledovaných ukazatelů. Zejména pak v případě pH a zákalu došlo během koagulačních zkoušek ke splnění MH již při minimálních dávkách koagulantu. Pro odstraňování manganu z vody nemají koagulační zkoušky význam, nicméně smícháním surové vody a vratné prací vody pravděpodobně bude docházet k mírnému, avšak téměř zanedbatelnému, snížení koncentrace manganu, neboť voda prací vratná vykazuje nižší koncentrace než voda surová. Obdobná situace nastává i u železa, v jehož případě se navíc projevila během koagulačních zkoušek sorpce na sraženině a MH dané vyhláškou tak všechny vzorky vyhověly již při minimální dávce koagulantu. Pro dodržení MH dané vyhláškou pro barvu byla dostačující dávka  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , pro chemickou spotřebu kyslíku a pro hliník pak



30 mg·l<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty odpovídají rozmezí běžných dávek koagulantů, které jsou na úpravně využívány, tj. 25 – 35 mg·l<sup>-1</sup>. Ve sledovaných mikrobiologických ukazatelích měla vratná prací voda obdobné hodnoty jako voda surová, tudíž by nemělo docházet přimícháním většího množství vratné prací vody do vody surové ke změnám těchto parametrů.

Druhá etapa měření prokázala, že přimíchávání 10 % vratné prací vody do vody surové by mělo být možné a nemělo by způsobovat žádné provozní problémy. Měly by však být pečlivě sledovány parametry surové vody, které značně ovlivňují proces úpravy. Mezi rizikové faktory a období lze zařadit zvýšený výskyt sinic, přívalové srážky a jarní a podzimní míchání vody v nádrži Vír I. V případě, že by došlo k výraznému zhoršení některého z parametrů, doporučuje se snížit přimíchávané množství vratné prací vody nebo její přimíchávání dočasně přerušit. Další rizikové období může nastat v případě, že bude zahájen kontinuální provoz úpravně, kdy nebude docházet k pravidelným odstávkám. Tím by mohlo dojít k nedostatečnému zdržení prací vody v úseku kalového hospodářství, v důsledku čehož by mohla být do surové vody přimíchávána vratná prací voda zhoršených parametrů, což by mohlo způsobovat provozní problémy. Kontinuální provoz byl během měřicího období na úpravně realizován od 30. 10. do 4. 11. 2016. Z tohoto období je k dispozici měření z 2. 11., z něhož vyplývá, že se zhoršily hodnoty většiny sledovaných ukazatelů v čerstvé prací vodě, nicméně prací voda odsazená již odlišné hodnoty od ostatních měření ve sledovaných ukazatelích nevykazovala. V tomto případě se negativní vliv kontinuálního provozu neprojevil, nicméně na základě jednoho měření ho jako potenciální riziko nelze vyloučit.

Na druhou stranu příliš dlouhé zdržení prací vody v kalovém hospodářství taktéž není žádoucí, protože může docházet ke zpětnému uvolňování hliníku ze sraženiny do vody.

## 7 FINANČNÍ ZHODNOCENÍ ZÁMĚRU

Pro zhodnocení, zda by bylo navýšení množství vrácené prací vody pro provozovatele výhodné, byl vypočítán hrubý odhad nákladů a úspor, které by záměr obnášel. Pro výpočet byla využita data z roku 2016 a dokument „Vyhodnocení zkušebního čerpání vratné vody na úpravně vody Švařec“, který byl zpracován v roce 2013 panem Antošem. Tento dokument je uveden jako Příloha 16.

Pro potřebný průtok vratné prací vody bylo vycházeno ze skutečnosti, že v roce 2016 byla úpravná v provozu ve všední dny po dobu 35 týdnů a čerpání surové vody probíhalo každý druhý den po dobu 8 hodin v ranní směně, což je 700 hodin čerpání ročně. V současnosti je na úpravně používáno čerpadlo, jehož maximální průtok je  $55 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  při výkonu maximálně 20 kW. Pro zvětšení objemu vrácené prací vody na 10 % je však zapotřebí průtok z původních zhruba  $38 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (pro 5 % prací vody) zvýšit na asi  $75 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Současné čerpadlo na úpravně tedy umožňuje zvýšení objemu prací vody asi na 7 %, pro větší množství by byla zapotřebí instalace druhého čerpadla. Z tohoto důvodu byly spočítány náklady a úspory pro 2 varianty. První z nich bylo vrácení 10 % prací vody včetně nákladů na instalaci dalšího čerpadla, druhou variantou bylo vrácení 7 % prací vody z celkového objemu vody surové bez nutnosti pořízení dalšího čerpadla.

**Tab. 7.1 Výpočet nákladů a úspor za předpokladu vrácení 10 % prací vody vratné v roce 2016**

surová voda	$\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$	1 898 490
prací voda celkem	$\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$	200 723
prací voda vratná (10 % SV)	$\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$	189 849
čerpání surové vody	$\text{hod}\cdot\text{rok}^{-1}$	700
průměrný průtok surové vody	$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$	2 712
	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	753
průměrný průtok prací vody vratné při objemu 10 % vody surové	$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$	271
	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	75
jímání surové vody (bez DPH)	$\text{Kč}\cdot\text{m}^{-3}$	6,68
vypouštění odpadní vody	$\text{Kč}\cdot\text{m}^{-3}$	0,1
přečerpávání	$\text{Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}$	1 300
výkon čerpadla	kW	20
<i>jímání - úspory za neodebranou surovou vodu</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	1 268 191
<i>vypouštění - úspory za nevypuštěnou surovou vodu</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	18 985
<i>čerpání - náklady na přečerpání prací vody vratné</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	27 300
<i>celkem úspory</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	1 287 176
<i>celkem náklady</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	27 300
<b><i>výsledná předpokládaná úspora</i></b>	<b><math>\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}</math></b>	<b>1 259 876</b>

Z Tab. 7.1, v níž je proveden výpočet nákladů a úspor pro první variantu vrácení 10 % prací vody, vyplývá, že vzniklé náklady a úspory při realizaci záměru by měly celkem 3 hlavní nejdůležitější položky. První z nich jsou ušetřené finance za surovou vodu, která by nebyla díky vrácení prací vody jímána. Jedná se o nejvýraznější položku, která by v roce 2016 pro první variantu vrácení 10 % prací vody do vody surové činila zhruba 1,29 mil. Kč oproti stavu, kdy by prací voda vrácena nebyla. Další, již méně výraznou složkou úspor, by byly

ušetřené finance za poplatky za vypouštění nevyužití prací vody do vodoteče, které by činily asi 19 tis. Kč oproti stavu, kdy by byla vypouštěna veškerá prací voda. Oproti zmíněným úsporám by vznikaly i náklady, z nichž vedle pořizovacích nákladů na čerpadlo je pravděpodobně jedinou výraznou složkou cena za přečerpávání vody zpět do přítokového objektu úpravně v hodnotě asi 27 tis. Kč. Výsledná předpokládaná roční úspora by tedy činila asi 1,26 mil. Kč oproti stavu bez vracení prací vody.

Přesto že jsou ve výpočtech pravděpodobně odchylky způsobené zjednodušujícími předpoklady, využitím údajů z roku 2013, které se mohou od současnosti mírně lišit, a hrubými odhady, z Tab. 7.1 vyplývá, že nejvýraznější položkou bude úspora na poplatcích za jímání surové vody z Víru.

Navýšení objemu vratné prací vody na 10 % vody surové by však vyvolalo nutnost investice do pořízení nového čerpadla, které by spolu s již instalovaným čerpadlem zvládlo přečerpávat vodu za průtoku  $75 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při zahrnutí nákladů na realizaci betonového bloku pro ukotvení čerpadla, na úpravy trubního vedení, na koupi čerpadla a na montážní a programátorské práce byly celkové náklady odhadnuty na 400 tis. Kč.

Druhá varianta předpokládající vracení prací vody o objemu 7 % vody surové by přinášela roční úspory asi 882 tis. Kč (viz Tab. 7.2).

Společným pořizovacím nákladem obou variant je cena za provádění rozborů vody, které byly realizovány v rámci měřicího období v srpnu až prosinci 2016.

**Tab. 7.2 Výpočet nákladů a úspor za předpokladu vracení 7 % prací vody vratné v roce 2016**

surová voda	$\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$	1 898 490
prací voda celkem	$\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$	200 723
prací voda vratná (7 % SV)	$\text{m}^3\cdot\text{rok}^{-1}$	132 894
čerpání surové vody	$\text{hod}\cdot\text{rok}^{-1}$	700
průměrný průtok surové vody	$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$	2 712
	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	753
průměrný průtok prací vody vratné při objemu 7 % vody surové	$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$	190
	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	53
jímání surové vody (bez DPH)	$\text{Kč}\cdot\text{m}^{-3}$	6,68
vypouštění odpadní vody	$\text{Kč}\cdot\text{m}^{-3}$	0,1
přečerpávání	$\text{Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}$	1300
výkon čerpadla	kW	20
<i>jímání - úspory za neodebranou surovou vodu</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	887 734
<i>vypouštění - úspory za nevypuštěnou surovou vodu</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	13 289
<i>čerpání - náklady na přečerpání prací vody vratné</i>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	18 200
<b>celkem úspory</b>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	<b>901 023</b>
<b>celkem náklady</b>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	<b>18 200</b>
<b>výsledná předpokládaná úspora</b>	$\text{Kč}\cdot\text{rok}^{-1}$	<b>882 823</b>

Z výpočtů vyplývá, že hrubým odhadem lze předpokládat roční úsporu asi 125 tis. Kč za každé 1 % navýšení objemu vratné prací vody z celkového objemu vody surové. Původní výpočty z roku 2013 v dokumentu „Vyhodnocení zkušebního čerpání vratné vody na úpravně vody Švařec“ (tj. Příloha 16) odhadují, že tato úspora by byla mírně nižší, mělo by se jednat o

95 tis. Kč za navýšení objemu vratné prací vody o 1 % z vody surové. Tento rozdíl je způsoben zejména tím, že v dokumentu z roku 2013 jsou započítány roční náklady na rozbory vody z kalového hospodářství, které jsou ale v současné době na úpravně již standardně prováděny, a je zde započítán předpoklad dopadu zkrácení doby filtračního cyklu vlivem vracení prací vody zpět k úpravě.

Závěrem lze konstatovat, že zvýšení objemu vratné vody z 5 na 10 % objemu vody surové by přineslo roční úsporu v hodnotě 475 – 625 tis. Kč, zatímco při navýšení na 7 % objemu vody surové by se jednalo o 190 – 250 tis. Kč ročně. Investice do čerpadla, které by umožňovalo přečerpávání většího množství vody, by měla návratnost asi 2 roky.

Lze předpokládat, že již zvýšení objemu prací vody z 5 na 6 % v červnu roku 2016 přineslo úsporu asi 50 - 60 tis. Kč, aniž by byly zapotřebí jakékoliv zásahy do úpravárenského procesu.

## **7.1 DOPORUČENÍ PLYNOUCÍ Z PROVEDENÝCH VÝPOČTŮ**

Otázkou zůstává, zda by zvýšení objemu vratné prací vody s sebou skutečně přineslo nutnost zkrátit filtrační cykly filtrů, což by vedlo ke zvýšení produkce prací vody. Tím by se předpokládaná úspora částečně snížila, s čímž počítala kalkulace nákladů a úspor z roku 2013. Dalším limitujícím faktorem pro množství vracené prací vody je velikost akumulace odsazené prací vody, při jejímž naplnění dochází k vypouštění prací vody do vodoteče.

Možným řešením provedení navýšení množství vracené prací vody k úpravě by mohlo být dočasné využití stávajícího čerpadla tak, že bude dodávat maximální možné množství vody do přítokového objektu. Na základě výsledků tohoto kroku by mohlo být případně dále přistoupeno k instalaci nového čerpadla, jehož součinností s čerpadlem původním by bylo dosaženo přečerpávání cílových 10 % vratné prací vody.

## 8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit, zda je možné na vybraném úpravárenském provozu – na úpravě vody ve Švařci – možno zahájit provoz, který by vedl k efektivnějšímu hospodaření s prací vodou z vodárenských filtrů. Od roku 2013 je na úpravě vraceno 5 % prací vody z celkového objemu odebrané surové vody z vodní nádrže Vír, která je na úpravě využívána. Tím dochází ke značné úspoře s ohledem na množství odebrané surové vody a zároveň je méně prací vody vypouštěno do vodoteče. Provozovatel však zvažuje, zda by nebylo možné množství prací vody až zdvojnásobit.

Za tímto účelem jsou na začátku této diplomové práce specifikované vybrané části úpravny vody, kterých by se uvažovaná změna mohla dotknout. Jedná se o koagulaci a flokulaci v úpravárenském procesu, filtraci, kalové hospodářství a využití ozonizace. V rámci této rešeršní části bylo využito článku ze zahraniční literatury, v němž byl posuzován vliv vracení prací vody na úpravárenský proces. Výsledky měření v tomto článku vedly k závěru, že přítomnost prací vody v upravované vodě, pro jejíž úpravu je využívána koagulace, může dokonce mírně zlepšovat výsledky úpravárenského procesu.

V druhé polovině rešeršní části této diplomové práce byla věnována pozornost typickým vlastnostem povrchové a podzemní vody, s čímž souvisí i posuzování jakosti surové vody a její vhodnosti pro úpravárenské účely. V návaznosti na to byly přiblíženy související vyhlášky platné v České republice, které specifikují kategorie upravitelnosti surové vody a zabývají se posuzováním jakosti vody pitné. Pro posuzování jakosti pitné vody je stanovována řada ukazatelů. Ty z nich, které jsou pro provedení této diplomové práce nezbytné, jsou uvedeny v závěru teoretické části této práce, přičemž je zde vždy popsána charakteristika ukazatele, platné legislativní požadavky a způsob stanovení.

Následující kapitoly se věnují konkrétnímu provozu – úpravě vody Švařec. Jedná se o dvoustupňovou úpravnu vody, která využívá filtraci přes křemičitý písek a GAU. Surová voda natéká do úpravny přes přítokový objekt s turbínou, před samotnou filtraci je zařazena ozonizace, nadávkování koagulantu síranu hlinitého, koagulace a flokulace. Pro zásobu vody na praní filtrů je na úpravě využíváno vodojemu, z něhož prací voda na filtry natéká. Použitá prací voda je odváděna do úseku kalového hospodářství, kde je systémem postupného usazování v nádržích co nejvíce odsazena. Vzniknuvší kal je zpracován v kalolisech a odvážen z úpravny k dalšímu zpracování. Odsazená prací voda je dočasně zdržena v akumulaci odsazené vody, z níž byla původně v celém svém objemu vypouštěna do blízké vodoteče – Svratky. Od roku 2013 zde funguje částečné přečerpávání odsazené prací vody zpět do přítokového objektu, poté je prací voda znovu upravována společně s vodou surovou.

Pro posouzení, zda lze vracet větší množství prací vody, proběhly 2 etapy ověření možnosti provedení záměru. První z nich byla prováděna na přelomu let 2015 a 2016 a vycházela především z již naměřených hodnot sledovaných ukazatelů získaných v roce 2015. Druhá etapa spočívala v realizaci měřicího období, které probíhalo od srpna do prosince 2016, a během něhož byly již prováděny cílené rozborů za účelem získání přesnějších dat.

Během první etapy byly po konzultaci s panem Antošem sledovány v surové, upravené a prací vratné vodě tyto ukazatele: zákal, barva, chemická spotřeba kyslíku, koncentrace hliníku, železa a manganu. Poskytnuté hodnoty byly graficky zpracovány, přičemž u těch ukazatelů, u kterých to bylo směrodatné, tj. hliník, železo a mangan, byl proveden výpočet předpokládaných koncentrací těchto ukazatelů ve směsné vodě s obsahem 5 nebo 10 % vratné prací vody. Tyto hodnoty byly srovnávány s MH danými vyhláškou. Dále bylo analyzováno, jak spolu navzájem korespondují časové průběhy hodnot vybraných ukazatelů.

Z výsledků první etapy vyplynulo, že zvýšení podílu vratné prací vody z 5 na 10 % objemu vody surové by nemělo negativně ovlivnit úpravárenský proces s ohledem na

koncentraci železa a manganu, neboť lze očekávat dokonce mírné snížení koncentrací těchto prvků ve směsné vodě. Hodnoty  $CHSK_{Mn}$ , barvy a zákalu by se zvýšily, nicméně nejspíš ne natolik, aby výrazně ovlivnily upravitelnost vody. Koncentrace hliníku byly ve vratné vodě výrazné a s větším podílem vratné vody by se tato koncentrace zvýšila i ve vodě určené k úpravě, tudíž by na tento ukazatel měl být brán zvýšený zřetel.

Pro představu, jak se projevuje zvýšení množství vratné prací vody v ukazateli  $CHSK_{Mn}$ , byla provedena míchání surové vody s 5 a 10 % obsahem prací vody a tento ukazatel byl ve směsných vodách stanoven. Z naměřených hodnot vyplynulo, že i přes to, že odsazená prací voda vykazovala  $CHSK_{Mn}$  mnohem vyšší, tak v obou typech směsných vod došlo jen k mírnému nárůstu tohoto parametru.

Z grafického srovnání jednotlivých ukazatelů vyplynulo, že průběh jejich hodnot si je velmi podobný, rizikové období by mohlo nastat v okamžiku, kdy by došlo ke zhoršení všech sledovaných parametrů v surové vodě.

Závěrem první etapy bylo konstatováno, že zvýšení množství vracené prací vody k úpravě by mělo být možné. Vzhledem k tomu, že se však jednalo pouze o teoretické výsledky, bylo doporučeno, aby byly po určité časové období prováděny koagulační zkoušky směsné vody s 10 % obsahem prací vody. Dále bylo doporučeno sledovat vybrané mikrobiologické ukazatele, které v první etapě uvažovány nebyly, ale které by mohly mít na výsledek záměru vliv.

Na základě výsledků z první teoretické etapy, které nasvědčovaly, že realizace záměru by měla být možná, bylo rozhodnuto o tom, že od června 2016 začalo být k opětovné úpravě vraceno 6 % prací vody. Již tento krok přinesl úsporu odhadovanou na 50 – 60 tis. Kč. Bližší analýzou množství vody surové, prací vratné a prací nevyužité bylo zjištěno, že přesto, že od roku 2013 mělo být vraceno k úpravě 5 % prací vody z objemu vody surové, ve skutečnosti se jednalo o 3,8 – 4,2 %. Tato odchylka pravděpodobně vznikla jako následek složitého průskokového provozu, který na úpravě funguje.

Během druhé etapy realizované v druhé polovině roku 2016 byly sledovány vybrané ukazatele (tj. pH, zákal, barva,  $CHSK$ , hliník, železo, mangan, *Clostridium Perfringens*, kultivovatelné organismy při 22 a 36 °C) v čerstvé a odsazené prací vodě a ve vodě surové. Sledování 2 druhů pracích vod mělo za účel zjistit, jakou účinnost má kalové hospodářství a zda v něm nedochází k růstu mikroorganismů či zpětnému uvolňování některých látek z kalu. Dále byly provedeny koagulační zkoušky ve směsné vodě s 10 % obsahem prací vody, po nichž bylo sledováno pH a ukazatele shodné s první etapou. Ty byly realizovány za účelem zjištění, zda by zvýšení množství prací vody v upravované vodě vyvolalo potřebu navýšení dávky koagulantu.

Z provedených rozborů vyplynulo, že zvýšení množství přimíchané vratné prací vody do vody surové by se nemělo podstatně negativně projevit ani v jednom ze sledovaných ukazatelů. V případě pH a zákalu došlo během koagulačních zkoušek ke splnění MH již při minimálních dávkách koagulantu. Pro odstraňování manganu z vody neměly koagulační zkoušky význam, nicméně smícháním surové vody a vratné prací vody pravděpodobně docházelo k mírnému, téměř zanedbatelnému, snížení koncentrace manganu, neboť voda prací vratná vykazovala nižší koncentrace než voda surová. Obdobná situace nastala i u železa, v jehož případě se navíc projevila během koagulačních zkoušek sorpce na sraženině a MH dané vyhláškou tak všechny vzorky vyhověly již při minimální dávce koagulantu. Pro dodržení MH dané vyhláškou pro barvu byla dostačující dávka  $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , pro hliník pak  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Za pozornost stojí výsledky  $CHSK$ , které naznačují, že na účinnost koagulace v tomto ukazateli má značný vliv i původ organických látek ve vodě obsažených. I přesto všechna měření prokázala, že standardně používaná dávka  $25 - 35 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  koagulantu by byla v případě navýšení množství upravované vratné prací vody dostačující, což platí i pro všechny ostatní výše uvedené ukazatele.

Ve sledovaných mikrobiologických ukazatelích měla vratná prací voda obdobné hodnoty jako voda surová, tudíž by nemělo docházet přimícháním většího množství vratné prací vody do vody surové ke změnám těchto parametrů.

Druhá etapa měření prokázala, že přimíchávání 10 % vratné prací vody do vody surové by mělo být možné a nemělo by způsobovat žádné provozní problémy. Měly by být ale pečlivě sledovány parametry surové vody, které výrazně ovlivňují proces úpravy. Mezi rizikové faktory a období byl zařazen zvýšený výskyt sinic, přívalové srážky a jarní a podzimní míchání vody v nádrži Vír I. Pro případ, že by došlo k výraznému zhoršení některého z parametrů, bylo doporučeno snížit přimíchávané množství vratné prací vody nebo její přimíchávání dočasně přerušit. Jako další rizikové období byl uveden případ, kdy bude zahájen kontinuální provoz úpravní a nebude docházet k pravidelným odstávkám. Tím by mohlo dojít k nedostatečnému zdržení prací vody v úseku kalového hospodářství, v důsledku čehož by mohla být do surové vody přimíchávána vratná prací voda zhoršených parametrů, což by mohlo způsobovat provozní problémy. Na druhou stranu příliš dlouhé zdržení prací vody v kalovém hospodářství by mohlo vést ke zpětnému uvolňování látek ze sraženiny do vody.

V poslední části diplomové práce bylo provedeno finanční zhodnocení záměru. Z výpočtů vyplynulo, že navýšení objemu prací vody na 10 % objemu surové vody by přineslo roční úsporu 475 – 625 tis. Kč, přičemž hlavní složkou úspor by bylo snížení množství jímání vody z vodní nádrže Vír, za kterou se platí poplatek  $6,68 \text{ Kč}\cdot\text{m}^{-3}$ . Vedle zmíněných úspor by ale tento krok vyžadoval počáteční investici v podobě koupě čerpadla, které by umožňovalo potřebné množství vody dopravovat do přítokového objektu. Náklady na pořízení tohoto zařízení byly odhadnuty na 400 tis. Kč. Maximální výkon čerpadla, které je v současné době na úpravně nainstalované, by umožnil zvýšení objemu prací vody na 7 %, což by znamenalo roční úsporu 190 – 250 tis. Kč oproti stavu, kdy by bylo přečerpáváno 5 % prací vody z objemu vody surové. Návrh investice do koupě čerpadla oproti stavu, kdy by bylo přečerpáváno 7 % prací vody, by byla 2 roky.

Cílem této práce bylo posoudit, zda je původní záměr realizovatelný. Postupnými kroky se podařilo prokázat, že pravděpodobně je. V případě, že bude na ÚV Švařec zahájen provoz s přečerpáváním 10 % prací vody z objemu vody surové, dojde k výraznému zlepšení hospodaření s prací vodou. To bude mít za následek úspory v řádech statisíců Kč ročně, aniž by byl změněn úpravárenský proces. V případě realizace záměru je však nutné sledovat vytipované rizikové ukazatele a faktory, které byly v této diplomové práci stanoveny.

## 9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] American Water Works Association: Filtration Basic Course. Module 1: Filtration. AWWA e-Learning, 2009.
- [2] TUHOVČÁK, Ladislav, Pavel ADLER, Tomáš KUČERA a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Vodárenství: A. úprava vody*. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006, 223 s.
- [3] DOLEJŠ, Petr. Provozní optimalizace a vývojové trendy vodárenské filtrace. *Vodní hospodářství*. Bohumilice: Vodní hospodářství, spol. s r.o., 2009, 51(2), 37 - 39.
- [4] Regenerace aktivního uhlí. *ALFA SYSTEM s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: [http://www.alfasystem.cz/prehled-sluzeb\\_services-summary/regenerace-aktivniho-uhli\\_active-carbon-regeneration](http://www.alfasystem.cz/prehled-sluzeb_services-summary/regenerace-aktivniho-uhli_active-carbon-regeneration)
- [5] Rekonstrukce ÚV Znojmo 2010. *VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.* [online]. 2009 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/divize-znojmo/rekonstrukce-uv-znojmo-2010>.
- [6] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Příručka provozovatele úpravny pitné vody*. Vyd. 1. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, c2005, viii, 206 s. ISBN 80-239-4565-3.
- [7] DRBOHLAV, Josef a Petr Dolejš. *Zkušenosti s používáním drenážních systému Leopold (ITT) při rekonstrukcích úpravny vody v České republice*. SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: 2009, 5 (10), 5-9.
- [8] *Chemie a technologie vody: Modul 01 Chemie přírodních a pitných vod*. VUT v Brně.
- [9] GOTTFRIED, A., A. D. SHEPARD, K. HARDIMAN a M. E. WALSH. Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation-sedimentation processes. *Water Research*. 2008, (42).
- [10] BINNIE, Chris., Martin. KIMBER a George. SMETHURST. *Basic water treatment*. 3rd ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2002. ISBN 0-85404-989-4.
- [11] Vírský oblastní vodovod a úpravna vody Švařec. *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [online]. (c)2005-2017 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/zasobovani-pitnou-vodou/uv-svarec-vov/>.
- [12] *Koagulační zkouška [SD 29]*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, Laboratoř ÚV Švařec.
- [13] ČSN EN ISO 7027 (757343) A Jakost vod - Stanovení zákalu. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [14] Zákon č. 274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). *Zákony pro lidi* [online]. c2010-2017 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>
- [15] Vyhláška č. 48/2014 Sb., kterou se mění 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 pozdějších předpisů Čl.I.



EAGRI [online]. Ministerstvo zemědělství, ©2009-2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/101326608.html>.

[16] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.

[17] Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. *TZB-info* [online]. ©2001-2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-252-2004-sb-kterou-se-stanovi-hygienicke-pozadavky-na-pitnou-a-teplou-vodu-a-cetnost-a-rozsah-kontroly-pitne-vody>.

[18] *Stanovení zákalu nefelometricky SOP/M-04*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, 2014.

[19] ČSN EN ISO 7887 (757364). Kvalita vod - Stanovení barvy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[20] *Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem draselným ( $CHSK_{Mn}$ ) odměrnou metodou SOP/M-37*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, 2014.

[21] ČSN ISO 10566 (757401) A Jakost vod - Stanovení hliníku - Spektrofotometrická metoda s pyrokatecholovou violetí. Praha: Český normalizační institut, 1997.

[22] *Stanovení hliníku (Al) spektrofotometricky SOP/M-61*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, Laboratoř ÚV Švařec, 2014.

[23] ČSN ISO 6332 (757433) A Jakost vod. Stanovení železa. Fotometrická metoda s 1,10-fenantrolinem. Praha: Český normalizační institut, 1995.

[24] *Stanovení rozpuštěného železa (Fe) spektrofotometricky SOP/M-63*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, Laboratoř ÚV Švařec, 2014.

[25] ČSN ISO 6333 (757447) A Jakost vod. Stanovení manganu. Spektrofotometrická metoda s formaldoximem. Praha: Český normalizační institut, 1996.

[26] HANUŠOVÁ, Veronika. *Vyhodnocení provozu vodárenských filtrů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Tomáš Kučera.

[27] *Stanovení manganu (Mn) spektrofotometricky SOP/M-62*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, Laboratoř ÚV Švařec, 2014.

[28] ČSN ISO 10523 (757365) A Jakost vod - Stanovení pH. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[29] *Stanovení pH potenciometricky SOP/M-01*. Brněnské vodárny a kanalizace, a. s., Útvar kontroly kvality, 2014.

[30] ČSN EN ISO 6887-1 (560102) A Mikrobiologie potravin a krmiv - Úprava analytických vzorků, příprava výchozí suspenze a desetinasobných ředění. Část 1, Všeobecné pokyny pro

přípravu výchozí suspenze a desetinásobných ředění. Praha: Český normalizační institut, 1999.

[31] ČSN EN ISO 6222 (757821) A Jakost vod - Stanovení kultivovatelných mikroorganismů - Stanovení počtu kolonií očkovaním do živného agarového kultivačního media. Praha: Český normalizační institut, 2000.

[32] Víme, co pijeme – ověřování mikrobiologické nezávadnosti. *Vodarentsvi.cz*. [online]. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.ovodarenstvi.cz/clanky/vime-co-pijeme-overovani-mikrobiologicke-nezavadnosti>.

[33] AQUATIS A.S. *Provozní řád Vírský oblastní vodovod: Úpravna vody Švařec 3.B - Strojně-technologická část*. Brno.

[34] ČSN EN ISO 7937 (560091) A Mikrobiologie potravin a krmiv - Horizontální metoda stanovení počtu *Clostridium perfringens* - Technika počítání kolonií. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[35] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Mikrobiologie v technologii vod*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-676-0.

[36] KYNCL, Miroslav, Vojtěch DIRNER a Jiří VIDLÁŘ. *Využití, zpracování a zneškodňování vodárenských kalů*. : 2008, s. 7.

[37] KYNCL, Miroslav. *Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů*. Ostrava. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007, 127 s. ISBN 978-80-248-1604-3.

[38] SMV [online] [cit. 2017-05-16]. Srovnání možných variant návrhů kalových koncovek pro úpravny vod. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/data/013/001597.pdf>

[39] DEGRÉMONT. *Water treatment handbook*. 5th ed. New York: Halsted Press, 1979. ISBN 29-503-9841-3.

[40] *Neutralizační kapacita* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 1s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www1.osu.cz/~znavrat1/aciditaalkalita.doc>

[41] Zdeněk Antoš, vedoucí ÚV Švařec

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Al	hliník
C	uhlík
Ca	vápník
Cl	chlór
Fe	železo
H	vodík
Na	sodík
O	kyslík
Pt	platina
g	gram
mg	miligram
mol	mol
mmol	milimol
l	litr
ml	mililitr
hod	hodina
min	minuta
s	sekunda
m	metr
mm	milimetr
nm	nanometr
m v. sl.	metr vodního sloupce
m n. m.	metr nad mořem
KTJ	kolonie tvořící jednotka
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
ZF(n)	nefelometrická zákalová jednotka
Kč	Koruna česká

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Vhodnost užití koagulantů v závislosti na vlastnostech upravované vody [10] .....	13
Tab. 2.2 Hodnoty vybraných ukazatelů surové a prací vody [9] .....	23
Tab. 4.1 Objemy nevyužitě odsazené prací vody [%] v letech 2011 a 2012 z původního objemu prací vody .....	46
Tab. 4.2 Četnost odběru vzorků [33].....	54
Tab. 5.1 Kvalita upravené vody v roce 2015 .....	56
Tab. 5.2 Bilance pro roky 2013 až 2016 .....	66
Tab. 5.3 Detail bilance vody v roce 2016 .....	66
Tab. 5.4 Porovnání let 2015 a 2016 při předpokládaném vracení prací vratné vody o objemu 5,2 % vody surové .....	67
Tab. 5.5 Objemy nevyužitě odsazené prací vody [%] v letech 2013 až 2016 z původního objemu prací vody .....	68
Tab. 7.1 Výpočet nákladů a úspor za předpokladu vracení 10 % prací vody vratné v roce 2016 .....	82
Tab. 7.2 Výpočet nákladů a úspor za předpokladu vracení 7 % prací vody vratné v roce 2016 .....	83

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Míchací kolona s koagulačními kádinkami .....	16
Obr. 2.2 Plovákový filtr s pískovou náplní .....	17
Obr. 2.3 Přefiltrování vzorků po koagulační zkoušce .....	17
Obr. 2.4 Vybavení filtru evropského typu [2].....	20
Obr. 2.5 Průběh tlakové ztráty u rychlofiltru [6].....	21
Obr. 2.6 Kalolis (foto: Zdeněk Antoš) .....	27
Obr. 3.1 Vodní lázeň se zkumavkami .....	33
Obr. 3.2 Dávkovače šťavelanu sodného a manganistanu draselného .....	34
Obr. 3.3 Vzorky vody s rozdílnými koncentracemi hliníku.....	35
Obr. 3.4 Vzorky vody po koagulační zkoušce připravené ke změření koncentrace hliníku....	36
Obr. 3.5 Vybarvené vzorky vody připravené k analýze koncentrace železa .....	37
Obr. 3.6 Vybarvené vzorky vody připravené k analýze koncentrace manganu po nadávkování amoniaku .....	38
Obr. 3.7 Vzorky vody připravené k analýze koncentrace manganu po 1 hodině odstání.....	39
Obr. 3.8 Přístroj pro měření pH.....	40
Obr. 3.9 Petriho misky přichystané pro analýzu KTJ 36 a 22 °C .....	41
Obr. 3.10 Kolonie po kultivaci na Petriho miskách přichystané pro analýzu KTJ 36 a 22 °C	42
Obr. 3.11 Filtrační zařízení .....	43
Obr. 3.12 Narostlé kolonie po kultivaci .....	43
Obr. 3.13 Barevná změna kolonií.....	44
Obr. 3.14 Intestinální enterokoky po kultivaci.....	44
Obr. 4.1 Schéma úpravny vody ÚV Švařec .....	48
Obr. 4.2 Francisova turbína na přítoku (foto: Zdeněk Antoš).....	49
Obr. 4.3 Ozonizátor (foto: Zdeněk Antoš) .....	49
Obr. 4.4 Míchadlo .....	50
Obr. 4.5 Hala filtrů (foto: Zdeněk Antoš) .....	51
Obr. 4.6 Schéma průběhu filtračního a pracího cyklu pískových filtrů .....	51
Obr. 4.7 Schéma průběhu filtračního a pracího cyklu GAU filtrů.....	52
Obr. 4.8 Schéma kalového hospodářství ÚV Švařec .....	53

## 13 SUMMARY

The aim of this thesis is to assess a possibility of achieving better sludge water management in the water treatment plant in Švařec. Currently part of sludge water volume is mixed with raw water in ratio of 5:95 and then it is treated again. However, a big amount of sludge water is still being discharged to the river Svratka. For this reason, the operator of this plant is considering increase the volume of sludge water mixed with raw water twice and reach the ratio 10:90.

The assessment of this plan was divided into two phases. For the first of them data collected during the year 2015 about raw, produced drinking and sludge water was used. Attention was concentrated on six indicators – turbidity, color, chemical oxygen demand and aluminium, iron and manganese concentrations. It was initially evaluated, based on values of these indicators, that the plan to increase the volume of sludge water in mixed water is possible and it should not cause any problems. However, it was recommended to carry out more measurements that would be able to confirm or rebut this hypothesis. On the basis of the results of the first phase, it was decided to increase the amount of sludge water from 5 to 6 % of general raw water volume.

The second phase took place between August and December 2016. During this time nine series of coagulation tests with mixed water with 10 % content of sludge water were done and the same group of six indicators from the first phase was controlled. Those coagulation tests were supposed to verify whether the increased amount of sludge water in treated water would not make a higher coagulant (aluminium sulfate) demand. Furthermore, during the second phase six special-interested indicators plus three microbiological indicators in raw water, fresh backwash water and in sludge water were controlled. The main purpose was to find out the effectiveness of the sludge department in the water treatment plant and to compare the indicator's values of sludge and raw water. Results from the second phase confirmed the first phase's theory that increases of sludge water volume in water treatment technology should be possible. Some risk factors of this plan were found and the attention should be paid to them.

This thesis concludes with the estimated financial assessment of this plan that includes estimation of initial costs.

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Doplnující fotografie k ÚV Švařec .....	96
Příloha 2 Ukazatelé jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou podle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích: .....	96
Příloha 3 Způsob vyhodnocení a zařazení surové vody do kategorií podle Vyhlášky 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) .....	101
Příloha 4 Výsledky hodnot zákalu, barvy a $CHSK_{Mn}$ pro rok 2015.....	103
Příloha 5 Výsledky hodnot hliníku, železa a manganu pro rok 2015 .....	104
Příloha 6 Vypočtené hodnoty hliníku, železa a manganu ve směsné vodě pro rok 2015 .....	105
Příloha 7 Výsledky laboratorního stanovení $CHSK_{Mn}$ během první etapy (1. měření) .....	106
Příloha 8 Výsledky chybného laboratorního stanovení $CHSK_{Mn}$ během první etapy (2. měření) .....	107
Příloha 9 Porovnání průběhu ukazatelů v upravené vodě během roku 2015 .....	108
Příloha 10 Bilance pro roky 2013 až 2016 .....	109
Příloha 11 Hodnoty ukazatelů prací vody čerstvé.....	111
Příloha 12 Hodnoty ukazatelů prací vody odsazené .....	112
Příloha 13 Hodnoty ukazatelů surové vody .....	113
Příloha 14 Hodnoty ukazatelů po koagulačních zkouškách směsné vody .....	114
Příloha 15 Množství upravené, surové a odsazené prací vody v letech 2011 a 2012 .....	116
Příloha 16 Vyhodnocení zkušebního čerpání vratné vody na úpravně vody Švařec .....	117

## 15 PŘÍLOHY

### Příloha 1 Doplnující fotografie k ÚV Švařec



Letecký pohled na vodní nádrž Víř (foto: Z. Antoš)



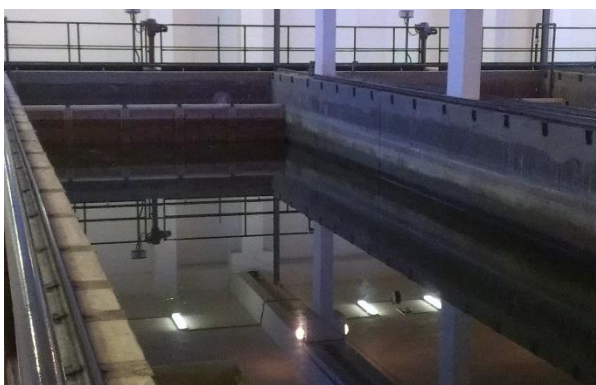
Areál ÚV Švařec (foto: Z. Antoš)



Zařízení pro přípravu ClO<sub>2</sub> (foto: Z. Antoš)



Zařízení pro přípravu vápenného mléka (foto: Z. Antoš)



Sedimentační nádrž kalového hospodářství (foto: Z. Antoš)



Přepad na sedimentační nádrži (foto: Z. Antoš)





**Nádrže kalového hospodářství (foto: Z. Antoš)**



**Kalolisy (foto: Z. Antoš)**

**Příloha 2 Ukazatelé jakosti surové povrchové vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standardních metod úpravy surové vody na vodu pitnou podle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích:**

Pořadové číslo	Ukazatel	Jednotka	A1	A2	A3
			mezní	mezní	mezní
1	Reakce vody	pH	6,5 - 9,5	5 - 6,5	< 5
				9,5 - 10	> 10
2	Barva	mg·l <sup>-1</sup> Pt	20	100	200
3	Nerozpuštěné látky suš.	mg·l <sup>-1</sup>	10		
4	Teplota	°C	20	25	25
5 *	Konduktivita	mS·m <sup>-1</sup>	125	125	125
6	Pach		přijatelný	přijatelný	nepřijatelný
7	Dusičnany	mg·l <sup>-1</sup>	50	50	50
8	Fluoridy	mg·l <sup>-1</sup>	1,5	1,5	1,5
9	Adrobovatelné org. vázané halogeny (AOX)	mg·l <sup>-1</sup>	0,01	0,02	0,03
10	Železo celkové	mg·l <sup>-1</sup>	0,2	1,0	2,0
11	Mangan	mg·l <sup>-1</sup>	0,05	0,50	1,50
12	Měď	mg·l <sup>-1</sup>	0,05	0,05	0,10
13	Zinek	mg·l <sup>-1</sup>	3	5	5
14	Bor	mg·l <sup>-1</sup>	1	1	1
15	Berylium	mg·l <sup>-1</sup>	0,002	0,002	0,002
16	Nikl	mg·l <sup>-1</sup>	0,02	0,03	0,03
17	Arsen	mg·l <sup>-1</sup>	0,01	0,01	0,02
18	Kadmium	mg·l <sup>-1</sup>	0,005	0,005	0,005
19	Chrom veškerý	mg·l <sup>-1</sup>	0,05	0,05	0,05
20	Olovo	mg·l <sup>-1</sup>	0,010	0,025	0,050
21	Selen	mg·l <sup>-1</sup>	0,01	0,01	0,01
22	Rtuť	mg·l <sup>-1</sup>	0,001	0,001	0,001
23	Kyanidy veškeré	mg·l <sup>-1</sup>	0,05	0,05	0,05
24 *	Sírany	mg·l <sup>-1</sup>	250	250	250
25 *	Chloridy	mg·l <sup>-1</sup>	100	100	250
26	Tenzidy aniontové	mg·l <sup>-1</sup>	0,2	0,2	0,5
27	Uhlovodíky C10-C40	mg·l <sup>-1</sup>	0,1	0,1	0,1
28	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)	g·l <sup>-1</sup>	0,1	0,1	0,2
29	Pesticidní látky celkem	g·l <sup>-1</sup>	0,5	0,5	0,5
30	Chemická spotřeba kyslíku manganistanem	mg·l <sup>-1</sup>	3	10	15

31	Biochemická spotřeba kyslíku při 20 °C s vyloučením nitrifikace	mg·l <sup>-1</sup>	3	5	7
32	Amonné ionty	mg·l <sup>-1</sup>	0,5	1,0	3,0
33	Celkový organický uhlík (TOC)	mg·l <sup>-1</sup>	5	7	10
34	Huminové látky	mg·l <sup>-1</sup>	2,5	5,0	8,0
35	Koliformní bakterie	KTJ·100 ml <sup>-1</sup>	50	5000	50000
36	Termotolerantní koliformní bakterie	KTJ·100 ml <sup>-1</sup>	20	2000	20000
37	Fekální streptokoky (Enterokoky)	KTJ·100 ml <sup>-1</sup>	20	1000	10000
38	Mikroskopický obraz	jedinci·ml <sup>-1</sup>	50	3000	10000
				500 1)	1000 1)
39	Pesticid jednotlivý 2)	µg·l <sup>-1</sup>	0,1	0,1	0,5
40	Hliník	mg·l <sup>-1</sup>	0,2	1,0	2,0

Kromě ukazatelů uvedených v tabulce nesmí surová voda obsahovat další mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoliv druhu (tj. včetně všech ukazatelů uvedených ve vyhlášce č. 252/2004 Sb.) v počtu nebo koncentraci, které by mohly po její úpravě na vodu pitnou ohrozit veřejné zdraví.

- 1) Obtížně odstranitelné organismy jednostupňovou či vícestupňovou úpravou.
- 2) Limitní hodnota platí pro každý jednotlivý pesticid s výjimkou aldrinu, dieldrinu, heptachlor a heptachlorepoxydu, kde platí limitní hodnota 0,03 µg/l.

Vysvětlivky k tabulce:

- 1) M - mezní, povinné hodnoty.
- 2) Ukazatel pořadové číslo 6 (pach): v případě zvýšeného pachu, který bude charakterizován jako pach po chlorfenolech, případně dalších obdobných, je nutné provést detailní analýzu na podezřelé organické sloučeniny (zvláště fenoly) a posoudit jejich závadnost a koncentrace. V případě pochybností se za nepříjemný pach považuje stupeň 5 při stanovení podle ČSN EN 1622 Stanovení pachu (jednotka TON).
- 3) Ukazatel pořadové číslo 9 (AOX): není nutné stanovit a kategorizovat v případech, když jsou stanoveny specifické chlorované organické látky v rozsahu úplného rozsahu pitné vody a vyhovují předepsaným limitním hodnotám podle vyhlášky č. 252/2004 Sb.
- 4) Ukazatel pořadové číslo 12 (měď): limit je dán možností organoleptických závad při koncentracích nad 100 g/l. V případě, že nejsou žádné organoleptické závady, platí pro kategorii A3 limit 1,0 mg/l (jako pitná voda).
- 5) Ukazatel pořadové číslo 27: změna metodiky stanovení a původního názvu z nepolární extrahovatelné látky "(NEL)" na "uhlovodíky C10-C40". Změna mezní hodnoty byla upravena z 0,05 mg/l na 0,01 mg/l s ohledem na mez stanovitelnosti příslušné normové metody.
- 6) Ukazatel pořadové číslo 28 (PAU): je vyjádřen jako součet koncentrací: benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(ghi) perylen, indeno (1, 2, 3 - cd) pyren, benzo(a)pyren.
- 7) Ukazatel pořadové číslo 29: je vyjádřen jako součet (hodnot nad mezí stanovitelnosti) všech stanovených pesticidů. Není-li látka zjištěna kvantitativně, k

součtu se přičítá nula. Stanovují se ty pesticidy, u kterých je pravděpodobné, že se budou v daném zdroji vyskytovat.

- 8) Podmínky měření hodnot ukazatelů jsou uvedeny v příloze č. 14 Vyhlášky 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). Laboratoře, které používají jiné metody, musí zaručit, že obdržené výsledky jsou rovnocenné nebo srovnatelné v porovnání s metodami uvedenými v příloze č. 14 k této vyhlášce.

**Příloha 3 Způsob vyhodnocení a zařazení surové vody do kategorií podle Vyhlášky 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)**

- 1) Základní zařazení nového zdroje surové vody
  - a. Základní zařazení nového zdroje surové vody do kategorie se provádí vyhodnocením ukazatelů jakosti surové vody uvedených v tabulkách č.1a a 1b, a to s četností minimálně 12 vzorků v průběhu dvou let (§ 22 odst. 4 a 5)
  - b. Surová voda je považována za vyhovující příslušným ukazatelům v dané kategorii, pokud vzorky této vody odebírané v pravidelných intervalech a v tomtéž bodě vzorkování budou vyhovovat hodnotám ukazatelů pro odpovídající kvalitu vody, a to u 95 % odebraných vzorků.
  - c. Každý ukazatel je svými výsledky zařazen do vlastní kategorie. Výsledná kategorie je určena podle nejhorší kategorie jednotlivého ukazatele.
  - d. Je-li u některého ukazatele uvedena stejná limitní hodnota pro kategorii A1, A2 i A3, potom v případě překročení mezní hodnoty kategorie A1 bude ukazatel zařazen mimo kategorie A1, A2, A3 (tj. nevyhovuje předepsaným kategoriím svojí vyšší koncentrací) tj. > A3.
  - e. Je-li u některého ukazatele uvedena stejná limitní hodnota pro kategorii A1 a A2 a vyšší pro kategorii A3, potom v případě překročení mezní hodnoty kategorie A1 je ukazatel zařazen do kategorie A3.
- 2) Upřesnění kategorie
  - a. Stávající kategorie surové vody se upřesňuje každý rok (§ 22 odst. 6) podle výsledků prováděných rozborů v rámci plánu kontroly jakosti rozborů surové vody podle přílohy č. 9 k této vyhlášce. K hodnocení budou použity výsledky všech monitorovacích a úplných rozborů za hodnocené období včetně zařazení dalších ukazatelů podle poznámky uvedené u tabulky č. 3 přílohy č. 9 k této vyhlášce. V každém případě je nutné sledování ukazatelů, které v posledních dvou letech určovaly zařazení do kategorie A3 a horší než A3.
  - b. Ukazatel, jehož zjištěná hodnota je vyšší než mezní hodnota určená pro kategorii A3 a je potvrzena opakovaným nálezem, pak je i při nižším počtu odebraných vzorků než 12 zařazen zdroj mimo kategorie A1, A2, A3 (tj. nevyhovuje předepsaným kategoriím svojí vyšší koncentrací).
  - c. Pro upřesnění kategorie platí uvedené zásady v bodě 1b) a c) Základní zařazení nového zdroje surové vody.
  - d. Pro povrchovou vodu se pro upřesnění kategorie vychází z hodnot ukazatelů a četnosti odběrů za hodnocené období.
- 3) Od požadavků uvedených v odstavci 1 a 2 je možné se odchýlit:
  - a. v případech povodní nebo jiných přírodních katastrof nebo abnormálních povětrnostních podmínek (při výpočtu procent podle odstavce 1b) nebudou brány v úvahu hodnoty vyšší, pokud budou důsledkem těchto podmínek;
  - b. v případech, kdy povrchová voda podléhá přírodnímu obohacování určitými látkami, které může mít za důsledek překročení limitů stanovených v tabulce č. 1a této přílohy pro kategorie A1, A2 a A3. Přírozeným obohacováním se rozumí proces, při kterém bez lidského zásahu do povrchové vody přecházejí z půdy látky v nich obsažené. Zařazení se provede do nejbližší nižší kategorie;
  - c. u stojatých povrchových vod nebo u povrchových vod v mělkých nádržích u ukazatelů železo, mangan, chemická spotřeba kyslíku (CHSKMn), nasycení kyslíkem, BSK5; odchylka platí pouze pro nádrže s hloubkou do 20 m, s

- výměnou vody v nádrži kratší než jeden rok a bez přítoku odpadních vod, dále při odběrech z různých horizontů;
- d. pokud u maximálně dvou ukazatelů stanovená hodnota přesahuje mezní hodnoty kategorie A3 a ostatní ukazatele odpovídají kategorii A1 popř. A2, pak je třeba stanovenou hodnotu ověřit dalšími rozbory. Pokud výsledek technologické zkoušky prokáže, že lze tuto vodu upravit jednodušším postupem, než by odpovídalo kategorii A3, pak se zařazuje surová voda do kategorie odpovídající výsledku technologické zkoušky.
- 4) Vyloučení vzorků podle odstavce 3 posoudí provozovatel s ohledem na četnost jejich výskytu.
  - 5) V případě značného kolísání jakosti surové vody v průběhu roku, kdy zdroj nelze jednoznačně zařadit do kategorie, určí se výsledná kategorie dále uvedeným výpočtem průměrného indexu upravitelnosti podle vybraného ukazatele se zvláště proměnlivými výsledky. Index upravitelnosti zaokrouhlený výše se rovná kategorii surové vody pro daný ukazatel.
  - 6) Zařazení podzemní surové vody do kategorie se provádí podle odstavce 1 a 2 s využitím tabulky 1b) této přílohy.

#### ZPŮSOB URČENÍ PRŮMĚRNÉHO INDEXU UPRAVITELNOSTI PRO STANDARDNÍ METODY ÚPRAVY VODY

- a. Pro potřebu určení typu úpravy a technologického zařízení úpraven vod, kdy vzhledem k většímu kolísání jakosti surové vody nelze v průběhu roku zdroj zařadit jednoznačně do jedné kategorie, může provozovatel určit průměrný index upravitelnosti ( $I_{u,p}$ ) vybraných ukazatelů podle vztahu:

$$I_{u,p} = I_{u1.a.0,01} + I_{u2.b.0,01} + I_{u3.c.0,01} + I_{u4.d.0,01}$$

kde a, b, c je četnost výskytu ukazatele v procentech v kategorii A1, A2, A3 a kde je četnost výskytu ukazatele v kategorii větší než A3.

- b. Index upravitelnosti ( $I_u$ ) je číslo odpovídající kategoriím A1 až A3 ( $I_{u1} = 1$ ,  $I_{u2} = 2$ ,  $I_{u3} = 3$ ). Pro hodnoty větší, než přísluší kategorii A3, je  $I_{u4} = 4$ . Rostoucí index upravitelnosti je úměrný zhoršující se kvalitě zdroje a tím surová voda vyžaduje náročnější typ úpravy podle tabulky č. 2 v části 2.
- c. V případě, že hodnota vypočteného indexu upravitelnosti ( $I_u$ ) vychází mezi celými čísly, tak rozhodnutí o odpovídajícím typu úpravy musí akceptovat vzrůstající náročnost úpravy pro ukazatel s nejvyšší a nejvíce proměnlivou hodnotou.

**Příloha 4 Výsledky hodnot zákalu, barvy a CHSK<sub>Mn</sub> pro rok 2015**

datum	Zákal [ZF]			Barva [mg·l <sup>-1</sup> Pt]			CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]		
	surová	odsazená prací	upravená	surová	odsazená prací	upravená	surová	odsazená prací	upravená
06.01.2015	1,36	0,85	0,43	49	12	<5	5,77	3,52	1,48
27.01.2015	1,42	1,99	0,19	42	35	<5	5,82	3,68	0,48
10.02.2015	2,38	4,56	0,47	48	47	<5	7,20	6,56	1,47
17.02.2015	2,88	15,60	0,28	51	144	<5	7,07	12,86	0,93
03.03.2015	2,12	3,26	0,40	48	36	<5	7,26	6,56	1,09
17.04.2015	2,26	6,55	0,28	37	66	5	4,72	6,01	0,51
21.04.2015	1,49	5,15	0,16	36	57	<5	7,04	7,52	0,45
12.05.2015	1,64	6,69	0,22	37	59	<5	5,38	7,62	0,96
19.05.2015	1,51	6,85	0,13	44	69	<5	5,45	6,49	0,55
02.06.2015	2,44	8,38	0,40	56	83	<5	5,71	8,39	1,04
10.06.2015	0,75	4,24	0,17	35	67	<5	5,40	9,51	0,90
23.06.2015	2,85	3,00	0,32	57	42	<5	5,98	6,14	1,02
30.06.2015	0,91	6,46	0,12	28	75	<5	5,65	7,71	0,68
14.07.2015	1,04	2,53	0,39	39	34	<5	5,26	6,73	0,82
21.07.2015	0,90	5,51	0,12	29	73	<5	4,58	8,74	0,39
04.08.2015	1,56	6,04	1,62	47	84	<5	5,70	10,84	1,55
11.08.2015	3,15	6,34	<0,10	69	77	<5	7,16	8,51	0,84
25.08.2015	0,88	2,91	0,39	33	41	5	4,66	6,04	0,58
01.09.2015	1,16	5,33	0,11	36	67	<5	4,74	8,96	0,90
15.09.2015	0,70	1,61	1,07	22	25	9	3,39	3,42	0,90
22.09.2015	0,87	5,28	<0,10	34	65	<5	4,75	7,93	<0,30
06.10.2015	0,87	5,88	1,24	30	35	<5	5,26	4,84	0,77
20.10.2015	0,56	2,70	0,44	26	37	<5	6,26	7,32	2,58
03.11.2015	1,59	1,33	0,64	30	24	6	4,93	5,60	0,51
10.11.2015	0,73	3,26	0,29	28	42	6	4,51	5,76	<0,30
24.11.2015	1,80	2,43	0,59	34	32	6	5,89	5,31	1,76
01.12.2015	1,48	2,63	0,43	29	31	6	4,54	5,34	<0,30
07.12.2015	1,55	2,96	0,12	29	37	<5	4,51	5,79	0,74

**Příloha 5 Výsledky hodnot hliníku, železa a manganu pro rok 2015**

datum	Hliník [mg·l <sup>-1</sup> ]			Železo [mg·l <sup>-1</sup> ]			Mangan [mg·l <sup>-1</sup> ]		
	surová	odsazená prací	upravená	surová	odsazená prací	upravená	surová	odsazená prací	upravená
06.01.2015	<0,04	0,24	<0,04	0,42	0,05	0,04	0,102	0,044	<0,020
27.01.2015	<0,04	0,92	<0,04	0,38	0,13	0,03	0,085	0,026	<0,020
10.02.2015	0,05	1,06	<0,04	0,33	0,27	0,04	0,109	0,094	<0,020
17.02.2015	0,08	0,94	<0,04	0,25	0,51	0,03	0,104	0,127	<0,020
03.03.2015	0,07	1,02	<0,04	0,42	0,12	0,04	0,110	0,041	<0,020
17.04.2015	<0,04	1,05	<0,04	0,17	0,31	<0,02	0,032	<0,020	<0,020
21.04.2015	0,06	1,02	<0,04	0,20	0,24	0,03	0,076	0,046	<0,020
12.05.2015	0,05	1,05	<0,04	0,19	0,19	0,02	0,080	0,040	<0,020
19.05.2015	0,07	2,88	<0,04	0,20	0,26	0,03	0,099	0,060	<0,020
02.06.2015	0,11	1,01	<0,04	0,55	0,28	0,05	0,152	0,092	<0,020
10.06.2015	<0,04	0,83	<0,04	0,13	0,13	<0,02	0,064	0,060	<0,020
23.06.2015	0,09	0,97	<0,04	0,62	0,09	0,03	0,209	0,039	<0,020
30.06.2015	<0,04	1,02	<0,04	0,12	0,12	0,03	0,044	0,028	<0,020
14.07.2015	0,06	2,23	<0,04	0,42	0,12	<0,02	0,068	0,053	<0,020
21.07.2015	0,05	0,95	<0,04	0,15	0,23	0,03	0,063	0,062	<0,020
04.08.2015	0,06	0,82	<0,04	0,47	0,21	0,04	0,135	0,077	<0,020
11.08.2015	0,13	0,86	<0,04	0,44	0,18	0,03	0,334	0,052	<0,020
25.08.2015	<0,04	0,92	<0,04	0,33	0,06	0,03	0,069	0,045	<0,020
01.09.2015	0,08	0,93	<0,04	0,22	0,17	<0,02	0,112	0,059	<0,020
15.09.2015	<0,04	0,82	<0,04	0,20	0,03	<0,02	0,062	0,023	<0,020
22.09.2015	0,07	0,66	<0,04	0,13	0,15	0,03	0,101	0,059	<0,020
06.10.2015	<0,04	0,73	0,19	0,36	0,11	0,04	0,117	0,070	<0,020
20.10.2015	<0,04	0,85	<0,04	0,09	0,06	0,03	0,096	0,040	<0,020
03.11.2015	<0,04	0,82	<0,04	0,34	0,03	0,06	0,099	0,040	0,023
10.11.2015	<0,04	0,76	<0,04	0,18	0,08	0,03	0,135	0,055	0,029
24.11.2015	<0,04	0,77	<0,04	0,31	0,05	0,04	0,102	0,035	0,025
01.12.2015	<0,04	0,89	<0,04	0,12	0,11	<0,02	0,069	0,066	<0,020
07.12.2015	<0,04	0,94	<0,04	0,06	0,05	<0,02	0,069	0,071	<0,020



**Příloha 6 Vypočtené hodnoty hliníku, železa a manganu ve směsné vodě pro rok 2015**

datum	Hliník [mg·l <sup>-1</sup> ]		Železo [mg·l <sup>-1</sup> ]		Mangan [mg·l <sup>-1</sup> ]	
	směsná 5 %	směsná 10 %	směsná 5 %	směsná 10 %	směsná 5 %	směsná 10 %
06.01.2015	0,05	0,06	0,40	0,38	0,099	0,096
27.01.2015	0,08	0,13	0,37	0,36	0,082	0,079
10.02.2015	0,10	0,15	0,33	0,32	0,108	0,108
17.02.2015	0,12	0,17	0,26	0,28	0,105	0,106
03.03.2015	0,12	0,17	0,41	0,39	0,107	0,103
17.04.2015	0,09	0,14	0,18	0,18	0,031	0,031
21.04.2015	0,11	0,16	0,20	0,20	0,075	0,073
12.05.2015	0,10	0,15	0,19	0,19	0,078	0,076
19.05.2015	0,21	0,35	0,20	0,21	0,097	0,095
02.06.2015	0,16	0,20	0,54	0,52	0,149	0,146
10.06.2015	0,08	0,12	0,13	0,13	0,064	0,064
23.06.2015	0,13	0,18	0,59	0,57	0,201	0,192
30.06.2015	0,09	0,14	0,12	0,12	0,043	0,042
14.07.2015	0,17	0,28	0,41	0,39	0,067	0,067
21.07.2015	0,10	0,14	0,15	0,16	0,063	0,063
04.08.2015	0,10	0,14	0,46	0,44	0,132	0,129
11.08.2015	0,17	0,20	0,43	0,41	0,320	0,306
25.08.2015	0,08	0,13	0,32	0,30	0,068	0,067
01.09.2015	0,12	0,17	0,22	0,22	0,109	0,107
15.09.2015	0,08	0,12	0,19	0,18	0,060	0,058
22.09.2015	0,10	0,13	0,13	0,13	0,099	0,097
06.10.2015	0,07	0,11	0,35	0,34	0,115	0,112
20.10.2015	0,08	0,12	0,09	0,09	0,093	0,090
03.11.2015	0,08	0,12	0,32	0,31	0,096	0,093
10.11.2015	0,08	0,11	0,18	0,17	0,131	0,127
24.11.2015	0,08	0,11	0,30	0,28	0,099	0,095
01.12.2015	0,08	0,13	0,12	0,12	0,069	0,069
07.12.2015	0,09	0,13	0,06	0,06	0,069	0,069

**Příloha 7 Výsledky laboratorního stanovení CHSK<sub>Mn</sub> během první etapy (1. měření)**

typ vody	číslo vzorku	CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]
surová voda	1	4,80
	2	4,67
	3	4,53
	4	4,96
	5	4,86
směsná voda 5 %	1	4,99
	2	5,39
	3	5,32
	4	5,29
	5	5,36
	6	5,32
	7	5,19
	8	5,39
	9	5,09
	10	5,32

typ vody	číslo vzorku	CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]
směsná voda 10 %	1	5,59
	2	5,45
	3	5,52
	4	5,55
	5	5,68
	6	5,65
	7	5,59
	8	5,59
	9	5,52
	10	5,65
odsazená prací voda	1	9,86
	2	10,12
	3	10,18
	4	-
	5	9,92

**Příloha 8 Výsledky chybného laboratorního stanovení CHSK<sub>Mn</sub> během první etapy (2. měření)**

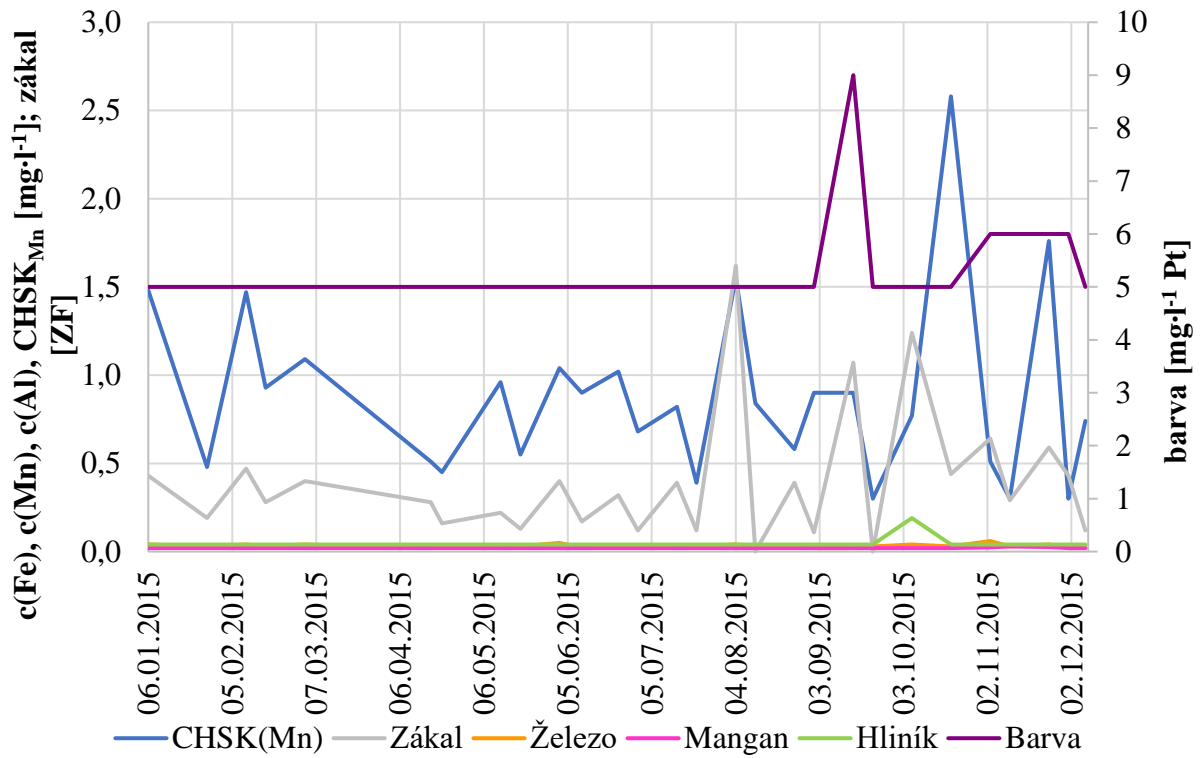
typ vody	číslo vzorku	CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]
surová voda	1	4,63
	2	4,66
	3	4,72
	4	4,53
	5	4,66
	6	4,72
	7	4,79
	8	4,53
	9	4,59
	10	4,53

typ vody	číslo vzorku	CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]
směsná voda 5 %	1	4,85
	2	4,79
	3	4,79
	4	4,72
	5	4,66
	6	4,79
	7	4,72
	8	4,79
	9	4,85
	10	4,85

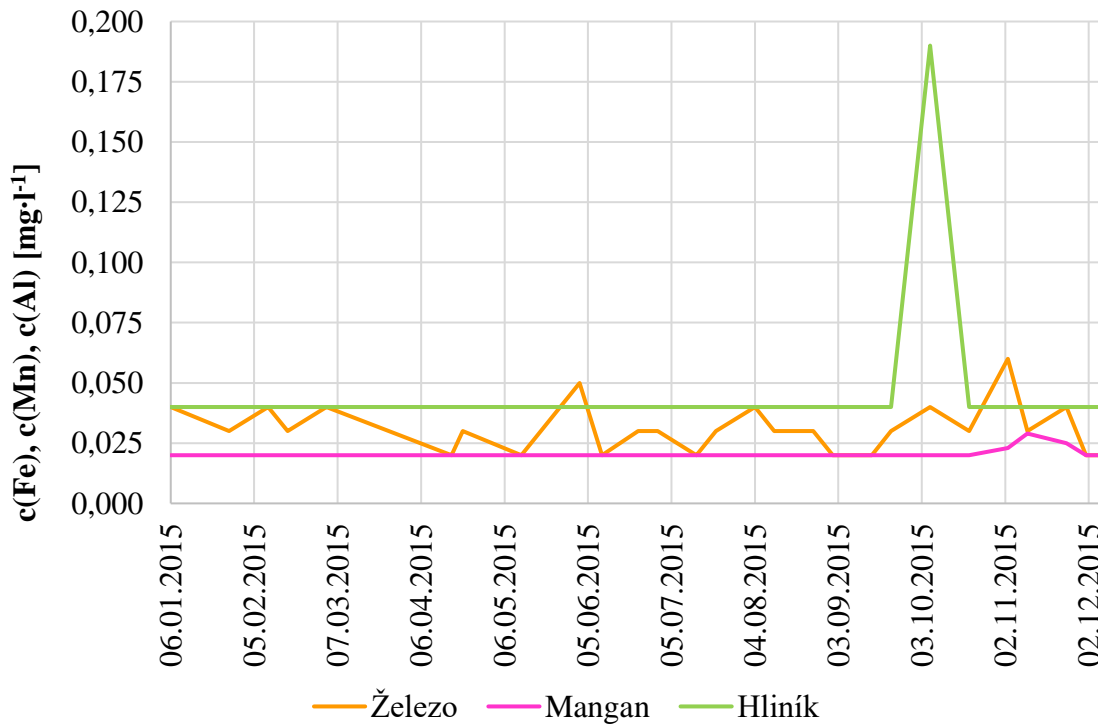
typ vody	číslo vzorku	CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]
směsná voda 10 %	1	5,11
	2	5,17
	3	4,98
	4	5,27
	5	5,24
	6	5,20
	7	5,27
	8	5,30
	9	5,37
	10	5,27

typ vody	číslo vzorku	CHSK <sub>Mn</sub> [mg·l <sup>-1</sup> ]
odsazená prací voda	1	5,04
	2	4,98
	3	4,92
	4	5,11
	5	4,98
	6	5,04
	7	4,85
	8	5,11
	9	5,17
	10	4,98

**Příloha 9 Porovnání průběhu ukazatelů v upravené vodě během roku 2015**



**Graf 15.1 Porovnání průběhu ukazatelů v upravené vodě během roku 2015**



**Graf 15.2 Detail porovnání průběhu hodnot železa, manganu a hliníku v upravené vodě během roku 2015**

**Příloha 10 Bilance pro roky 2013 až 2016**

	rok	leden	únor	březen	duben	květen	červen
<b>upravená voda [m<sup>3</sup>]</b>	2013	67 326	34 888	38 887	84 697	36 959	74 442
	2014	852 352	37 492	74 320	73 707	37 026	146 151
	2015	81 394	77 561	41 888	60 180	78 242	152 798
	2016	131 674	180 789	90 034	136 200	107 850	190 055
<b>surová voda [m<sup>3</sup>]</b>	2013	81 300	26 490	50 430	104 370	40 530	88 680
	2014	915 160	40 820	79 620	73 140	50 080	155 150
	2015	87 030	84 160	44 570	93 100	86 520	162 130
	2016	153 490	173 350	87 120	147 880	104 370	189 170
<b>prací voda odsazená nevyužitá [m<sup>3</sup>]</b>	2013	3 300	6 002	2 414	13 438	6 270	10 265
	2014	62 131	4 245	3 968	7 637	4 652	12 458
	2015	5 611	14 701	11 552	13 404	8 998	11 350
	2016	13 205	4 566	6 268	20 783	5 379	4 612
<b>prací voda vratná [m<sup>3</sup>]</b>	2013	0	0	1 653	5 282	2 021	4 598
	2014	38 208	1 322	1 979	3 269	2 326	7 635
	2015	2 814	3 106	1 516	0	3 744	7 090
	2016	3 019	8 233	4 673	8 026	5 738	12 073
<b>prací voda z celkového množství vody surové [%]</b>	2013	4,1	22,7	8,1	17,9	20,5	16,8
	2014	11,0	13,6	7,5	14,9	13,9	13,0
	2015	9,7	21,2	29,3	14,4	14,7	11,4
	2016	10,6	7,4	12,6	19,5	10,7	8,8
<b>prací voda vratná z celkového množství surové vody [%]</b>	2013	0,0	0,0	3,3	5,1	5,0	5,2
	2014	4,2	3,2	2,5	4,5	4,6	4,9
	2015	3,2	3,7	3,4	0,0	4,3	4,4
	2016	2,0	4,7	5,4	5,4	5,5	6,4
<b>prací voda odsazená nevyužitá z celkového množství prací vody [%]</b>	2013	100,0	100,0	59,4	71,8	75,6	69,1
	2014	61,9	76,3	66,7	70,0	66,7	62,0
	2015	66,6	82,6	88,4	100,0	70,6	61,6
	2016	81,4	35,7	57,3	72,1	48,4	27,6

	rok	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
<b>upravená voda [m<sup>3</sup>]</b>	2013	245 858	192 379	139 094	52 105	73 764	39 980
	2014	231 174	42 684	48 734	38 561	77 379	38 384
	2015	100 402	118 695	95 976	109 875	283 147	410 593
	2016	348 175	103 730	36 431	136 750	311 581	77 955
<b>surová voda [m<sup>3</sup>]</b>	2013	281 800	241 900	149 510	69 620	85 990	37 500
	2014	258 160	39 410	62 280	37 602	75 940	41 140
	2015	97 970	123 817	101 353	126 840	296 180	422 960
	2016	344 040	108 200	34 490	139 690	330 267	86 423
<b>prací voda odsazená nevyužitá [m<sup>3</sup>]</b>	2013	34 507	28 637	17 306	8 821	10 074	7 175
	2014	18 742	7 635	4 804	4 693	5 611	7 186
	2015	8 182	8 279	9 682	20 973	17 129	26 441
	2016	8 184	6 712	1 560	7 903	13 375	4 964
<b>prací voda vratná [m<sup>3</sup>]</b>	2013	9 822	9 470	7 812	3 896	0	1 834
	2014	11 681	1 804	2 880	1 761	3 532	1 832
	2015	4 240	5 264	4 578	5 133	13 331	20 355
	2016	19 924	5 618	1 169	7 961	21 121	5 657
<b>prací voda z celkového množství vody surové [%]</b>	2013	15,7	15,8	16,8	18,3	11,7	24,0
	2014	11,8	24,0	12,3	17,2	12,0	21,9
	2015	12,7	10,9	14,1	20,6	10,3	11,1
	2016	8,2	11,4	7,9	11,4	10,4	12,3
<b>prací voda vratná z celkového množství surové vody [%]</b>	2013	3,5	3,9	5,2	5,6	0,0	4,9
	2014	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,5
	2015	4,3	4,3	4,5	4,0	4,5	4,8
	2016	5,8	5,2	3,4	5,7	6,4	6,5
<b>prací voda odsazená nevyužitá z celkového množství prací vody [%]</b>	2013	77,8	75,1	68,9	69,4	100,0	79,6
	2014	61,6	80,9	62,5	72,7	61,4	79,7
	2015	65,9	61,1	67,9	80,3	56,2	56,5
	2016	29,1	54,4	57,2	49,8	38,8	46,7

### Příloha 11 Hodnoty ukazatelů prací vody čerstvé

datum odběru	pH	CHSK <sub>Mn</sub>	zákal	barva	železo	mangan	hliník	Clostridium perfringens	kolonie 36°C	kolonie 22°C
		mg·l <sup>-1</sup>	ZF	mg·l <sup>-1</sup> Pt	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	KTJ·100 ml <sup>-1</sup>	KTJ·ml <sup>-1</sup>	KTJ·ml <sup>-1</sup>
09.08.2016	7,04	2,68	0,93	10	0,04	0,025	0,31	0	26	2040
11.08.2016	8,81	11,08	3,31	45	0,31	0,097	0,54	2	50	598
19.08.2016	10,12	11,12	2,63	60	0,08	0,062	0,56	7	60	>600
30.08.2016	9,28	6,28	3,79	34	0,07	0,032	0,67	0	12	>300
01.09.2016	10,79	9,55	3,00	61	0,08	0,045	0,48	2	přerostlé	2120
05.09.2016	9,81	10,16	2,85	53	0,07	0,063	0,53	0	14	17
05.10.2016	8,78	4,57	4,07	33	0,18	0,055	0,59	2	50	>1500
31.10.2016	7,22	3,12	1,65	16	0,10	0,093	0,62	10	70	>1500
02.11.2016	6,87	17,27	37,00	163	2,64	1,348	5,81	64	192	1345
09.11.2016	10,24	10,66	16,70	84	0,69	0,318	0,47	62	64	přerostlé
22.11.2016	10,00	11,55	12,80	105	0,55	0,188	0,45	22	79	1420
05.12.2016	7,98	12,00	25,10	161	1,08	0,257	0,46	39	136	1170
13.12.2016	9,26	15,90	33,00	72	2,02	0,522	0,44	255	340	960

### Příloha 12 Hodnoty ukazatelů prací vody odsazené

datum odběru	pH	CHSK <sub>Mn</sub>	zákal	barva	železo	mangan	hliník	Clostridium perfringens	kolonie 36°C	kolonie 22°C
		mg·l <sup>-1</sup>	ZF	mg·l <sup>-1</sup> Pt	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	KTJ·100 ml <sup>-1</sup>	KTJ·ml <sup>-1</sup>	KTJ·ml <sup>-1</sup>
09.08.2016	7,15	3,39	1,21	14	0,03	0,029	0,46	0	14	1470
11.08.2016	9,54	8,03	3,48	46	0,11	0,060	0,59	3	38	1490
19.08.2016	9,43	8,67	2,16	44	0,06	0,049	0,65	3	60	>600
30.08.2016	10,24	6,77	2,93	39	0,06	0,033	0,64	2	19	150
01.09.2016	10,91	7,00	5,01	63	0,08	0,043	0,56	2	přerostlé	>3000
05.09.2016	10,64	6,49	4,09	48	0,06	0,048	0,61	3	18	12
05.10.2016	10,35	5,63	1,74	31	0,04	0,034	0,53	0	3	78
31.10.2016	7,67	3,28	2,38	25	0,12	0,080	0,67	2	62	>1500
02.11.2016	7,20	3,93	1,52	18	0,07	0,113	0,62	7	22	1490
09.11.2016	10,53	3,51	2,29	26	0,06	0,049	0,59	5	24	1170
22.11.2016	11,51	3,71	9,98	36	0,05	0,027	0,59	1	12	38
05.12.2016	11,52	3,74	2,78	26	0,04	<0,020	0,62	3	5	18
13.12.2016	10,38	8,40	3,27	39	0,10	0,038	0,49	11	30	214



### Příloha 13 Hodnoty ukazatelů surové vody

datum odběru	pH	CHSK <sub>Mn</sub>	zákal	barva	železo	mangan	hliník	Clostridium perfringens	kolonie 36°C	kolonie 22°C
		mg·l <sup>-1</sup>	ZF	mg·l <sup>-1</sup> Pt	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	KTJ·100 ml <sup>-1</sup>	KTJ·ml <sup>-1</sup>	KTJ·ml <sup>-1</sup>
09.08.2016	7,43	4,01	0,89	27	0,40	0,067	<0,04	1	19	136
11.08.2016	7,01	4,29	0,48	24	0,08	0,045	<0,04			
19.08.2016	6,76	4,18	0,53	28	0,06	0,042	<0,04			
30.08.2016	6,73	4,26	0,54	22	0,18	0,082	<0,04	1	20	74
01.09.2016	7,21	4,58	0,55	23	0,09	0,062	<0,04			
05.09.2016	7,36	4,48	0,82	24	0,08	0,068	<0,04	8	42	44
05.10.2016	7,45	4,12	3,23	28	0,28	0,157	0,05	11	77	960
31.10.2016	6,94	4,76	2,29	32	0,18	0,157	<0,04			
02.11.2016	6,79	5,26	1,70	31	0,14	0,137	<0,04	22	24	376
09.11.2016	7,83	4,67	2,79	34	0,20	0,070	<0,04	26	24	34
22.11.2016	7,61	4,64	2,45	33	0,23	0,086	<0,04			
05.12.2016	7,33	4,70	2,32	31	0,29	0,061	<0,04	32	38	1490
13.12.2016	7,64	4,65	2,45	29	0,17	0,060	<0,04	31	přerostlé	218

**Příloha 14 Hodnoty ukazatelů po koagulačních zkouškách směsné vody**

datum provedení	číslo vzorku	dávka	pH	CHSK <sub>Mn</sub>	zákal	barva	železo	mangan	hliník
		mg·l <sup>-1</sup>		mg·l <sup>-1</sup>	ZF	mg·l <sup>-1</sup> Pt	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>
9.8.2016	1	15		3,81	1,34	24	0,066	0,024	0,78
	2	20		2,78	0,19	7	0,013	0,010	0,15
	3	25		1,81	0,15	5	0,003	0,008	0,07
	4	30		1,49	0,12	5	0,005	0,009	0,05
	5	35		1,35	0,11	5	0,004	0,006	0,06
	6	40		1,42	0,10	5	0,002	0,006	0,04
18.8.2016	1	15	7,30	5,16	1,62	30	0,059	0,035	0,74
	2	20	7,23	2,85	0,69	15	0,019	0,020	0,53
	3	25	7,21	1,99	0,22	8	0,010	0,013	0,17
	4	30	7,09	1,44	0,14	7	0,007	0,011	0,08
	5	35	7,00	1,22	0,10	6	0,005	0,013	<0,04
	6	40	6,70	1,06	0,12	6	0,008	0,008	0,05
30.8.2016	1	15	7,11	4,91	1,44	27	0,052	0,054	0,70
	2	20	7,03	2,40	0,30	8	0,033	0,015	0,28
	3	25	6,99	1,76	0,21	5	0,014	0,013	0,09
	4	30	6,95	1,76	0,14	5	0,013	0,017	0,05
	5	35	6,93	1,67	0,10	5	0,009	0,008	0,05
	6	40	6,68	1,60	0,10	5	0,010	0,014	0,05
6.9.2016	1	15	7,30	2,75	0,33	12	0,019	0,047	0,39
	2	20	7,26	2,30	0,17	7	0,012	0,038	0,11
	3	25	7,12	1,69	0,12	6	0,007	0,036	0,07
	4	30	7,05	1,38	0,11	5	0,007	0,036	0,04
	5	35	7,01	1,34	0,10	5	0,006	0,033	<0,04
	6	40	6,82	1,44	0,10	5	0,004	0,034	<0,04
5.10.2016	1	15	8,01	3,57	0,62	16	0,042	0,059	0,62
	2	20	7,60	2,38	0,18	9	0,013	0,051	0,22
	3	25	7,54	1,87	0,14	7	0,010	0,045	0,09
	4	30	7,43	1,58	0,13	6	0,006	0,042	0,07
	5	35	7,28	1,35	0,10	5	0,005	0,045	0,05
	6	40	7,05	1,19	0,11	5	0,004	0,047	0,05
02.11.2016	1	15	7,32	3,15	0,45	11	0,024	0,083	0,25
	2	20	7,25	2,08	0,15	6	0,007	0,072	0,04
	3	25	7,24	1,98	0,13	5	0,006	0,071	0,02
	4	30	7,19	1,69	0,12	5	0,005	0,071	0,03
	5	35	6,90	1,46	0,12	5	0,001	0,070	0,02
	6	40	6,87	1,33	0,11	5	0,000	0,070	0,02
09.11.2016	1	15	7,45	3,03	0,61	13	0,040	0,008	0,42
	2	20	7,40	1,84	0,22	8	0,012	0,000	0,12
	3	25	7,34	1,77	0,17	7	0,010	0,000	0,04
	4	30	7,30	1,71	0,12	6	0,010	0,000	0,03
	5	35	7,19	1,26	0,12	5	0,008	0,000	0,02
	6	40	7,17	1,19	0,11	6	0,005	0,000	0,01

datum provedení	číslo vzorku	dávka	pH	CHSK <sub>Mn</sub>	zákal	barva	železo	mangan	hliník
		mg·l <sup>-1</sup>		mg·l <sup>-1</sup>	ZF	mg·l <sup>-1</sup> Pt	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>
24.11.2016	1	15	7,43	3,93	0,56	15	0,040	0,026	0,57
	2	20	7,37	2,94	0,23	10	0,016	0,019	0,24
	3	25	7,35	2,87	0,14	8	0,008	0,012	0,09
	4	30	7,32	2,14	0,14	7	0,007	0,006	0,06
	5	35	7,13	1,95	0,11	6	0,004	0,004	0,05
	6	40	7,10	1,88	0,11	6	0,003	0,004	0,03
07.12.2016	1	15	7,94	5,27	2,48	33	0,191	0,061	0,63
	2	20	7,86	4,10	0,72	15	0,050	0,040	0,35
	3	25	7,80	3,26	0,28	9	0,011	0,024	0,28
	4	30	7,71	2,78	0,13	6	0,003	0,020	0,08
	5	35	7,53	2,49	0,11	5	0,002	0,020	0,06
	6	40	7,30	2,13	0,10	5	0,002	0,010	0,03
15.12.2016	1	15	7,45	4,27	1,17	16	0,088	0,009	0,61
	2	20	7,44	3,72	0,37	8	0,010	0,008	0,15
	3	25	7,33	3,23	0,21	6	0,009	0,004	0,07
	4	30	7,31	2,55	0,12	5	0,006	0,002	0,04
	5	35	7,09	2,29	0,10	5	0,006	0,002	0,02
	6	40	7,07	2,00	0,10	5	0,003	0,000	0,01

**Příloha 15 Množství upravené, surové a odsazené prací vody v letech 2011 a 2012**

2011		leden	únor	březen	duben	květen	červen
upravená voda	m <sup>3</sup>	177 918	193 697	215 243	178 339	215 257	176 684
surová voda		185 160	213 780	258 770	190 460	245 220	202 180
odsazená prací voda		18 532	31 357	37 963	25 855	24 837	23 214

2011		červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
upravená voda	m <sup>3</sup>	36 893	50 531	201 476	65 176	29 614	7 844
surová voda		47 505	53 919	230 166	77 280	49 575	29 645
odsazená prací voda		6 360	7 605	9 214	10 196	11 308	0

2012		leden	únor	březen	duben	květen	červen
upravená voda	m <sup>3</sup>	74 926	34 694	77 991	10 0101	39 929	104 451
surová voda		77 310	35 820	90 090	108 900	53 270	112 540
odsazená prací voda		11 631	5 453	7 982	10 961	8 620	8 505

2012		červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
upravená voda	m <sup>3</sup>	87 874	732 254	40 300	48 642	63 414	150 334
surová voda		92 850	792 740	43 590	61 590	62 490	169 980
odsazená prací voda		8 018	5 8623	6 928	4 984	5 812	10 901

## Příloha 16 Vyhodnocení zkušební čerpání vratné vody na úpravně vody Švařec

Ve dnech 7. prosince až 14. prosince 2012 proběhlo zkušební čerpání vratné vody z kalového hospodářství do přítoku surové vody.

- Surová voda je odebrána voda z přehradní nádrže Vír určená k výrobě pitné vody.
- Odpadní voda je odtok ze sedimentace kalového hospodářství do vodoteče.
- Vratná voda je čerpána odpadní voda z kalového hospodářství do přítokového objektu, kde se mísí se surovou vodou v poměru 1:20.

Na základě laboratorních výsledků a provozních možnostech úpravně bylo stanoveno optimální množství přimíchávané vratné vody do vody surové na 5%. Výsledky prováděných laboratorních zkoušek, při kterých byla přidávána vratná voda do vody surové v poměru 5% a 10% a následně prováděny koagulační zkoušky, jsou shrnuty v příloze č.1.

Vlastním zkouškám předcházely přípravné práce:

- Bylo potřeba změnit využití akumulace vypouštěcích nádrží. Místo ruční vypouštěcí klapky jsme nainstalovali elektricky ovládanou. Tato klapka spolu s jednoduchou automatikou od hladinových snímačů nyní slouží k vypouštění odpadní vody z kalového hospodářství přes průtokoměr do vodoteče.
- Dále jsme zprovoznilly výtlačné potrubí (DN400) z kalového hospodářství do přítokového objektu, kde bylo zaslepené. Zjistili jsme únik asi 0,9 l/s vody do podloží. Prohlídka kamerou určila pravděpodobné místo poruchy v přechodu potrubí Hobas na ocel u vstupu do přítokového objektu.
- Zprovoznilli jsme jedno ze stávajících čerpadel vratné vody. Bylo nutné doplnit ucpávkové šňůry a provést kontrolu jak mechanickou tak i elektrickou. Protože čerpadlo je značně předimenzované (200 l/s) museli jsme ho mechanicky omezit na požadovaný průtok asi 40 l/s.

Následovalo zkušební čerpání v uvedeném termínu s těmito výkony:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| - odebraná surová voda    | 85 900 m <sup>3</sup>                               |
| - čerpána vratná voda     | 4 400 m <sup>3</sup> – 5,1% přídavek do surové vody |
| - vypouštěná odpadní voda | 2 111 m <sup>3</sup> – 2,3% ze surové vody          |

Od 17. 12. do 21. 12. 2012 následoval srovnávací provoz úpravně bez čerpání vratné vody:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| - odebraná surová voda    | 84 070 m <sup>3</sup>                      |
| - vypouštěná odpadní voda | 6 226 m <sup>3</sup> – 7,4% ze surové vody |

Z hlediska provozu úpravně došlo ke zkrácení pracovního cyklu pískových filtrů asi o 15% při srovnání období zkušební čerpání a srovnávacího provozu. S takto krátkého období není možné přesně určit vliv čerpání na pracovní cyklus, ale v dalším je započítán. Laboratorní rozborů jsou shrnuty v příloze č.2.

Výchozí údaje pro výpočet předpokládané úspory:

- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| - roční odběr surové vody     | 2 000 000 m <sup>3</sup> |
| - cena el. energie            | 1 299,- Kč/MWh           |
| - cena surové vody            | 6,16 Kč/m <sup>3</sup>   |
| - doba provozu úpravně za rok | 700 hodin                |

**Roční úspory:**

- za neodebranou surovou vodu při 5% čerpání vratné vody	616 000,-Kč
- na poplatcích za vypouštěnou odpadní vodu	15 000,-Kč
	631 000,-Kč

**Roční náklady:**

- za rozbory vratné vody z kal. hospodářství	100 000,-Kč
- za zkrácení pracovního cyklu o 15%	40 000,-Kč
- za el. energii na čerpání 14 MWh	18 200,-Kč
- za snížení výkonu MVE o 3,5 MWh	4 500,-Kč
	162 700,-Kč

Celková roční úspora za uvedených předpokladů může být 468 000,-Kč

**Dlouhodobý zkušební provoz v roce 2013.**

Protože používání stávajících čerpadel vratné vody není energeticky výhodné (75 kW), tak instalujeme pro další zkušební provoz menší vhodné čerpadlo s příkonem 20 kW. Ovládání čerpadla bude po dobu zkušebního provozu pouze ruční. Klapka na vypouštění odpadní vody je v automatickém provozu. Veškeré práce s uvedením čerpání do provozu provádí zaměstnanci úpravny vody. Pouze jsme dokupovali armatury a kabely pro připojení čerpadla a klapky na vypouštění odpadní vody. Čerpadlo je půjčené z údržby a klapku jsme použili starší a opravili.

**Co po zkušebním provozu.**

V roce 2013 by se mělo zkušebním provozem ověřit čerpání vratné vody za různé kvality vody surové a vratné a dopady na výsledný produkt vodu pitnou. Po tomto dlouhodobém zkušebním provozu a jeho vyhodnocení by měla následovat v roce 2014 instalace vhodného energeticky úsporného čerpadla a jeho integrace do řídicího systému úpravny vody.

Náklady na instalaci nového čerpadla v roce 2014:

- Čerpadlo s měničem NBE 80-160/167	185 000,-Kč
- Mechanické a elektrické připojení čerpadla	70 000,-Kč
- Programátorské práce	30 000,-Kč
- Celkem	285 000,-Kč

**Závěr.**

Podle dosavadních výsledků čerpání vratné vody přináší výraznou ekonomickou úsporu. Dopad na kvalitu pitné vody se neprojevil. Provoz úpravny nebyl negativně ovlivněn. Další zkušební provoz ukáže při jaké kvalitě vratné a surové vody je možné využívat čerpání, včetně množství přidávané vratné vody do surové vody.

Ve Švařci 4. února 2013

Zdeněk Antoš