



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

## REKONSTRUKCE ÚPRAVNY VODY BABICE

RECONSTRUCTION OF WATER TREATMENT PLANT BABICE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Valchař

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUČERA, Ph.D.

BRNO 2017



# 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
PRACOVISŤE	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	<b>Bc. Jiří Valchař</b>
NÁZEV	<b>Rekonstrukce úpravny vody Babice</b>
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, 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 RAČLAVSKÝ. Vodárenství: Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia [online]. Brno: VUT v Brně, 2006 [cit. 2012-03-26].

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Diplomant se bude zabývat studií rekonstrukce a intenzifikace technologické linky úpravny vody Babice. Stávající technologie zahrnuje poměrně zastaralou dvoustupňovou filtraci, přičemž hlavní znečištění představují vysoké koncentrace železa. Součástí diplomové práce bude posouzení technického stavu stávající úpravny pomocí metodiky TEA.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

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

.....  
**Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.**

Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá studií rekonstrukce úpravní vody malého výkonu. První kapitoly jsou věnovány obecně možnostem odželezování a odmanganování při úpravě podzemní vody. Dále se práce věnuje i možnostem posuzování a hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury v České republice a ve světě. Následně je popsán a zhodnocen samotný technický stav řešené úpravní vody, přičemž byla využita i nově vyvinutá metodika a její webová aplikace k hodnocení technické infrastruktury TEA Water, modul TEAT - Úpravní vody. Na základě požadavků provozovatele vodovodu, přihlédnutí k dosavadní použité technologii a novým návrhovým parametrům byla navržena nová podoba technologické linky úpravní vody s cílem snížit neúměrně vysoké současné provozní náklady. V rámci práce bylo provedeno srovnání nákladů na provoz současného stavu úpravní vody s navrhovanou variantou.

## **ABSTRACT**

This study deals with a reconstruction of the water treatment plant. The First chapter gives a brief overview of iron and manganese common removal methods. The next chapter looks at technical condition evaluation of urban water networks and presents a new methodology TEA Water developed by Brno University of Technology, module TEAT-Water Treatment Plants in particular. Following chapters describes local water distribution system and current condition of the water treatment plant. The main aim of this thesis is to choose the best suitable technologies for water treatment in order to reduce high operating expenses, especially energy consumption and to reduce volume of backwash water.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Úpravna vody, rekonstrukce, odželezování, odmanganování, úprava vody, TEA Water

## **KEYWORDS**

Water treatment plant, reconstruction, iron and manganese removal, water treatment, TEA Water

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Jiří Valchař *Rekonstrukce úpravny vody Babice*. Brno, 2017. 88 s., 26 s. příl. 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 zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....  
Bc. Jiří Valchař

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Kučerovi, Ph.D. za cenné rady a vstřícný přístup při zpracovávání práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>VYBRANÉ TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY SE ZAMĚŘENÍM NA ODŽELEZOVÁNÍ A ODMANGANOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
2.1	FORMY A VÝSKYT ŽELEZA A MANGANU VE VODÁCH .....	12
2.2	VLIV ŽELEZA A MANGANU NA VODOVODNÍ SÍŤ .....	13
2.3	ZPŮSOBY ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU VE VODÁRENSTVÍ.....	13
2.3.1	Předúprava surové vody.....	14
2.3.2	Filtrace.....	16
2.3.3	Alternativní způsoby odželezování a odmanganování .....	17
2.4	HYGIENICKÉ ZABEZPEČENÍ UPRAVENÉ VODY .....	18
2.4.1	Hygienické zabezpečení UV zářením .....	19
2.5	PŘEHLED VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÝCH K AERACI ÚPRAVOVANÉ VODY ..	22
2.5.1	Horizontální provzdušňovače vody .....	23
2.5.1	Vertikální provzdušňovače vody .....	25
2.6	PŘEHLED VYBRANÝCH TLAKOVÝCH FILTRŮ .....	27
2.6.1	Tlakový nerezový filtr TVK.....	28
2.6.2	Tlakové pískové filtry INKOS .....	29
2.6.3	Tlakové pískové filtry Intrel.....	30
<b>3</b>	<b>HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU VODÁRENSKÉ INFRASTRUKTURY</b>	<b>31</b>
3.1	TRENDY VE SVĚTĚ.....	31
3.2	METODIKA TEA WATER.....	33
3.3	MODUL TEAT – ÚPRAVNÝ VODY.....	35
<b>4</b>	<b>ÚPRAVNA VODY BABICE</b> .....	<b>38</b>
4.1	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE.....	39
4.2	SKUPINOVÝ VODOVOD BABICKO .....	39
4.2.1	Historie vodovodu .....	39
4.2.2	Popis systému zásobování obcí vodou .....	40
4.2.3	Hospodaření sdružení .....	42
<b>5</b>	<b>STÁVAJÍCÍ STAV ÚPRAVNÝ VODY</b> .....	<b>44</b>
5.1	STÁVAJÍCÍ ZDROJE SUROVÉ VODY.....	44
5.2	NOVÉ ZDROJE VODY.....	45
5.3	SLOŽENÍ SUROVÉ VODY .....	46
5.3.1	Charakteristika podzemních vod .....	46
5.3.2	Jakost surové vody.....	46



<b>5.4</b>	<b>POUŽITÉ TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY .....</b>	<b>48</b>
5.4.1	Stávající předúprava aerací .....	49
5.4.2	Vločkovací nádrže .....	50
5.4.3	Akumulační nádrže.....	51
5.4.4	Filtrace.....	51
5.4.5	Čerpání upravované vody na rychlofiltry.....	53
5.4.6	Praní filtrů.....	54
5.4.7	Hygienické zabezpečení.....	55
5.4.8	Akumulace upravené vody.....	56
5.4.9	Produkce a likvidace kalů .....	56
<b>5.5</b>	<b>ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU ÚPRAVNÝ POMOCÍ APLIKACE TEA WATER ....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>NÁVRH REKONSTRUKCE ÚPRAVNÝ VODY.....</b>	<b>58</b>
<b>6.1</b>	<b>DŮVODY REKONSTRUKCE .....</b>	<b>58</b>
6.1.1	Zhodnocení stávajících zařízení a technologií.....	58
6.1.2	Zaměření rekonstrukce.....	59
<b>6.2</b>	<b>NÁVRH VÝKONU ÚPRAVNÝ VODY.....</b>	<b>59</b>
<b>6.3</b>	<b>NÁVRH OPTIMÁLNÍHO VYUŽÍVÁNÍ VODNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>60</b>
6.3.1	Varianta A využívání vodních zdrojů .....	61
6.3.2	Varianta B využívání vodních zdrojů .....	61
6.3.3	Možnosti využívání vodních zdrojů při stávající potřebě vody .....	62
<b>6.4</b>	<b>NÁVRH PŘÍVODU SUROVÉ VODY NA ÚPRAVNU.....</b>	<b>63</b>
<b>6.5</b>	<b>VOLBA POČTU SEPARAČNÍCH STUPŇŮ.....</b>	<b>63</b>
<b>6.6</b>	<b>NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY .....</b>	<b>64</b>
6.6.1	Návrh způsobu aerace surové vody .....	65
6.6.2	Čerpání provzdušněné vody na tlakové filtry .....	67
6.6.3	Návrh tlakových filtrů.....	69
6.6.4	Návrh filtrační vrstvy.....	70
6.6.5	Praní filtrů.....	71
6.6.6	Regenerace náplně horní vrstvy filtru .....	73
6.6.7	Hygienické zabezpečení.....	74
6.6.8	Akumulace pitné vody .....	76
6.6.9	Skladování chemikálií.....	77
6.6.10	Nakládání s odpadní vodou .....	77
6.6.11	Sledování provozních ukazatelů.....	77
6.6.12	Materiál potrubí, použité armatury a uložení potrubí.....	77
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>85</b>

<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>87</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>88</b>

# 1 ÚVOD

Rozvoj služeb a péče o zdraví je jedním ze základních rysů moderní vyspělé společnosti. Obzvláště pak zásobování obyvatelstva kvalitní pitnou vodou přispívá k pocitu komfortu a spokojenosti. Úpravny vody jsou společně se zdroji vody hlavními prvky celého vodárenského systému, od kterých se vyvíjí následná kvalita pitné vody a poskytovaných služeb.

V rámci diplomové práce je řešena studie rekonstrukce úpravní vody malého výkonu. Tato úpravná se nachází v okrese Uherské Hradiště a zásobuje pitnou vodou sedm místních obcí. Zástavba všech obcí napojených na místní skupinový vodovod je vesnického charakteru. V době před vznikem skupinového vodovodu odebírali obyvatelé vodu z vlastních studní. Z toho důvodu je důležité zajistit stálý odběr pitné vody z vodovodu poskytováním vysoce kvalitní pitné vody. Stáří úpravní, zejména pak její technologické části, je 20 let. Celá stávající technologická linka se tedy nachází na hranici své životnosti a její obměna je nevyhnutelná. K zhodnocení stávajícího technického stavu úpravní bude mimo jiné použita nově vyvinutá metodika TEA Water, konkrétně její modul TEAT – Úpravní vody.

Zdrojem surové vody je několik stávajících vrtů, odkud se odebírá poměrně jakostní surová voda, kde hlavní znečištění je představováno vyššími koncentracemi železa a manganu. V současnosti probíhá vystrojování nových vrtů a v rámci práce bude uveden návrh vhodného využívání stávajících vrtů a jejich možná kombinace s vrty novými. Cílem je zvýšení jakosti surové vody přitékající na úpravní vody, ale i zajištění dlouhodobé kapacity těchto zdrojů, která je vlivem sucha v posledních letech ohrožena.

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh nové podoby technologické linky úpravní vody se zaměřením na odželezování a odmanganování. Stávající technologická zařízení jsou vedle svého stáří navíc provozně velmi nevhodná, na což ostatně upozorňuje provozovatel vodovodu. Jejich výměnou by tedy mělo dojít k požadovanému výraznému snížení provozních nákladů.

## 2 VYBRANÉ TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY SE ZAMĚŘENÍM NA ODŽELEZOVÁNÍ A ODMANGANOVÁNÍ

V této kapitole jsou zpracovány technologie úpravy vody mající vztah ke stávajícímu stavu úpravní vody a pozdějším návrhům nové podoby. Důraz je kladen zejména na procesy spojené s odželezováním a odmanganováním, neboť železo a mangan představují hlavní znečištění podzemní vody, která je zdrojem surové vody pro řešenou úpravní vody.

Železo a mangan jsou chemické prvky relativně bohatě zastoupené v zemské kůře, hojně se vyskytují i v podzemních a povrchových přírodních vodách. Obecně pak platí, že v podzemních vodách jsou obsaženy více než ve vodách povrchových. Nejčastěji jsou ve vodě obsaženy současně, jejich koncentrace se pohybují v hodnotách od desetin  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  po hodnoty v řádově desítkách  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Železo a mangan mohou způsobit vážné estetické problémy v systémech zásobování pitnou vodou, proto bychom neměli jejich výskyt v upravované vodě podceňovat a ignorovat. Pokud by se oba prvky vyskytovaly v elementárních formách Fe a Mn, jejich odstranění by byl jednoduchý proces, avšak tyto prvky se ve vodě vyskytují ve formě sloučenin.

### 2.1 FORMY A VÝSKYT ŽELEZA A MANGANU VE VODÁCH

Nejrozšířenější železnou rudou je pyrit  $\text{FeS}_2$ , následovaný krevetem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dále pak magnetovec  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , limonit  $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  a siderit  $\text{FeCO}_3$ . V menším poměru se železo vyskytuje také v hlinitokřemičitanech. Antropogenním zdrojem železa v přírodních a užitkových vodách jsou průmyslové odpadní vody (např. mořírny, válcovny a drátovny) a korozní procesy ve vodovodním potrubí. Ve vodách se železo vyskytuje v oxidačním stupni  $\text{Fe}^{2+}$  nebo  $\text{Fe}^{3+}$ , přičemž forma výskytu rozpuštěného a nerozpuštěného železa závisí na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu a složení vody. Oxidační stupeň  $\text{Fe}^{2+}$  se vyskytuje v redukčním prostředí podzemních vod a v povrchových vodách u dna nádrží a jezer. Ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík je železo nejčastěji v oxidačním stupni III. Mezi hlavní rozpuštěné formy železa ve vodách patří (v závislosti na hodnotě pH):  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_4$ .

V přírodě, jsou železné rudy běžně doprovázeny manganovými rudami, z nichž to jsou zejména: pyroluzit  $\text{MnO}_2$ , braunit  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , hausmanit  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , manganit  $\text{MnO}(\text{OH})$  a rodochrozit  $\text{MnCO}_3$ . Do vody se mangan dostává z půd a sedimentů, ale také i průmyslovou činností (zpracováním rud). Mangan se ve vodě vyskytuje v rozpuštěné i nerozpuštěné formě, zejména v oxidačních stupních  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  a  $\text{Mn}^{4+}$ . V povrchových vodách se mangan může vyskytovat jako nerozpustný oxid manganičitý  $\text{MnO}_2$ , v podzemních vodách je jeho nejstabilnější formou  $\text{Mn}^{2+}$ , což je důsledkem redukčních podmínek bez přítomnosti vzdušného kyslíku a jiných oxidačních činidel. V kyselém a neutrálním prostředí se mangan vyskytuje zejména v rozpuštěné formě jako hydratovaný kationt  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ , dále se mohou vyskytovat komplexy  $[\text{MnOH}]^+$ ,  $[\text{Mn}(\text{OH})_3]^-$ ,  $[\text{MnHCO}_3]^+$  a  $[\text{MnSO}_4(\text{aq})]^\circ$  a při vyšších koncentracích chloridů i různé chlorokomplexy jako  $[\text{MnCl}]^+$ ,  $[\text{MnCl}_2]^\circ$  a  $[\text{MnCl}_3]^-$ . Výskyt iontů závisí na pH a složení vody. V případě, že je ve vodě obsažen rozpuštěný kyslík, mangan je v oxidačním stupni II nestabilní a dochází k jeho oxidaci [49].

Obvykle se železo a mangan vyskytují v podzemních vodách (studních) a stojatých vodách (nádržích). Tekoucí vody normálně neobsahují významnější množství železa a manganu, avšak je prokázáno, že při zdržení vody už voda obsahuje železo a mangan ve větší míře.

Množství závisí na vlastnostech půdy (zeminy) a úrovni rostlinného života. Rozklad organického materiálu (řas, listů a apod.) v nejnižších úrovních nádrží, může mít za následek vznik anaerobních podmínek, při kterých jsou z organického materiálu uvolňovány sloučeniny železa a manganu, které následně mohou přecházet do rozpustných forem. Povrchové vody s neúměrným množstvím železa a manganu obsahují velice málo rozpustného kyslíku a jsou bohaté na oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . Absence rozpustného kyslíku značí probíhající anaerobní procesy a obsah  $\text{CO}_2$  ukazuje na rozsáhlejší bakteriální oxidaci organického materiálu, dalším indikátorem může být přítomnost sulfanu ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Minimálně dvakrát do roka (na jaře a na podzim) pak dochází k jevu, při kterém ochlazená voda z horní vrstvy klesá ke dnu, a naopak teplejší voda ze spodních vrstev stoupá vzhůru. Stoupající vrstva vody obsahuje rozpustně sloučeniny železa a manganu, které jsou vlivem větru a vln postupně oxidovány. Sraženiny následně opět klesají ke dnu [28].

## 2.2 VLIV ŽELEZA A MANGANU NA VODOVODNÍ SÍŤ

Problémy s obsahem železa a manganu ve vodě nejsou přímo spojeny s akutním ohrožením zdraví člověka, jelikož málokdy voda obsahuje jejich nebezpečné množství, ačkoliv některé výzkumy prokázaly negativní vliv kovů (včetně manganu) na lidské tělo při požívání po dobu mnoha let. Tyto kovy místo toho způsobují spíše problémy estetického charakteru.

Nažloutlé až hnědo-zrzavé zbarvení vody je způsobeno obsahem hydroxidu železitého, manganové vody (bez železa) způsobují tmavě hnědé až černé skvrny. Kombinace obou kovů ve vodě má za následek skvrny v rozsahu od světle hnědé po černou, což vylučuje použití vody pro praní a textilní průmysl.

Větší koncentrace železa a manganu mají také vliv na chuť vody. Hlavním problémem je však činnost železitých manganových bakterií, které využívají energii vzniklou při oxidaci železa a manganu, k tvorbě povlaku na potrubí, jež postupně ucpává potrubí a snižuje jeho kapacitu, vedle toho odumírání bakterií způsobuje pachové závady. Ke snížení tohoto rizika a s tím spojených vyšších nákladů na údržbu vodovodní sítě je nezbytné sledovat přípustné hodnoty železa a manganu. Vyhláška č. 252/2004 Sb. stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Dle této vyhlášky je mezní hodnota pro železo a mangan v pitné vodě stanovena na [28]:

- Koncentrace Fe do  $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$ ,
- koncentrace Mn do  $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ .

## 2.3 ZPŮSOBY ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU VE VODÁRENSTVÍ

Metody používané pro odstraňování železa a manganu jsou většinou založeny na převodu rozpustných železnatých a manganatých sloučenin na nerozpustné železité a manganické sloučeniny pomocí oxidace a následné hydrolýzy. Rovnováha mezi rozpustnou a nerozpustnou formou je závislá nejen na hodnotě pH a oxidačně redukčním potenciálu, ale i na teplotě a složení vody. Úprava vody s vyšším obsahem železa a manganu pak probíhá obvykle ve dvou stupních. Prvním stupněm je právě zmíněná oxidace železa a manganu na vyšší formu mocenství, za účelem tvorby separovatelné vločkovité suspenze, tuto fázi nazýváme obecně předúprava vody. Druhým stupněm už je samotná separace této suspenze (jednostupňová nebo dvoustupňová) pomocí filtrace. Procesy předúpravy, filtrace a některá vybraná alternativní řešení pro odželezování a odmanganování vody jsou popsána v následujícím textu [28][31].

### 2.3.1 Předúprava surové vody

Za předúpravu jsou brány technologické procesy vedoucí ke zlepšení upravitelnosti vody prováděné podle potřeby ještě před vlastní úpravou vody [31]. Mezi nejčastější procesy předúpravy vody patří zejména:

- Mechanické předčištění (česle, lapák písku, mikrosíta),
- aerace (odkyselování vody, oxidace Fe a Mn),
- chemická předúprava,
  - odkyselování vápnem, mramorem, polovypáleným dolomitem,
  - oxidace Fe a Mn chlorem, manganistanem draselným, ozonem apod.

V případě podzemního zdroje vody odpadá nutnost mechanického předčištění, které se týká zejména povrchových zdrojů.

#### *Hlavní důvody předúpravy podzemní vody*

Mimo odželezování a odmanganování, je předúprava vody nezbytným procesem z mnoha dalších důvodů. Vlastnosti a složení podzemní vody jsou ovlivněny horninovým prostředím, ve kterém se voda nachází, jejich společným rysem je vyšší obsah rozpuštěných plynů. Mezi převládající plyny patří hlavně oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), sirovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), těkavé chlorované uhlovodíky, ropné uhlovodíky a kyslík ( $\text{O}_2$ ). Povrchové vody obsahují výrazně menší obsah sirovodíku a oxidu uhličitého než voda podzemní, avšak obsah rozpuštěného kyslíku je vyšší, než je tomu u vody podzemní [31][28].

Vysoký obsah oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) v podzemní vodě má za příčinu kyselost vody. Hodnota pH podzemní vody se často pohybuje výrazně pod hranicí pH neutrální ( $\text{pH} < 7$ ). Vyšší kyselost vody způsobuje řadu problémů technického a organoleptického charakteru. K technickým problémům spjatých s vyšším obsahem volného oxidu uhličitého patří agresivita vody vůči betonu a korozivní účinek na kovové materiály. Ke zhoršení organoleptických vlastností vody (chutě, barvy a pachu) dochází vlivem korozivního působení  $\text{CO}_2$  [10][31].

Vody obsahující sirovodík jsou charakteristické zhoršenými organoleptickými vlastnostmi, kdy voda páchne nepříjemně po zkažených vejcích (některé minerální prameny) [10].

Při nedostatku kyslíku ve vodě (koncentrace  $\text{O}_2$  pod  $6 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dochází k vytvoření korozivního prostředí a zhoršení jakosti vody. Bezokyslíkové vody jsou vhodné k pití, avšak nepůsobí dojmem požadované svěžesti a chuti jakou od pitné vody očekáváme.

#### *Aerace surové vody – oxidace vzdušným kyslíkem*

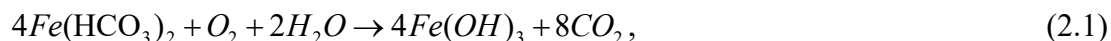
Mezi první a nejčastější opatření předúpravy vody patří aerace, pomocí které můžeme poměrně jednoduše docílit [31]:

- Odkyselení vody – odstranění volného  $\text{CO}_2$ ,
- odpachování vody – odstranění nežádoucích plynů z vody ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ , apod.),
- oxidace vody – obohacení vody kyslíkem a oxidace železa a manganu.

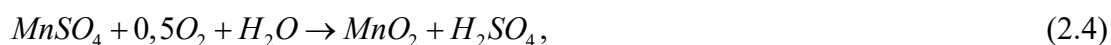
Při úpravě velmi jakostní surové vody jsou procesy odkyselování a odpachování mnohdy jediným hlavním článkem úpravy na pitnou vodu (mimo hygienického zabezpečení).

Jako nejjednodušší metoda oxidace železa a manganu je hojně používána metoda oxidace vzdušným kyslíkem, které je dosaženo mechanickým způsobem. Při aeraci (provzdušnění) se okysličují hydrokarbonáty nebo sírany železa a manganu za současného uvolňování oxidu uhličitého (popř. sulfanu či metanu). Zároveň se při aeraci voda alkalizuje [50].

Při aeraci dochází k těmto reakcím (pro hydrogenuhličitany):



Při aeraci dochází k těmto reakcím (pro sírany):



Pro oxidaci 1 mg  $\text{Fe}^{2+}$  je teoretická spotřeba kyslíku 0,143 mg a pro oxidaci 1 mg  $\text{Mn}^{2+}$  je teoretická spotřeba kyslíku 0,291 mg. Hodnota pH vody po její aeraci má vliv na rychlost oxidace. Rychlost oxidace je přímo úměrná hodnotě pH, v zásaditém prostředí dochází k oxidaci rychleji. Při odželezování podzemních vod by proto pH nemělo klesnout pod 7. Při odmanganování podzemních vod nemá hodnota pH klesnout pod 8,1, v lepším případě pod 8,5. Oxidace  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$  iontů probíhá různou rychlostí, obecně vzato se železo oxiduje snadněji než mangan. V mezích hodnot pH 7 až 7,5 stačí k odželezení vody reakční doba řádově v minutách. Jestliže je hodnota pH po aeraci pod hodnotou 7, doporučuje se při oxidaci železa přidávat alkalizační chemikálie, zejména vápno. Při vyšších hodnotách pH se při odželezování vytváří suspenze s lepšími sedimentačními vlastnostmi. Počáteční tvorba železitých vloček se projevuje tím, že se voda zakalí. Vzniklé železité soli a hydratované oxidy manganu vyšších mocností jsou ve vodě málo rozpustné a lze je proto z ní vyloučit filtrací [31] [50].

#### **Zařízení používaná k mechanické oxidaci:**

- Gravitační
  - kaskáda, vodní skok, provzdušňovací věže
- Trysková
- Difuzorová
  - Horizontální provzdušňovače
- Turbína

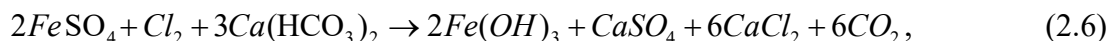
#### ***Oxidace chlórem***

Tento způsob oxidace vyžaduje kontrolu pH, oxidace železa může probíhat již při pH menším než 7, oxidace manganu vyžaduje pH větší než 8, a to po delší dobu. Proto je vhodné oxidaci chlórem použít v prvním stupni oxidace pro odstranění železa (pro odstranění manganu se používá jen vzácně) a manganaté sloučeniny se oxidují jiným oxidačním činidlem, např. manganistanem draselným [28].

Oxidační reakce probíhá podle rovnice (pro hydrogenuhličitany):



Oxidační reakce pro sírany probíhá podle rovnice:

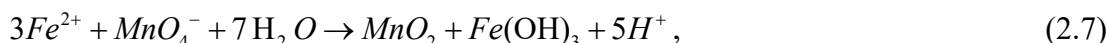


Plynný chlor je obvykle vstřikován do potrubí pomocí malého čerpadla. Oxidace 1 mg železa vyžaduje 0,647 mg chlóru [31].

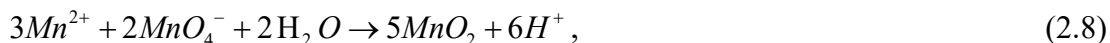
### ***Oxidace manganistanem draselným***

Manganistan draselný působí jako silné oxidační činidlo (silnější oxidační činidlo než plynný chlór) a je schopen zoxidovat jak železo, tak i mangan. Při jeho redukci v neutrálním prostředí vzniká nerozpustný oxid manganitý či manganičitý. Používá se v koncentraci 3% roztoku [28].

Oxidace železa manganistanem draselným probíhá podle následující rovnice:



Oxidace manganu manganistanem draselným probíhá podle následující rovnice:



Reakce pomocí  $KMnO_4$  probíhá velmi rychle, a to i v neutrální oblasti pH. Teoretická spotřeba  $KMnO_4$  na 1 mg  $Fe^{2+}$  je 0,567 mg. Obsahuje-li voda organické látky, spotřebuje se část manganistanu také na jejich zoxidování [31].

### ***Oxidace ozonem***

Odželezování ozonem se používá u vod, v nichž je železo vázáno v organických komplexech např. s huminovými látkami. Tyto látky působí jako ochranné koloidy a brání vylučování vloček  $Fe(OH)_3$ . Ozon je nejsilnějším oxidačním činidlem a při jeho dávkování musí být takové, aby došlo k oxidaci  $Mn^{2+}$  jen na  $MnO_2$ , pokud je ozonu více, vzniká  $MnO_4^-$  a voda se zbarvuje do fialova.

Chemická reakce oxidace železa je následující:



Chemická reakce oxidace manganu pak podle rovnice:



Na oxidaci 1 mg  $Fe^{2+}$  je zapotřebí teoreticky 0,43 mg ozonu. Rychlost oxidace nezávisí na počáteční koncentraci železa a manganu ve vodě a na teplotě, ale na době kontaktu vody s ozonem. K oxidaci 1 mg  $Mn^{2+}$  je zapotřebí teoretická dávka 0,9 mg ozonu [31].

### **2.3.2 Filtrace**

Nejdůležitějším a nejpoužívanějším separačním procesem při úpravě pitné vody je filtrace. Ve většině případů probíhá filtrace vrstvou zrnitého materiálu. Suspendované částice postupně pronikají do vrstvy filtru, přičemž největší část je zachycena v horní vrstvě filtru. K zachycování částic dochází vlivem[29]:

- Mechanického cezení,



- usazování,
- adsorpce (vlivem Van der Waalsových sil),
- elektrických sil (Coulombovy síly).

Filtry dělíme na *pomalé biologické filtry* a *rychlé filtry*, které se dále člení podle tlakového režimu na *otevřené* a *uzavřené (tlakové)*.

### ***Kontaktní filtrace***

K separaci manganu se využívá tzv. kontaktní filtrace, kde dochází k oxidaci manganu na zrnitém materiálu za přítomnosti katalyzátoru. Při oxidaci manganu postupně dochází k tvorbě povlaku  $MnO_x(s)$  ulpívajícího na povrchu filtrační náplně, který slouží jako katalyzátor oxidační reakce. Oxidační stav povlaku náplně spolu s koncentrací povlaku náplně ovlivňuje efektivnost a účinnost odstraňování manganu. Tvorba povlaku a jeho schopnost odstraňovat rozpuštěný mangan z vody závisí na filtrační náplni, používají se přirozené nebo uměle preparované filtrační materiály.

Z přirozených materiálů je nejrozšířenější pyroluzit  $MnO_2$ , označovaný jako manganová pěna, která má velký aktivní povrch. Používá se v kombinaci s filtračním pískem, poměr pyroluzitu je 10 až 50 % z celého objemu filtrační směsi.

Z umělých materiálů jsou používány kaolínové a plavené písky preparované ve vlastních filtrech. Kromě klasického preparovaného filtračního písku se v současnosti využívají různé materiály s vytvořenou oxidační vrstvičkou na povrchu zrn filtrační náplně, jako např. *Klinopur Mn*, *Greensand*, *Birm*, *Pyrolox*, *Culsorb M*, *Everzit Mn* a *MTM* [3][41].

### **2.3.3 Alternativní způsoby odželezování a odmanganování**

Mezi další možné způsoby k odstranění železa a manganu z upravované vody patří zejména: Odstraňování biologickým způsobem, iontová výměna, změkčování vody, membránové procesy, odželezování a odmanganování in situ (v horninovém prostředí). Níže uvádím vybrané metody.

#### ***Odstraňování biologickým způsobem***

V přírodě dochází k oxidaci nejen chemicky, ale také i biochemicky činností určitých bakterií. Tyto bakterie mají svůj metabolismus založen na oxidaci železa a manganu, mezi známé rody bakterií patří např.: *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Clonothrix*, *Siderococcus*, *Siderocapsa*, *Ferrobacillus*, *Galionella* a další. Při použití této metody je důležité, aby se ve vodě nenacházely látky toxické pro tyto bakterie (např.  $Cl_2$ ,  $H_2S$  a  $NH_3$ ) [28][31].

Při odstraňování železa biologickým způsobem je nezbytné, aby upravovaná voda obsahovala amoniak. Ke vhodným podmínkám přispívá obsah rozpuštěného kyslíku 5 – 25  $\mu g.l^{-1}$ , hodnota pH 6,5 – 7,0 a teplotu v rozmezí 10 až 25 °C.

Některé bakterie způsobují oxidaci manganu nepřímou, v důsledku zvýšení pH spojeného s jejich rozmnožováním. Jiné bakterie oxidují mangan pomocí svých vnitrobuněčných enzymů, případně adsorbují mangan rozpuštěný na povrchu buněčné membrány a k jeho oxidaci pak dochází pomocí mimobuněčných enzymů. Mangan se poté koncentruje do vrstvy, která obklopuje buňku nebo skupinu buněk. Pro rozvoj těchto bakterií je třeba prostředí s hodnotou oxidačně redukčního potenciálu okolo 300 - 400 mV.

Při současném odželezování a odmanganování biologickým způsobem je doporučena dvoustupňová separace (filtrace), jelikož oxidačně-redukční potenciály pro biologickou oxidaci železa a manganu jsou rozličné. V prvním stupni se odstraní železo (v tlakovém filtru) a ve druhém stupni mangan, nejčastěji v otevřeném filtru, který splňuje podmínku zajištění plně aerobního prostředí, které je důležité pro činnost odmanganovacích bakterií. Doporučuje se zařazení intenzivní aerace před filtraci k podpoření oxidace. Nevýhodou této metody je poměrně dlouhá doba zapracování filtrů [28][31][51].

### ***Iontoměniče***

V této metodě se využívá schopnosti anorganických a organických látek vyměňovat ionty. Rozlišují se dva druhy měničů iontů:

- Katexy – měniče kationtů, mají záporný náboj a tím poutají přitažlivými silami kationy.
- Anexy – mají kladný náboj a tím k sobě poutají částice se záporným nábojem (anionty).

Výměna probíhá podle rovnice (Měnič – ionex, je označen písmenem M):



Regenerace těchto katexů se provádí buď 2% roztokem chloridu sodného nebo 5% roztokem chloridu vápenatého [31].

### ***Odstraňování pomocí změkčování Zeolitem***

Změkčovaadlo zeolit je schopné odstranit až několik  $mg \cdot l^{-1}$  železa a manganu. Upravovaná voda je obvykle čerpána do tlakového filtru obsahujícího zeolit, který odstraňuje tvrdost vody, ale také i kationty železa a manganu. Ionty železa a manganu se jsou poutány vrstvou zeolitu až do vyčerpání jejich kapacity. Regenerace je prováděna praním v solném roztoku, nejčastěji chloridem sodným. Podmínkou použití této metody je zákaz použití oxidantů v procesů předúpravy vody [28].

## **2.4 HYGIENICKÉ ZABEZPEČENÍ UPRAVENÉ VODY**

Posledním krokem při úpravě pitné vody je nutná dezinfekce, ta má velký vliv na výslednou kvalitu upravené vody. Hygienické zabezpečení neboli dezinfekci řadíme k procesům doúpravy vody. Účelem dezinfekce je usmrcení choroboplodných zárodků, jako jsou bakterie a viry, ale také prevence před jejich možným následným výskytem v pitné vodě. Dezinfekční metody dělíme z hlediska procesů na fyzikální a chemické [31][37]:

- Chemické
  - Plynný chlór  $Cl_2$ ,
  - oxid chloričitý  $ClO_2$  (chlordioxid),
  - chlornan sodný  $NaClO$ ,
  - chlorové vápno,
  - chloramin  $NH_2Cl$ ,

- ozón O<sub>3</sub>,
- MIOX (směsné oxidanty).
- Fyzikální
  - UV záření,
  - ionizující záření,
  - elektrickým proudem,
  - oligodynamické účinky kovů.

Účinnost dezinfekčních činidel a procesů je závislá především na[31][37]:

- Vlastnostech vody,
- druhu a počtu organismů, bakterií a virů přítomných ve vodě,
- rezistenci organismů,
- dávce a době působení dezinfekce.

Některá dezinfekční činidla sebou přinášejí výskyt možných nežádoucích efektů ve formě nežádoucích vedlejších produktů. Vznik těchto nežádoucích látek ovlivňuje přítomnost tzv. prekursorů, jako jsou huminové látky, řasy, amoniak a další. Mezi další ovlivňující prostředky patří dávka dezinfekčního činidla, pH a teplota vody. K nejznámějším vedlejším produktům se řadí např. trihalogenmetany a chlorfenoly.

### 2.4.1 Hygienické zabezpečení UV zářením

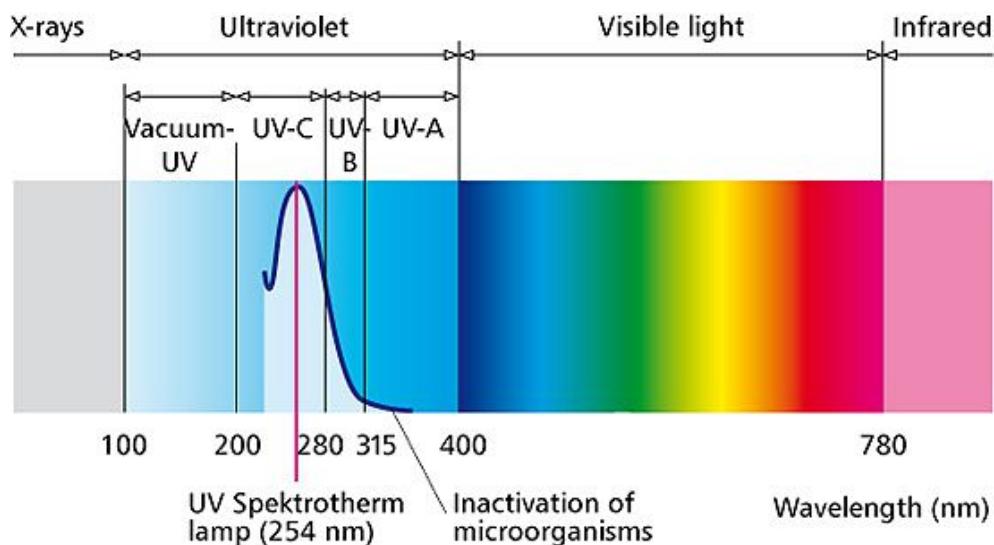
Využívání ultrafialového (UV) záření k hygienickému zabezpečení vody je jednou z fyzikálních metod a v poslední době se stává čím dál více používanější. První výraznější užití UV záření proběhlo v sedmdesátých letech 20. století v Norsku a Nizozemí, avšak až po roce 2000 se používání UV záření k dezinfekci rozšířilo do celého světa. Principem dezinfekce UV zářením je krátkodobé vystavení protékající vody působení UV záření. Záření je použito k desinfekci v tzv. germicidních lampách, při jejichž použití může dojít k ohrožení člověka [30][41].

#### *UV záření*

Ultrafialové záření (UV záření) představuje elektromagnetické záření v rozmezí 100 až 400 nm, což je rozsah mezi rentgenovým zářením (X-paprsky) a viditelnou částí spektra. Složky UV záření se pak dělí na [30][41].:

- Vakuum UV, jehož spektrum je 100 – 200 nm.
- UV-C se spektrem 200-280 nm, které má nejvyšší energii z UV záření a je tedy ze všech nejnebezpečnější. Avšak je mu věnována jen malá pozornost, protože prakticky neprochází atmosférou.
- UV-B se spektrem 280-315 nm, je z převážné většiny pohlcováno ozónem ve stratosféře a je tedy tzv. ozónovou vrstvou.
- UV-A, které má spektrum 315-400 nm a tvoří 99 % slunečního záření, toto záření nezpůsobuje opálení kůže. UV-A bylo posuzováno jako méně škodlivé, neboť

nezpůsobuje porušení DNA přímo, na rozdíl od UVB a UVC. Podle nových studií je však známo, že UV-A může vyvolat vznik reaktivních kyslíkových forem, které mohou s DNA dále reagovat a poškozovat ji.



Obr. 2-1 Grafické znázornění účinnosti dezinfekce v závislosti na vlnové délce [8]

Přirozeným zdrojem pro lidské oko neviditelného UV záření je Slunce, světlo obsahuje méně než 5 % tohoto záření. Záření vydává energii ve formě fotonů, což jsou částice popisující kvantum elektromagnetické záření. Energie fotonů se vyjadřuje v joulech, dávka záření je pak dána vztahem [30][41]:

$$D = I \cdot t \quad (2.13)$$

Kde,  $D$  dávka záření [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ],  
 $I$  intenzita záření [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ],  
 $t$  čas expozice [s],

### ***Mechanismus inaktivace (poškození) a reaktivace (obnovy) mikroorganismů***

V případě použití chemických prostředků dochází nevratnému poškození jádra buňky, protoplazmy, enzymů a buněčné blány, kdežto germicidní (dezinfekční) efekt při použití UV záření spočívá ve fotochemickém poškození ribonukleové kyseliny (RNA) a deoxyribonukleové kyseliny (DNA), kde je lokalizován dědičný materiál buňky, případně i bílkovin, enzymů či jiných, biologicky významných makromolekul. Nukleové kyseliny RNA a DNA absorbují vlnové délky v rozsahu 240 až 280 nm, nejvyšší účinek na ně je pozorován při vlnových délkách 260 až 265 nm, v jehož důsledku dojde k poškození a znemožnění replikace genetické informace a následné množení bakterií, což vede ke zničení populace mikroorganismů [30][41].

Problematickým aspektem při použití UV lamp je, že může dojít k reparačním pochodům pomocí enzymů. Poškození nukleových kyselin UV zářením tedy není nezvratné. Proces obnovy poškozených buněk UV zářením se nazývá reaktivace, která se děje prostřednictvím enzymů, jak ve tmě, tak i za světla. Mechanismus obnovy poškozených buněk není

univerzální. Některé mikroorganismy včetně virů nejsou schopny obnovy poškozených buněk, jiné ano. Obnova virů je možná jen v hostitelských buňkách, ve kterých viry parazitují, nikoliv mimo buněčné prostředí. Právě nové generace UV lamp, *polychromatických střednětlakých* a zejména vysoce účinných *Berson Multiwave* UV lamp, postihují tyto enzymy, zodpovědné za obnovu poškozených struktur buňky [30] [41].

### ***Rozdělení UV lamp***

Klasifikace UV lamp se provádí podle tlaku uvnitř trubice a vlnových délek záření na [30][41]:

- Nízkotlaké monochromatické – 253,7 nm,
- střednětlaké polychromatické – 200 až 400 nm,
- polychromatické BersonMultiwave – 200 až 400 nm.

Výhodou nízkotlakých monochromatických UV lamp je pořizovací cena a delší životnost. Středotlaké polychromatické lampy jsou charakteristické několikanásobně vyšším výkonem oproti nízkotlakým monochromatickým UV lampám. Použitím polychromatických lamp se odstraňují hlavní nevýhody dřívějších systémů UV lamp, totiž tzv. reaktivaci. Rozšířené spektrum záření poškozuje nukleové kyseliny, ale i enzymy, případně i proteiny a další biomolekuly, a tak znemožňuje opětovné obnovení poškozených buněk. Obecně se pokládá za účinnější kombinace vyšší intenzity a nižší doby expozice, než kombinace nižší intenzity záření a delší doby kontaktu [30][41].

### ***Výhody použití UV záření***

Jak bylo zmíněno výše, jedná se fyzikální metodu hygienického zabezpečení, což má za následek například [30] [41]:

- Žádný vliv na pach a chuť vody, nemění složení vody, z čehož vyplývá neměnnost organoleptických vlastností vody,
- nevnáší se chemikálie do vody,
- nevznikají žádné vedlejší produkty dezinfekce, které vykazují negativní dopad na lidské zdraví,
- účinek příliš nezávisí na chemismu a teplotě vody,

Mezi další nesporné výhody užití UV záření se řadí, že odpadá sledování a doplňování chemikálií. Dále odpadá odborná obsluha a údržba dávkovacích nádrží. Mezi další výhodou se může řadit poměrně krátká doba ozáření, která se podle konstrukce zařízení a tloušťky prozařované vrstvy pohybuje v rozmezí několika desetin sekundy až do desítek sekund. V neposlední řadě jsou to bezpečnost a také minimální finanční nároky spojené s provozem[14][30].

### ***Nevýhody použití UV záření***

I přes nesporné výhody přináší tato metoda hygienizace řadu potenciálních rizik. Hlavní nevýhodou je možný vznik mutagenních látek (působí na genetické – dědičné struktury buňky, vedoucí ke vzniku nádorů či rakoviny apod.) Amesovým testem nebyly prokázány mutagenní fotoprodukty ani při dávce záření dosahující 10 000 J.m<sup>-2</sup>, přitom požadavek na použití UV záření k dezinfekci pitné vody je 400 J.m<sup>-2</sup> [14][30].

Jako potenciální riziko se uvádí možnost eventuálního vzniku nežádoucích vedlejších produktů dezinfekce. Při užití UV záření jako prostředku k dezinfekci vody, může docházet za určitých podmínek ke tvorbě dusitanů a formaci formaldehydu. K tvorbě dusitanů z dusičnanů dochází při použití zejména střednětlakých lamp oproti nízkotlakým. Opatřením je použití trubic z křemenného skla, které blokují vlnové délky pod 220 nm, neboť zde je právě maximum citlivosti pro dusičnany; při 254 nm je citlivost již menší. Významná tvorba dusitanů přichází v úvahu až při vysokých dávkách UV záření ( $\geq 10\,000\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ) [41].

Další nevýhodou je druhotné znečištění, které lze charakterizovat jako opětovný růst mikroorganismů mezi úpravou vody a koncovým spotřebitelem způsobený vnějšími vlivy. Druhotnému znečištění lze předcházet správným provozem rozvodné sítě (pravidelné proplachování, šokovou dávkou chlóru apod.) a používáním střednětlakých polychromatických lamp o velkém výkonu [41].

Z důvodu účinků hygienizace pouze v místě ozáření, tato metoda neposkytuje žádné dezinfekční reziduum, proto se často kombinuje s chlorací, která má právě za účel vytvořit dostatečné reziduum i v nejbližším místě na vodovodní síti.

### ***Možnosti použití UV záření a limity pro použití k hygienizaci vody***

V dnešní době přibývá příkladů využití UV záření k hygienickému zabezpečení vody. Při výrobě pitné vody se dnes používá UV záření k její dezinfekci jak v případě vody podzemní, tak i v případě břehové infiltrace nebo vod povrchových (jezera). Dále je možno použít UV záření v nejrůznějších zařízeních na úpravu pitné vody v místě spotřeby (filtry kombinované s UV lampou), pro kontrolu rozvoje legionel v rozvodu teplé vody, pro redukci počtů mikrobů s následnou možností tvorby aerosolu v různých lékařských přístrojích (dentální jednotky aj.) a dalších aplikacích, jako je dezinfekce splaškových vod, odstraňování ozónu nebo řady organických sloučenin z vody [41].

Při uvažování účinnosti UV záření je rozhodujícím kritériem stanovení minimální dávky záření, která je dána dle rovnice 2.13, záleží tedy na součinu intenzity UV záření (vlastnost UV lampy) a doby expozice. Důležitá je doba dezinfekce (expozice). Pro jednotlivé typy UV lamp se liší. Při použití nízkotlakých monochromatických UV lamp je obvyklá expozice 5 – 10 s, pro středotlaké polychromatické UV lampy 1 – 2 s a pro střednětlaké polychromatické vysoce účinné Multiwave UV lampy méně než 1 s [14].

Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody v §14 (vodárenské technologie), odst. (3) uvádí jaké lze zvolit technologické postupy pro úpravu vody a pod bodem n) pak stanovuje požadavky: „*Ozařování ultrafialovým zářením – o vlnové délce 250 až 270 nm a minimální dávce  $400\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$  v celém objemu vody s tím, že 85 % radiačního výkonu musí být při vlnové délce 253,7 nm (monochromatické nízkotlaké lampy), nebo o vlnové délce v rozmezí 200 až 400 nm a minimální dávce  $400\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$  (polychromatické středotlaké lampy).*“ [5].

## **2.5 PŘEHLED VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÝCH K AERACI ÚPRAVOVANÉ VODY**

V této podkapitole uvádím souhrn možných zařízení od vybraných výrobců použitelných v uvažované představě návrhu technologické linky úpravny. V České republice se nenachází velký počet výrobců, kteří se zaměřují na provzdušňovací zařízení. K nejvýznamnějším výrobcům patří společnosti *Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o.*, *Vodárenské technologie s.*

r. o. a EKOSYSTEM spol. s r. o. Provzdušňovací zařízení se vyrábějí v horizontálních a vertikálních variantách.

### 2.5.1 Horizontální provzdušňovače vody

#### *Horizontální provzdušňovač vody BUBLA V*

Výrobce tohoto zařízení je společnost *Vodárenské technologie s. r. o.* U tohoto zařízení upravovaná voda protéká nad perforovaným mezidnem, kterým je do zařízení vháněn tlakový vzduch. Proces provzdušňování se řídí Henryho zákonem a účinnost odstranění těkavých rozpuštěných látek intenzivním provzdušněním vody je až 98 %. Zařízení se skládá z tělesa provzdušňovače, do kterého přitéká surová voda, ta následně protéká přes aerační rošt, pod který je vysokotlakým ventilátorem dodáván vzduch, jenž vodu provzdušňuje. Odpadní vzduch, který již probublal tenkou vrstvou vody a obsahuje nyní nežádoucí plynné nebo jiné látky, je odváděn z tělesa provzdušňovače potrubím umístěným v horní části zařízení. Vlastní provzdušňovač může být umístěn na akumulární nádrži, ze které je provzdušněná voda čerpána na další úpravárenská zařízení nebo přímo bez akumulární nádrže [40].

Tato zařízení jsou vhodná při úpravě vody s vyšším obsahem železa nad  $1 \text{ mg.l}^{-1}$  anebo při jiném mechanickém znečištění. Zařízení je vyrobeno z polypropylenu v kombinaci s nerezovým materiálem a je přizpůsobeno snadnému čištění perforovaným mezidnem. Používá se v gravitačním systému pouze jako průtokové – netlakové [38].



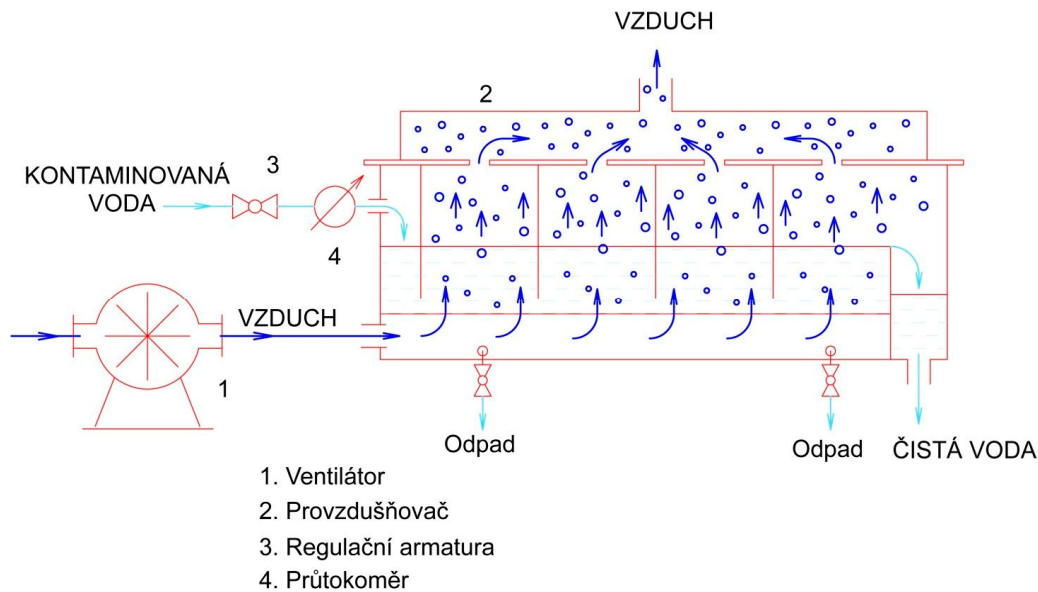
Obr. 2-2 Horizontální provzdušňovače BUBLA V

Zařízení Bubla je dodáváno ve výrobní řadě  $1 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $3 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $5 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $9 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $12 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $15 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $20 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $25 \text{ l.s}^{-1}$  a  $40 \text{ l.s}^{-1}$ . Zařízení se objednávají kusově na zakázku, jejich tvarové uspořádání a rozměrové připojení je možné přizpůsobit objednateli [38].

#### *Horizontální provzdušňovač SAN H*

Dodavatelem tohoto zařízení je společnost EKOSYSTEM spol. s r. o. Těleso provzdušňovače tvoří nízká nádrž obdélníkového půdorysu s odnímatelným víkem a mezidnem s hustou perforací pro distribuci vzhůru proudícího vzduchu. Do prostoru pod perforovanou mezidno (děrovaný plech) proudí pracovní vzduch rozváděcí šterbinou ze vzduchové komory na boku provzdušňovače, do níž je tlakový vzduch od ventilátoru přiveden flexibilní hadicí. K dokonalému odvodnění při rozběhu zařízení a případně i pro

odtok malých úkapů během provozu slouží dva otvory u dna nádrže osazené regulačními kulovými kohouty a hadicí svedenou do odpadu. Upravovaná voda je přiváděna do vstupní komory provzdušňovače, odkud natéká na perforované mezidno, po kterém horizontálně protéká postupně k přepadové liště na konci nádrže, kterou je ustavena stálá úroveň hladiny. Svislé přepážky v nádrži rozdělují průtočnou část na oddělené sekce (stupně provzdušňovače), které jsou opatřeny samostatnými výdouchy do sběrné komory v odnímatelném víku. Vyčištěná voda vytéká gravitačně přes sifon trubkou u dna provzdušňovače do retenční nádrže osazené pod provzdušňovačem nebo samostatně stojící[39].



Obr. 2-3 Schéma principu horizontálního provzdušňovače SAN H[39]

Ve variantně volené sestavě technologického zařízení může být vzduch z provzdušňovače veden flexibilní PVC hadicí do ovzduší buď přímo (v úpravárnách vody) nebo je nejprve veden do sorpčního filtru s náplní aktivního uhlí (při sanaci znečištění těkavými škodlivinami).

Nádrž provzdušňovače je vyrobena z polypropylenu (PP), perforované mezidno je z nerezového plechu.

### ***Horizontální provzdušňovač HPV***

Dodavatelem tohoto zařízení je společnost *Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o.* Provzdušňovač pracuje na stejném principu jako předchozí uvedené horizontální provzdušňovače.

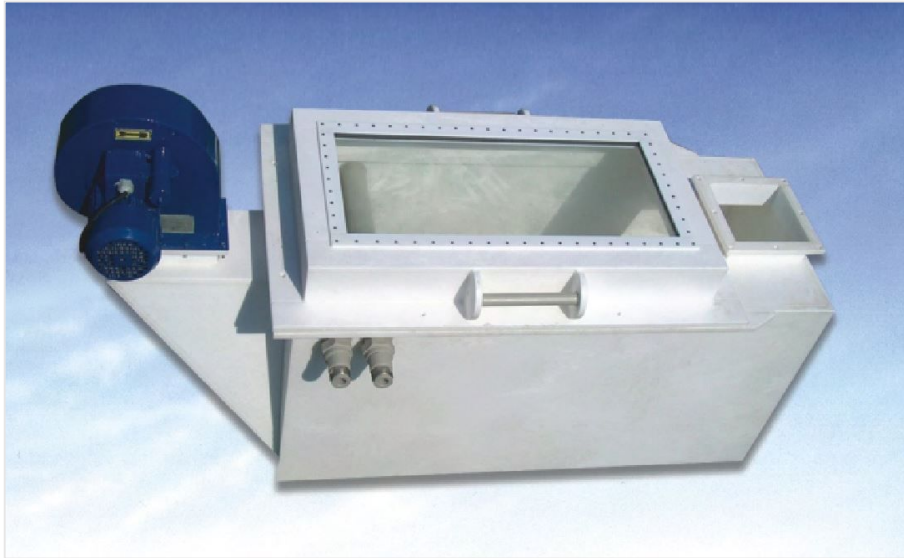
Zařízení HPV se skládá z tělesa provzdušňovače a vysokotlakého ventilátoru. Podle potřeby může být vybaveno ještě akumulací nádrží na výstupní vodu, vzduchovým sorpčním filtrem pro zachycení těkavých látek a plynu ze stripovacího vzduchu a zařízením k vícenásobné recirkulaci upravované vody. Parametry ventilátoru jsou projektovány na základě zadaného průtoku vody, typu separované škodliviny a požadovaného stupně účinnosti. [40].

Tyto provzdušňovače jsou vyráběny ve třech variantách [40]:

- HPV bez akumulace,



- HPV s akumulací upravené vody (akumulační nádrž pod zařízením),
- HPV s recirkulací upravované vody (při vyšších koncentracích odstraňované látky).



Obr. 2-4 Horizontální provzdušňovače HPV bez akumulace [40]

Typová výrobní řada začíná na výkonu  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  a končí na výkonu až  $40 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Nádrž provzdušňovače je vyrobena z polypropylenu (PP), děrované rošty jsou z nerezového plechu. Dodavatel udává, že na rozdíl od jiných typů provzdušňovačů jsou provzdušňovače HPV mimořádně odolná zařízení vůči nepříznivým účinkům silně železitých vod s vysokou hodnotou přechodné tvrdosti vody. Vzhledem ke konstrukci HPV je snadné odstranění případného zanášení vnitřních prostor provzdušňovače v důsledku dlouhodobého provozu na silně železitých vodách [40].

## 2.5.1 Vertikální provzdušňovače vody

### *Vertikální provzdušňovač vody FUKA*

Výrobcem tohoto zařízení je společnost *Vodárenské technologie s. r. o.* Systém provzdušnění je vertikální, kdy je voda čerpána do horní části provzdušňovací kolony a gravitačně protéká přes voštinové vestavby do dolní části, kde je sifonový odtok do akumulační nádrže, ze které je provzdušněná voda čerpána na další úpravárenská zařízení nebo přímo bez akumulační nádrže. Proti směru průtoku vody je vháněn tlakový vzduch, který je v horní části odváděn potrubním rozvodem. Zařízení jsou vyrobena z polypropylenu (PP) [38].

Provzdušňovací věže jsou energeticky méně náročné než horizontální provzdušňovače, ale nelze je s ohledem na zarůstání a zanesení voštinových náplní používat pro znečištěné vody a vody s obsahem železa větším než  $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Vyžadují též umístění do objektu s vyššími stropy [38].

Provzdušňovače jsou dodávány ve výrobní řadě  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  a jejich tvarové uspořádání a rozměrové připojení je možné přizpůsobit objednateli [38].



Obr. 2-5 Vertikální provzdušňovače FUKA [38]

### ***Provzdušňovací věže SK***

Dodavatelem tohoto zařízení je společnost *Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o.* Provzdušňovací věž je stojatá nádoba čtvercového průřezu, skládající se z části hlavové, ze středových dílů s vestavbou a části patní. Uvedené části věže jsou spojeny přírubami. Voda je přiváděna do hlavy věže. Dle směru výstupu vzduchu je hlava dodávána jako „hlava velká“ vývod horizontální, nebo „hlava malá“ vývod vertikální. Na patě je výstup vody, bezpečnostní přeliv a odkalovací otvor. Ventilátor na přívod čistého vzduchu je připojen na patu věže. Vývod vzduchu z kolony je v hlavové části. Pokud je to nutné, je možno ventilátor namontovat na odtah vzduchu z věže nebo kamkoli jinam na vzduchotechnické potrubí[40].

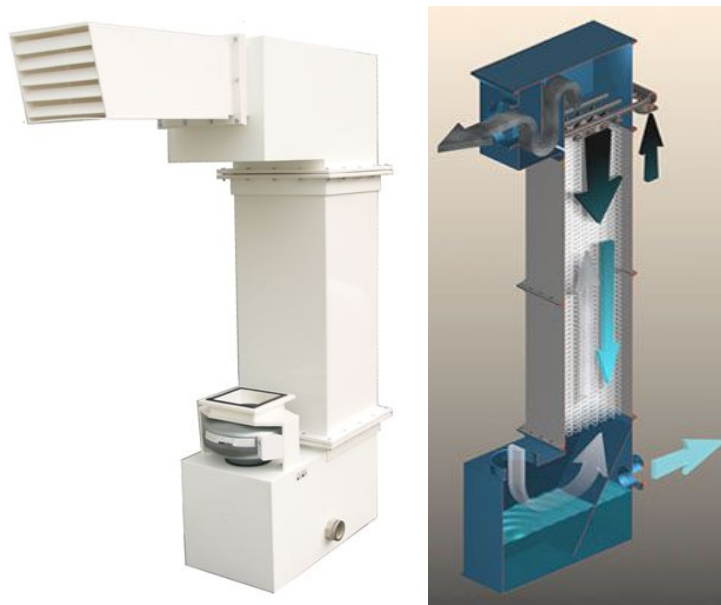
Jednotlivé díly věže je možno proti sobě libovolně otočit o 90°. Vstup vody může být levý, zadní nebo pravý a výstup vody může být přední, zadní nebo dolní. Po dohodě je možno jednotlivé díly upravit dle zadání zákazníka.

Výška věže je dána požadovanou účinnou délkou vestavby. Délku vestavby firma počítá pro konkrétní chemickou látku ze vstupních a požadovaných výstupních koncentrací [40][41].

Plášť provzdušňovací věže je vyroben z oceli třídy 11, z nerezové oceli nebo z polypropylenu. Vestavba je vyrobena z tvarované polypropylenové síťoviny. Středové díly jsou vyplněny orientovanou vestavbou z polypropylenové síťoviny [40].

Tab. 2-1 Výrobní řada provzdušňovacích věží SK [40]

Název věže	SK 20	SK 40	SK 60	SK 80	SK 100	SK 120	SK 140	SK 160
Max. průtok [ l.s <sup>-1</sup> ]	1	4	9	16	25	36	49	64



Obr. 2-6 Provzdušňovací věže SK [40]

### ***Provzdušňovací věže PV***

Provzdušňovací (stripovací) nerezové věže PV vyráběné společností *Vodaservis s.r.o.* slouží k intenzivnímu provzdušnění vody vzdušným kyslíkem a k odvětrání těkavých plynů. Provzdušňovací věž se skládá z horního nátokového dílu, středního dílu a odtokového dílu. Jednotlivé díly se sestavují na místě realizace a jsou spojeny nerezovými šrouby. V horním dílu věže je natékající voda rozstříkována po celé ploše. Střední díly jsou vyplněny plastovou kontaktní náplní. Odtokový díl je řešen podle typu věže – s odtokovým hrdlem PV nebo stojící na nádrži PV S (volně odtékající). Po kontaktní náplni voda teče ve velmi tenké vrstvě a tím se lehce uvolňují nežádoucí plyny z vody. Okamžitě jsou pak nahrazovány kyslíkem ze vzduchu. Proti ztékající vodě je nasáván vzduch – odsávací ventilátor, který odvádí uvolněné plyny mimo pracovní prostor do venkovního ovzduší [33].

Základní typy věží:

- PV jsou se stojanem,
- (PVS) bez stojanu, s možností umístění přímo na akumulární nádrž.

Provzdušňovací věže jsou dodávány kompletní připravené k instalaci. Součástí věže je kontaktní plastová výplň s neměkčeného PVC, potrubní propojení rozstříku vody z PVC, spojovací materiál, silikonové těsnění, ventilátor, odfuk a sání vzduchu. V případě provedení PVS je věž dodávána s nerezovým stojanem.

Průtoky věží jsou od 6 do 144 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (1,6 l.s<sup>-1</sup> až 40 l.s<sup>-1</sup>). Provedení je celo-nerezové s plastovou kontaktní výplní. Použité materiály jsou s atestem vhodnosti i pro styk s pitnou vodou [33].

## **2.6 PŘEHLED VYBRANÝCH TLAKOVÝCH FILTRŮ**

Pro potřeby úpraven vod se v České republice zaměřuje na výrobu a distribuci tlakových filtrů zejména společnost *Vodaservis s.r.o.* Další společností na našem trhu je dánská firma *EUROWATER spol. s r.o.*, která se zaměřuje spíše na úpravu průmyslové vody. Mezi další výrobce na našem trhu se řadí společnosti Intrel a. s. a INKOS a. s., avšak tito oslovení

výrobci (až na Vodaservis) neposkytli žádné materiály, proto zde podrobněji uvádím pouze tlakový filtr TVK od firmy *Vodaservis s.r.o.*

### **2.6.1 Tlakový nerezový filtr TVK**

Jedná se o tlakový nerezový filtr TVK robustní konstrukce vyrobený standardně z nerezového materiálu s atestem na pitnou vodu. V případě vyššího obsahu chloridů, síranů a vodivosti se vyrábí filtry TVK z materiálu s nižším obsahem uhlíku nebo s přidavkem titanu. Filtr se skládá z válcové části usazené na stavitelných nohách, podkladní a filtrační náplně, plastových či nerezových ovládacích rozvodů a armatur a manuálního či automatického řízení. Vnitřní vstrojení filtru je celonerezové, standardně bez mezidna a plastových trysek. Od průměru 600 mm obsahuje válcová část dva přírbové otvory – revizní (nasýpací) a vysýpací. Povrchová úprava filtrů je balotinováním (tryskání keramickými kuličkami), což jim dává nenapodobitelný jednolitý matný vzhled. Filtr se plní dvěma až třemi podkladními hrubými písky a vícevrstvou filtrační náplní o různé zrnitosti a složení dle kvality surové vody. Filtrační schopnost je nad 5-10 mikronů při vysoké filtrační rychlosti až 20 m.h<sup>-1</sup> (dle kvality upravované vody) [33].

V automatickém provedení filtr TVK dále obsahuje řídicí jednotku Siemens, zdroj tlakového vzduchu (kompresor), rozvod tlakového vzduchu, manometry vstupního tlaku vody a výstupního tlaku vody, pět ovládacích pneumaticky řízených ventilů, odpouštěcí a odvzdušňovací ventil. Řídicí jednotka dokáže dávat pokyny pracím čerpadlům, vysílat a přijímat externí pokyny k ovládní filtru. Praní probíhá časově, objemově nebo dle tlakové difference [33].

Základní typy filtrů TVK jsou:

- Pískové,
- odmanganovací,
- dechlorační,
- odkyselovací.

Typ konstrukce a stavba umožňuje filtry prát pouze surovou vodou bez nutnosti praní vzduchem, což oproti starým typům filtrů přináší velkou úsporu elektrické energie.

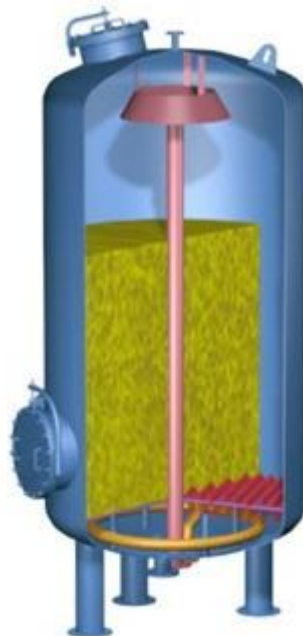


Obr. 2-7 Tlakové rychlofiltry TVK [33]

Operativní tlak udáván maximálně 6 bar (60 m v. sl.), tlaková ztráta udávána maximálně 0,5 bar (5 m v. sl.) [33].

### 2.6.2 Tlakové pískové filtry INKOS

Firma *INKOS a. s.* vyrábí tlakové filtry řady PFZ pro použití v úpravkách pitné, užitkové a provozní vody. Filtry mohou být stojaté nebo ležaté, průměr filtru 600, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000 mm a pro průtoky od  $3,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  do  $108 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  [53].



Obr. 2-8 Konstrukce tlakového filtru INKOS PFZ [53]

### **2.6.3 Tlakové pískové filtry Intrel**

Společnost *Intrel a. s.* vyrábí jednokomorové a dvoukomorové pískové filtry pro úpravu vody v úpravárnách vod a průmyslovou úpravu vody [52].

#### ***Jednokomorové tlakové filtry TPF***

Jedná se o vertikálně stojící ocelové válcové nádoby s klenutými dny a vestavěným tryskovým dnem opatřeným tryskami. Filtrační vrstva pískového filtru je tvořena praným křemičitým pískem o zrnitosti 0,4 až 4 mm. Na plášť pískového filtru jsou navařeny příruby pro potrubí s ovládacími armaturami, které slouží pro přívod surové vody, odvod vyčištěné a přívod prací vody a vzduchu a odvod prací vody. Pláště pískových filtrů jsou vybaveny průlezy. Po vyčerpání kalové kapacity filtračního lůžka se pískový filtr odstaví, zregeneruje a opětovně uvede do provozu.

#### ***Dvoukomorové tlakové filtry DPF***

Na rozdíl od jednokomorového je filtr uprostřed rozdělen dalším klenutým dnem na dvě nezávislé samostatné komory s celkovou dvojnásobnou filtrační plochou. Zapojení dvoukomorového pískového filtru umožňuje nezávislý provoz obou komor současně nebo střídavě. V době pracího cyklu jedné komory pískového filtru může probíhat v druhé komoře filtrace, přičemž na praní může být použita voda z filtrující komory nebo ze zásobní nádrže. Po ukončení pracího cyklu se uvede první komora pískového filtru do režimu filtrace a může se zahájit prací cyklus druhé komory filtru. Po jeho ukončení zapojíme do filtrace i druhou komoru. Obě komory pak pracují současně až do dalšího pracího cyklu.

Při současném praní vodou a vzduchem výrobce udává úsporu prací vody o 30 až 40 % [52].

### 3 HODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU VODÁRENSKÉ INFRASTRUKTURY

Zajištění trvalé udržitelnosti a rozvoje vodohospodářských infrastruktur je společným cílem všech vodohospodářských společností. Dostupnost kvalitních služeb v oblasti vodárenství a odkanalizování a čištění odpadních vod má významný vliv na ochranu lidského zdraví, komfortu, udržitelného rozvoje společnosti a v neposlední řadě na ochranu životního prostředí. Z toho důvodu je nezbytné mít plán údržby, rekonstrukcí a výměn, neboť vodohospodářské infrastruktury (vodovody a kanalizace) podléhají přirozenému procesu stárnutí. Výše zmíněné, společně se snahou minimalizovat vlastní náklady a maximalizovat kvalitu poskytovaných služeb vede k potřebě rozvoje tvorby efektivních nástrojů k posuzování technického stavu vodohospodářské infrastruktury, jeho vyhodnocování a následné plánování, jedná se o tzv. Infrastructure Asset Management (IAM). V zahraničí se dané problematice věnuje více asociací, které v průběhu let vyvinuly vlastní metodiky, vedoucími státy v oblasti IAM jsou zejména Austrálie a Kanada, které mají nejvíce zkušeností s IAM (v oblastech zaměřených na „networked infrastructures“ jako jsou dálnice, plynovody apod.). K nejznámějším organizacím z oblasti vodárenství patří zejména mezinárodní nezávislá International Water Association (IWA), která předepisuje doporučené ukazatele k hodnocení výkonnosti a technického stavu infrastruktur [46].

#### 3.1 TRENDY VE SVĚTĚ

##### *Situace ve Spojeném království a úloha regulátora*

Ve Spojeném království, přesněji řečeno v zemích Anglie a Wales, byl po vzoru z oblasti telekomunikací a energetiky založen Úřad pro regulaci vodohospodářství OFWAT (Water Services Regulation Authority). Ten stanovuje výše tarifů vodného a stočného, mimo to však také nařizuje vodárenským společnostem každoročně zveřejnit zprávu zabývající se výkonností a hospodařením. Tato zpráva je vypracována podle metodiky založené na vyhodnocení výkonnostních ukazatelů, které jsou sdruženy do skupin popisující například kvalitu poskytovaných služeb zákazníkům, spolehlivost a účinnost (ztráty apod.) vodovodů a kanalizací, vliv na životní prostředí. Dále pak pod jeho dohledem probíhá schvalování strategických plánů na 25 let, jehož aktualizaci jsou společnosti povinny prezentovat každých 5 let [44].

##### *Projekt AWARE–P v Portugalsku*

Další zemí, kde působí národní regulátor (ERSAR), je Portugalsko. ERSAR si mimo jiné klade za cíl ochranu zájmů spotřebitelů prostřednictvím prosazování kvality poskytovaných služeb společnostmi. Vodohospodářské společnosti mají předepsán seznam ukazatelů výkonnosti PI (Performance indicators), které částečně korespondují s výkonnostními ukazateli předepsanými agenturou IWA, které by měly společnosti používat k hodnocení technického stavu infrastruktury.

Tamní Národní laboratoř pro stavební inženýrství (LNEC), vyvinula ve spolupráci s národním regulátorem a společnostmi z oblasti vodohospodářství, metodiku AWARE–P pro hospodaření s technickou infrastrukturou (IAM). Hlavní myšlenkou bylo vytvoření jednotné metodiky používané všemi vodohospodářskými společnostmi bez ohledu na jejich velikost a

vlastnickou strukturu, vytvořit účinný nástroj podpory rozhodovacích procesů při správě technické infrastruktury.

Ucelený přístup k problematice správy a řízení majetku technické infrastruktury přispívá k:

- Zajištění trvale udržitelné úrovně poskytovaných služeb,
- objektivnosti a obhájitelnosti potřebných investic do infrastruktury,
- rovnováze mezi výkonností, náklady a rizikem v krátkodobém a dlouhodobém horizontu,
- zdůraznění na rekonstrukci existujících sítí a budování nových, kdykoli je to možné.

Ve zkratce, přístup metodiky AWARE–P se snaží pomoci, společně ve vodním hospodářství (ale i všem ostatním s infrastrukturou síťového charakteru), s odpověďmi na následující otázky [45]:

- Kdo jsme teď a jakou službu dodáváme?
- Co vlastníme či provozujeme ve smyslu infrastruktury?
- Kde chceme být v dlouhodobém horizontu?
- Jak se tam dostaneme?

Při vývoji postupů a nástrojů bylo bráno v potaz, že IAM zahrnuje tři úrovně rozhodování (strategický, taktický a operativní) dále pak technické, manažerské a informační sekce ve společnostech a rozhodovat se na základě neustálého standardizovaného ohodnocení celého systému a posouzení výkonnosti, rizik a nákladů. Při plánování je důležité propojení mezi nastaveným záměrem, hodnotícími kritérii, zvolenými veličinami a nastaveným cílem.



Obr. 3-1 Znárodnění procesu při plánování v metodice AWARE-P [45]

Společně s metodikou byla vyvinuta i softwarová podpora v podobě open–source webové aplikace AWARE–P. Součástí je sada nástrojů pro hodnocení výkonnosti, posouzení rizik a nákladů. Výkonnost je posuzována pomocí výkonnostních ukazatelů PI a výkonnostních indexů PX (Performance indices), ty jsou převzaty doporučeného seznamu od národního regulátora ERSAR [45]. Prozatímní nevýhodou je, že AWARE–P uvažuje pouze



s komplexním hodnocením vodárenských systémů, systémů odkanalizování a čištění odpadních vod a systémů městského odvodnění, nikoliv s jejich detailnějším rozbořením.

Jistou podobu můžeme vidět s Plánem financování obnovy vodovodů, jenž nám v podmínkách České republiky ukládá zákon č. 274/2001 Sb., ten však blíže nespecifikuje, jakým způsobem/metodikou má vodárenská společnost postupovat. Vyhláška pouze uvádí, že vlastník si dle vlastního uvážení (metodiky) stanoví hodnotu procenta opotřebení pro jednotlivé skupiny vybraných údajů majetkové evidence. Zde vidím velkou přednost portugalského modelu, který se snaží zavést celoplošnou metodiku, která postihuje nejen vodárenské systémy, ale i systémy odkanalizování a čištění odpadních vod a systémy městského odvodnění. Praktická využitelnost tohoto projektu byla ověřena dvěma edicemi celonárodního projektu iGPI, kterého se účastnily společnosti provozující nebo vlastníci vodohospodářskou infrastrukturu a jeho cílem bylo využít metodiku AWARE – P k zhodnocení stavu infrastruktury a tvorba strategických, taktických a operativních plánů.

## 3.2 METODIKA TEA WATER

V rámci výzkumných projektů na ÚVHO na Vysokém učení technickém v Brně byla vyvinuta metodika TEA Water, která slouží k předběžnému hodnocení technického stavu prvků vodovodu. Metodika vychází z obecné metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Tato metoda umožňuje semikvantitativní hodnocení posuzovaných systémů a jeho prvků. Při využití této metody je nutné stanovit konkrétní technické ukazatele pro jednotlivé části a objekty systému vodárenské infrastruktury. U každého technického ukazatele musí být definován způsob jeho stanovení, potřebná vstupní data, fyzikální rozměr a způsob hodnocení a prezentace [47][48].

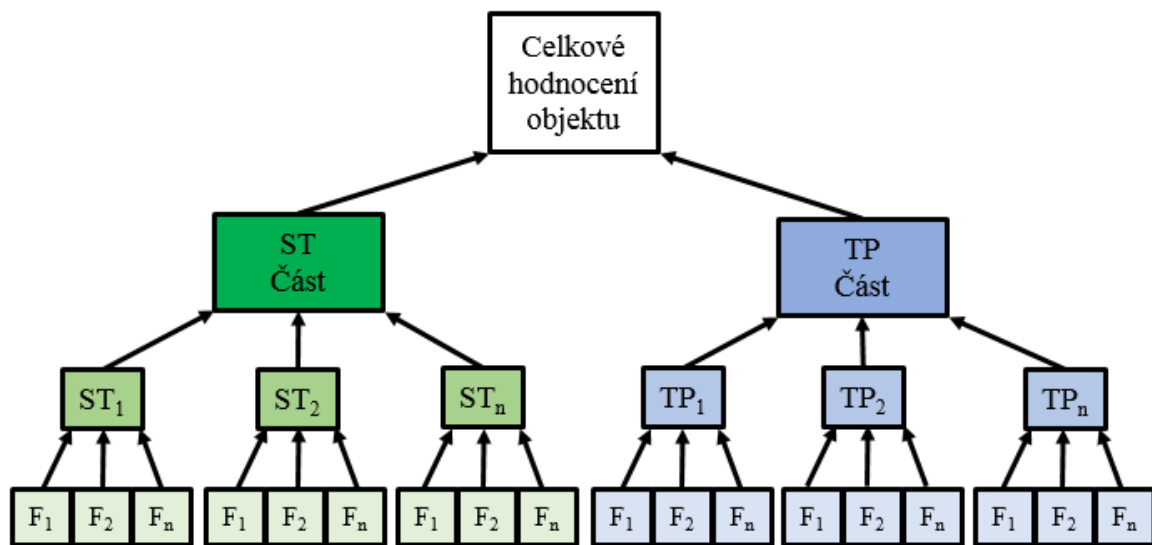
Navržená metodika je rozdělena 7 samostatných modulů, a to s ohledem na složitost vodárenského systému a jeho části a objekty [47].

- Modul TEAR – Vodní zdroje,
- Modul TEAT – Úpravny vody,
- Modul TEAM – Příváděcí řady,
- Modul TEAA – Vodojemy,
- Modul TEAP – Čerpací stanice,
- Modul TEAN – Rozvodná síť,
- Modul TEAS – Vodovodní řady.

Hlavním odlišením této metodiky od obecné metody FMEA je rozšíření o další úroveň – faktor F. Technické ukazatele nejsou hodnoceny přímo, ale prostřednictvím faktorů vybraných zvlášť pro konkrétní technický ukazatel. Počet těchto faktorů byl navržen tak, aby nebyly požadavky na vstupní informace příliš obsáhlé, či naopak nebyly vynechány některé důležité informace. Rozsah informací na úrovni faktorů je důležitý, protože právě do této úrovně jsou zadávána základní data o posuzovaném objektu. Každému faktoru je navržen jednotný čtyřbodový systém hodnocení se specifikací a doporučením pro konkrétní bodové hodnocení každého faktoru. Pro každý faktor je stanovena jeho váha v rámci hodnocení příslušného ukazatele.

Bodové hodnocení faktorů [47]:

- 0 – Faktor není hodnocen, není dostatek informací pro hodnocení daného faktoru,
- 1 – příznivý stav,
- 2 – střední stav,
- 3 – nejméně příznivý stav.



Obr. 3-2 Struktura hodnocení metodiky TEA Water [47]

Celkové hodnocení posuzovaného objektu (posuzované části vodárenského systému) se skládá ze dvou částí, jak je patrné z Obr. 3-2.

- Stavebně-technická část ST – souhrn stavebních a technických ukazatelů.
  - Dílčí stavebně-technické ukazatele ( $ST_1, \dots, ST_n$ ) se v každém modulu snaží postihnout a ohodnotit skutečný stavební a technický stav daní části.
- Technologicko-provozní TP – souhrn technologických a provozních ukazatelů, které nemají přímou vazbu na stavebně-technologický stav posuzovaného objektu.
  - Dílčí technologicko-provozní ukazatele ( $TP_1, \dots, TP_n$ ) se v každém modulu snaží postihnout unikátní provozní parametry posuzovaného objektu.

Jedná se tedy o multikriteriální hodnocení. Navržená metodika hodnocení technického stavu vychází z metody váženého součtu. Jak je uvedeno v tab. 4-1, posuzované objekty (jejich stavebně-technické a technologicko-provozní části a ukazatele) po vyhodnocení spadají do následujících kategorií:

Tab. 3-1 Kategorie hodnocení [47]

Objekt	Část	Ukazatel	Popis stavu
A+, A, A-	A	1	optimální stav, nevyžaduje žádná opatření vedoucí ke změnám hodnot tohoto TU
B+, B, B-	B	2	nízká míra rizika příslušného TU a rovněž nevyžaduje žádná zásadní opatření
C+, C, C-	C	3	jedná se o průměrné hodnoty příslušného TU, které nevyžadují okamžitá řešení
D+, D, D-	D	4	kritické hodnoty příslušného ukazatele. Měla by být realizována případně plánována opatření na řešení tohoto stavu
E+, E, E-	E	5	nežádoucí stav, který vyžaduje dle možnosti provozovatele okamžité řešení, které povede k dosažení lepších hodnot příslušného ukazatele
N	N	N	pro hodnocení tohoto TU není dostatek informací

Z tab. 4-1 je patrné, hodnocení má 6 hlavních stupňů (včetně N – nehodnoceno), ty jsou rozčleněny ještě na další mezistupně + a -.

### 3.3 MODUL TEAT – ÚPRAVNÝ VODY

Společně s metodikou byla vyvinuta softwarová podpora v podobě webové aplikace TEA Water. Pro potřeby diplomové práce budu dále rozebírat pouze modul TEAT – Úpravný vody, který byl použit k zhodnocení technického stavu řešené úpravný vody v aplikaci TEA Water.

Modul TEAT – úpravný vody provádí hodnocení pomocí třech stavebně-technických a šesti technologicko-provozních ukazatelů. Členění stavebně-technických ukazatelů a jejich faktorů je znázorněno na Obr. 3-3, členění technologicko-provozních ukazatelů a faktorů na Obr. 3-4.

<b>STAVEBNĚ - TECHNICKÉ UKAZATELE</b>	<b>ST1</b>	<b>Stav stavební konstrukce</b>	<b>0,3</b>
	F1	Stropní konstrukce	
	F2	Stěny	
	F3	Podlahy	
	F4	Fyzický stav otvorů	
	F5	Schodiště, zábradlí, žebříky	
	F6	Elektroinstalace	
	F7	Stav prostupů potrubí konstrukcemi	
	<b>ST2</b>	<b>Stav technologických prvků</b>	<b>0,4</b>
	F1	Betonové nádrže	
	F2	Kovové a jiné nádrže	
	F3	Potrubní rozvody	
	F4	Armatury	
	F5	Strojní vstrojení (kromě čerpadel)	
<b>ST3</b>	<b>Ochrana objektu proti vnějším vlivům</b>	<b>0,3</b>	
F1	Vstup do objektu a okna		
F2	Sluneční osvit		
F3	Větrání		
F4	Nachází se úpravna vody v záplavové oblasti Q100?		

Obr. 3-3 Členění Stavebně-technických ukazatelů a přehled jednotlivých faktorů

U každého ST a TP je uvedena jeho váha. Celková váha ST a TP je pak rozdělena na:

- ST – stavebně-technická část – váha 0,3
- TP – technologicko-provozní část – váha 0,7

Větší váha je logicky dána technologicko-provozním ukazatelům, neboť zejména ty objektivně ukazují, v jakém stavu se úpravná voda nachází, resp. zda používá dostatečné a vhodné technologie, disponuje měřeními provozních veličin a výkonu, kapacitně postačuje apod. Přece jen, i úpravný ve špatném, zejména stavebním stavu, jsou schopny dodávat pitnou vodu o vysoké kvalitě.

<b>TECHNOLOGICKO - PROVOZNÍ UKAZATELE</b>	<b>TP1</b>	<b>Rozsah technologie úpravy vody</b>	<b>0,2</b>
	F1	Index upravitelnosti	
	F2	Separční účinnost	
	F3	Legislativa	
	F4	Četnost nevyhovujících rozborů vyrobené-pitné vody	
	<b>TP2</b>	<b>Čerpací technika (ČS upravené vody)</b>	<b>0,15</b>
	F1	Stáří čerpacích jednotek	
	F2	Poruchovost čerpacích jednotek	
	F3	Poloha pracovního bodu	
	F4	Účinnost čerpadel	
	<b>TP3</b>	<b>Ochrana objektu proti vnějším vlivům</b>	<b>0,1</b>
	F1	Měření hydraulických veličin	
	F2	Měření kvalitativních parametrů	
	F3	Provozní manipulace	
	<b>TP4</b>	<b>Separční technologie</b>	<b>0,25</b>
	F1	Počet separačních stupňů	
	F2	Parametry procesu	
	F3	Konstrukce separačních jednotek	
	<b>TP5</b>	<b>Další procesy</b>	<b>0,2</b>
	F1	Předúprava	
	F2	Kalové hospodářství	
	F3	Nežádoucí produkty dezinfekce	
	F4	Účinnost dezinfekce	
	<b>TP6</b>	<b>Efektivita provozu a bezpečnost</b>	<b>0,1</b>
	F1	Vlastní spotřeba vody	
	F2	Plynulost provozu úpravní	
	F3	Využitelnost výkonu úpravní vzhledem k jejím návrhovým hodnotám	
	F4	Automatizace provozu	
F5	Přerušování provozu		
F6	Nedostatečný výkon		
F7	Úniky chemikálií		

Obr. 3-4 Členění Technologicko-provozních ukazatelů a přehled jednotlivých faktorů

Metodika TEA Water – modul TEAT, se snaží být co nejvíce univerzální, tak aby umožňovala jednoduše a rychle zhodnotit stav každé úpravní. S tím souvisí fakt, že nedokáže

dopodrobna popsat stav dané úpravní vody, což si tento modul ani nemůže a neklade za cíl. Podmínkou použití této aplikace je však dobrá znalost posuzované úpravní vody. Samotné posouzení úpravní vody se provádí pomocí webové aplikace TEA Water, dostupné na:

<http://tea.fce.vutbr.cz/>

Práce s aplikací TEA Water je velmi intuitivní a uživatelsky pohodlná.

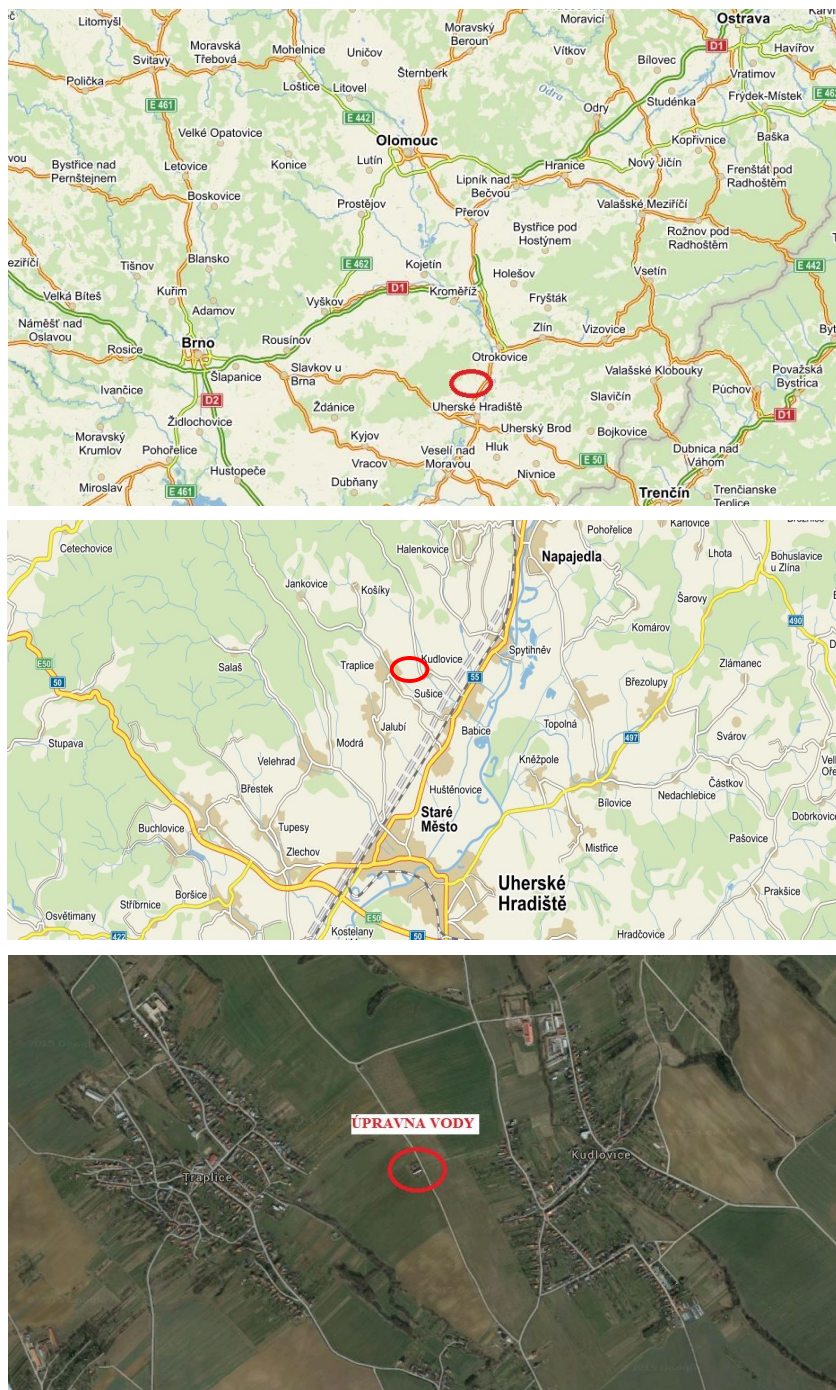
The screenshot displays the 'Audit: Stavebně-technický' section of the TEA Water application. It is divided into several sub-sections:

- Hodnocení objektu: ÚV Babice** (Object Evaluation: ÚV Babice)
- Ukazatel** (Indicator): A list of six technical parameters (TP1-TP6) with status indicators [ok].
- Faktory ukazatele** (Indicator Factors): A list of four factors (F1-F4) with status indicators [ok].
- Hodnocení faktoru** (Factor Evaluation): Radio buttons for selecting an evaluation category: 'Nehodnoceno', '0 až 7 let', '8 až 15 let', and '16 a více let' (selected).
- Poznámka:** A text input field for notes.
- Uložit hodnocení** (Save evaluation) button.
- Soubory** (Files) section with a file selection area.
- Buttons: 'Vybrat soubor' (Select file), 'Soubor nevybrán' (File not selected), and 'Uložit soubor' (Save file).

Obr. 3-5 Ukázka grafického rozhraní a práce s aplikací TEA Water

## 4 ÚPRAVNA VODY BABICE

Řešená úpravná vody se nachází ve Zlínském kraji, v okrese Uherské Hradiště, mezi obcemi Kudlovice a Traplice. Úpravná vody (ÚV), vyrábí vodu pro celý skupinový vodovod Babicko a je jeho jediným zdrojem pitné vody.



Obr. 4-1 Umístění objektu úpravný vody [16]

## 4.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název stavby:</b>	Studie rekonstrukce úpravny vody sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti "Babicko"
<b>Kraj:</b>	Zlínský
<b>Katastrální území:</b>	Traplice (okres Uherské Hradiště)
<b>Dotčené parcely:</b>	3154, 3155, 3156, 3074/3
<b>Majitel:</b>	Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti "Babicko"
<b>Provozovatel:</b>	Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti "Babicko"



Obr. 4-2 Objekt úpravny vody

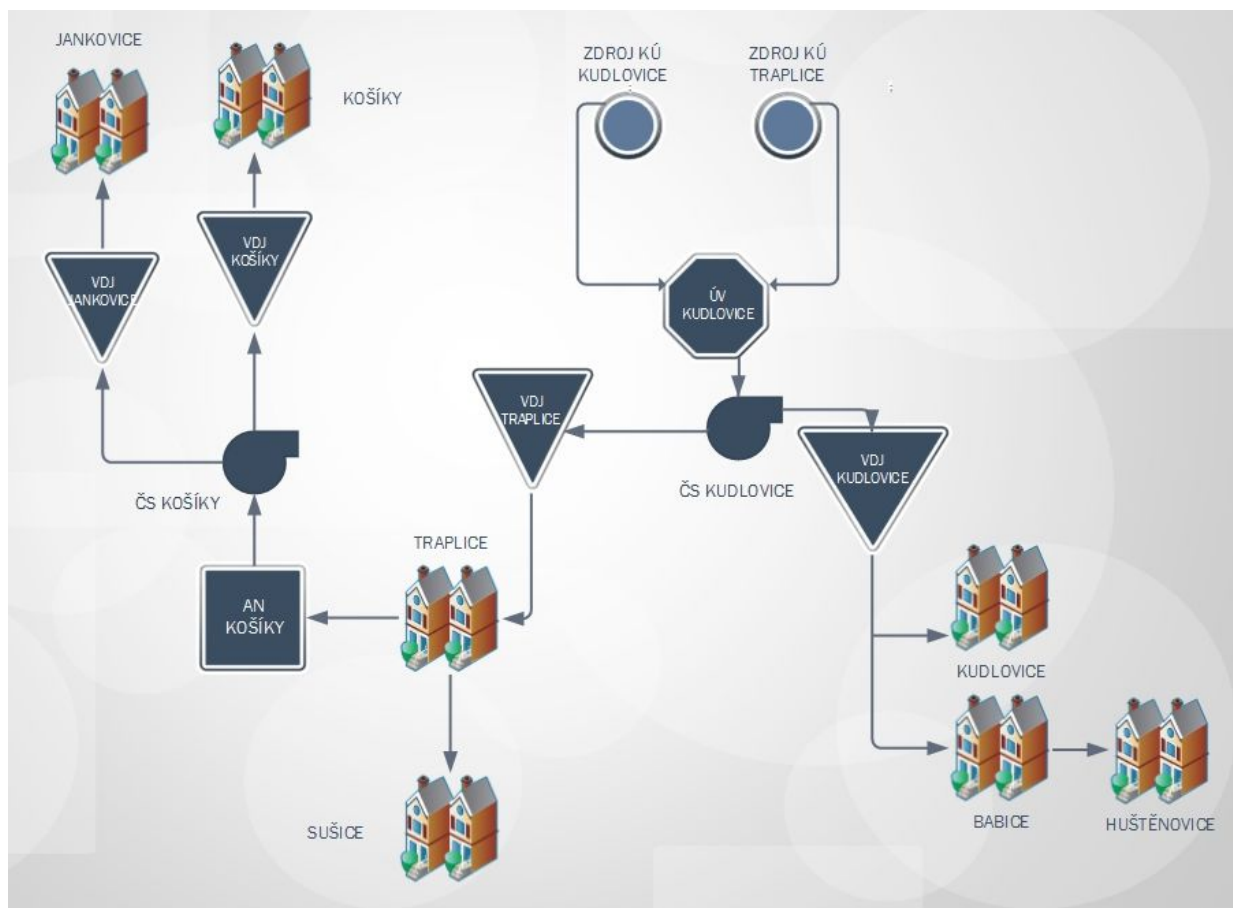
## 4.2 SKUPINOVÝ VODOVOD BABICKO

### 4.2.1 Historie vodovodu

Za účelem zajištění dodávky pitné vody obyvatelům v požadovaném množství a kvalitě, došlo dne 1. 12. 1992 k vytvoření *Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti "Babicko"*, kdy se členské obce zavázaly k výstavbě a provozování Skupinového vodovodu Babicko. Toto sdružení vede smíšený model provozování, je tedy zároveň vlastníkem a provozovatelem skupinového vodovodu Babicko. K samotnému uvedení do provozu

skupinového vodovodu Babicko došlo v roce 1996, od tohoto roku zásobuje pitnou vodou obyvatelstvo a podniky šesti členských obcí sdružení, jsou to následující obce: Babice (1756 obyvatel), Traplice (1148 obyvatel), Hustěnovice (1016 obyvatel), Kudlovice (950 obyvatel), Sušice (606 obyvatel) a Košíky (416 obyvatel). V roce 2007 došlo k rozšíření skupinového vodovodu Babicko do obce Jankovice (cca 480 obyvatel), tato obec však není členem sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti „Babicko“ [1][19][21][22][23][24][25][26][34].

#### 4.2.2 Popis systému zásobování obcí vodou



**Obr. 4-3 Zjednodušené schéma zásobování vodou skupinovým vodovodem Babicko**

Na území areálu řešené úpravny vody se nachází hlavní vodojem Kudlovice, který je vybudován jako zemní dvoukomorový s objemem 2 x 500 m<sup>3</sup>. Vodojem (VDJ) je navržen jako dvoukomorový z důvodu případného odstavení jedné z komor v případě nutného odstavení při opravách nebo údržbě. Maximální hladina vodojemu leží na kótě 243,50 m n. m., minimální hladina je na kótě 238,50 m n. m. Komory vodojemu leží pod úrovní terénu, aby nedocházelo k výraznějšímu kolísání teploty pitné vody ve vodojemu při letních nebo zimních měsících. Z tohoto vodojemu jsou gravitačně zásobeny obce Kudlovice, Babice a Hustěnovice [18][36].





Obr. 4-4 VDJ Kudlovice 2x 250 m<sup>3</sup> [36]

Z vodojemu Kudlovice je prostřednictvím čerpací stanice Kudlovice (ČS) voda čerpána do vodojemu Traplice. Výtlačný řad je označen jako "I" a má délku 477 m. Vodojem Traplice je také navržen jako zemní dvoukomorový, s objemem 2 x 250 m<sup>3</sup>. Maximální hladina vodojemu leží na kótě 261,00 m n. m., minimální hladina je na kótě 257,50 m n. m. Tento VDJ zajišťuje dodávku pitné vody přímo pro obce Traplice a Sušice, dále se zde nachází zásoba pitné vody pro obce Košíky a Jankovice [18][36].

Čerpací stanice Košíky leží na křižovatce na směry Jankovice a Košíky. ČS slouží k zajištění dodávky vody právě pro obce Jankovice a Košíky. Součástí ČS je akumulární nádrž o objemu 20 m<sup>3</sup>. Akumulační nádrž je gravitačně zásobena z VDJ Traplice. ČS stanice čerpá vodu výtlačným řadem do VDJ Košíky. Tento vodojem je zemní, dvoukomorový, s navrženým objemem 2 x 50 m<sup>3</sup> a slouží ke gravitačnímu zásobení stejnojmenné obce Košíky. VDJ Košíky má maximální hladinu vodojemu na kótě 325,00 m n. m., minimální hladinu na kótě 322,50 m n. m. [18][36]

Z čerpací stanice Košíky je, jak bylo zmíněno výše, ještě voda čerpána směrem na obec Jankovice do VDJ Jankovice. Tento vodojem je navržen jako všechny předešlé jako zemní, dvoukomorový, s objemem 2 x 50 m<sup>3</sup>. Maximální hladina vodojemu leží na kótě 361,55 m n. m., minimální hladina je na kótě 358,58 m n. m. VDJ Jankovice gravitačně zásobuje stejnojmennou obec Jankovice. Vodovodní síť v obci Jankovice není přímo součástí skupinového vodovodu Babicko, pouze je na něj připojena (není součástí členských obcí Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti "Babicko") [18][36].

### 4.2.3 Hospodaření sdružení

Z celkového počtu přes 6 300 obyvatel, odebírá vodu odhadem provozovatele cca 90 % obyvatel. Zbylých 10 % obyvatel má sice zavedenou vodovodní přípojku, avšak pitnou vodu odebírají ze studní [34].

Tab. 4-1 Roční čísla vody [36]

-	Jednotka	2012	2013	2014	Průměr
Voda vyrobená (VV)	[m <sup>3</sup> ]	187 914	187 325	173 881	183 040
Voda fakturovaná celkem (VFC)	[m <sup>3</sup> ]	167 479	143 920	145 625	152 341
Vlastní spotřeba (VS)	[m <sup>3</sup> ]	9 688	9 195	8 251	9 045
Ztráty vody (ZV)	[m <sup>3</sup> ]	10 747	34 210	20 005	21 654
	[%]	6	18	12	12
Voda nefakturovaná (VNF)	[m <sup>3</sup> ]	20 435	43 405	28 256	30 699
	[%]	11	23	16	17

Voda nefakturovaná (VNF) je tvořena ztrátou vody a vlastní spotřebou:

#### *Vlastní spotřeba (VS)*

- Odkalování,
- praní filtrů,
- příprava chemikálií na ÚV,
- oplach.

#### *Ztráty vody (ZV)*

- Ztráty ve vodojemech, čerpacích stanicích, distribuční síti a na přípojkách,
- neautorizované odběry,
- chyby měření [31].

V roce 2014 vykázalo Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti “Babicko“ zisk přes 428 000 Kč jak je patrné z následující tabulky [27].

Tab. 4-2 Hospodaření Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti “Babicko“ za rok 2014 [27]

Majetek	95 560 000 Kč
Příjmy	5 162 574 Kč
Výdaje	4 734 243 Kč
Zisk (Příjmy-Výdaje)	428 331 Kč

Členské obce sdružení se výraznou měrou podílely na financování výstavby skupinového vodovodu, s ohledem na tuto skutečnost je udržována cena vodného na co nejnižší možné hranici [34].

**Tab. 4-3 Porovnání vývoje cen vodného [23][34]**

Rok	2011	2012	2013	2014
Vodné [Kč]	20,48	21,80	22,68	24,50

## 5 STÁVAJÍCÍ STAV ÚPRAVNÝ VODY

Úpravna vody Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti "Babicko" byla projektována na výkon  $17 \text{ l.s}^{-1}$  [15]. Tento návrhový výkon však zcela neodpovídá současnému provozovanému výkonu úpravní vody. Původní projekt předpokládal daleko větší spotřebu vody, než jaká nakonec byla v době uvedení ÚV do provozu. V současnosti je ÚV provozována přerušovaně, přibližně 14,5 až 19,0 h denně, s výkonem kolem  $8 \text{ l.s}^{-1}$  [18] [29].

### 5.1 STÁVAJÍCÍ ZDROJE SUROVÉ VODY

S přihlédnutím k hydrogeologickému průzkumu, který byl proveden v dané oblasti v roce 1990, bylo odvrtno ve třech lokalitách, jímacích územích JÚ 1, JÚ 2 a JÚ 3, celkem pět vrtů (vodní zdroj Holešov). Z těchto vrtů byly následně vystrojeny pouze dva vrty z JÚ 1, a to HVN 4 a PVN 4, ležící v katastrálním území Kudlovice. Tyto vrty měly doporučenou vydatnost  $9 \text{ l.s}^{-1}$  resp.  $4 \text{ l.s}^{-1}$  [15] [29].

Z důvodu rostoucí spotřeby vody vlivem postupně většího množství připojených obyvatel na skupinový vodovod Babicko, se pouze dva vystrojené vrty z JÚ 1 jevíly svou vydatností jako nedostatečné. Kvůli této skutečnosti se provozovatel rozhodl rozšířit kapacitu vodních zdrojů o vrt HVN 2, nacházející se v jímacím území JÚ 2 v katastrálním území Traplice [18] [29].

Povolení k nakládání s vodami bylo vydáno pro dva jímací vrty HVN 4 a PVN 4 v JÚ 1 Městským úřadem Uherské Hradiště, odborem životního prostředí dne 20. 5. 2009, na průměrný odběr  $4,5 \text{ l.s}^{-1}$ , maximální odběr  $8,0 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $11\,900 \text{ m}^3/\text{měsíc}$ ,  $142\,800 \text{ m}^3/\text{rok}$  a má platnost do 31. 5. 2019. Povolení k nakládání s vodami pro jímací vrt HVN 2 v JÚ 2 bylo vydáno Městským úřadem Uherské Hradiště, odborem životního prostředí dne 20. 5. 2009, na průměrný odběr  $1,5 \text{ l.s}^{-1}$ , maximální odběr  $3,0 \text{ l.s}^{-1}$ ,  $3\,900 \text{ m}^3/\text{měsíc}$ ,  $46\,800 \text{ m}^3/\text{rok}$  a má platnost do 31. 5. 2019 [18].

Tab. 5-1 Základní údaje o využívaných vrtech

Označení vrtu	Katastrální území	Hloubka vrtu	Kóta zhlaví	Kóta snížené hladiny při max. odběru	Využitelná vydatnost	Max. povolený odběr	Současné odebírané množství
		[m]	[m n. m.]	[m n. m.]	[ $\text{l.s}^{-1}$ ]	[ $\text{l.s}^{-1}$ ]	[ $\text{l.s}^{-1}$ ]
HVN 4	Kudlovice	97,0	206,15	166,15	9,0	8,0	5,0
PVN 4	Kudlovice	40,5	195,52	195,52	4,0	8,0	0,0-3,0
HVN 2	Traplice	167,0	164,10	164,10	4,0	3,0	0,0-3,0

Celkem je tedy povolený průměrný odběr  $6,0 \text{ l.s}^{-1}$  a maximální povolený odběr  $11,0 \text{ l.s}^{-1}$  [18]. S rostoucí spotřebou vody v kombinaci s připojením obce Jankovice ke skupinovému vodovodu Babicko, se kapacity těchto tří vrtů blížily maximálnímu povolenému odběru, který vydal Odbor životního prostředí v Uherském Hradišti. Pro situaci, kdy dojde k poruše na nejvydatnějším jímacím vrtu HVN 4, nejsou schopné zbývající vrty PVN 4 a HVN 2 kapacitně pokrýt zvýšený odběr vody. V případě odstavení vrtu HVN 4 dokáže ÚV dodávat pitnou vodu do vodovodu v požadovaném množství pouze několik dnů, jinak hrozí poškození zvodní nadměrným odběrem surové vody [18] [29].

## 5.2 NOVÉ ZDROJE VODY

Stávající zdroje vody jsou provozovány již bez provozní rezervy a s ohledem na poměrně intenzivní rozvoj nové domovní zástavby v dané oblasti a s tím vyplívající rostoucí spotřebu vody (cca o 5 % ročně), vznikla potřeba zvýšit kapacitu skupinového vodovodu. V letech 2011(JÚ Kudlovice), 2014 (JÚ Jankovice, Sušice) a 2015 (JÚ Jankovice, Sušice) zde proběhly hydrologické průzkumy za účelem zvýšit množství využitelných zdrojů podzemních vod.

V roce 2014 proběhl hydrogeologický průzkum v jímacím území Kudlovice, jehož cílem bylo vybudování dvou posilových jímacích vrtů. Byly vybudovány dva průzkumné vrty KVN 1 a KVN 2. Je uvažováno se střídavým využíváním jednotlivých vrtů, přičemž celkový odběr ze všech jímacích objektů v JÚ Kudlovice (HVN 4, PVN 4, KVN 1 A KVN 2) zůstane stejný a to  $8 \text{ l.s}^{-1}$  (dle platného vodoprávního rozhodnutí). Při čerpací zkoušce byla ověřena vydatnost vrtu KVN 1  $3,5 \text{ l.s}^{-1}$  a vrtu KVN 2  $5,5 \text{ l.s}^{-1}$ . Bylo doporučeno volit trvalý odběr z nejvydatnějších vrtů HVN 4 a KVN 2, vrty KVN 1 a PVN 4 by sloužily jako záložní [2][13].

Jímací území Kudlovice bylo již vodárensky plně využité, z toho důvodu byl proveden v roce 2014 a 2015 nový hydrogeologický průzkum, jehož cílem bylo nalezení dalšího vhodného jímacího území k rozšíření stávajících zdrojů. Území pro průzkum bylo vybráno údolí Jankovického potoka nad Traplicemi u rozcestí na Jankovice a Košíky, poblíž dnešní čerpací stanice (vrt HVJ-1) a dále v prostoru mezi Traplicemi a Sušicemi pod stávající úpravnu vody (vrt HVS-1). V obou případech se jednalo o místa se snadnou návazností provedených průzkumných vrtů na systém zásobování vodou skupinovým vodovodem Babicko. Vrt HVJ 1 je hluboký 71,0 m, vystrojen plastovou zárubnicí průměru 200 mm, při čerpací zkoušce byla ověřena vydatnost vrtu  $2,0 \text{ l.s}^{-1}$ . Druhý vrt HVS 1 je hluboký 191,0 m, vystrojen ocelovou zárubnicí průměru 245 mm (aktivní perforovaná část od hloubky 110,5 m), při čerpací zkoušce byla ověřena vydatnost vrtu  $4,0 \text{ l.s}^{-1}$ . Průzkumné vrty lze upravit na studny a provozovat jako nové zdroje pro ÚV [11][12].

Tab. 5-2 Základní údaje o nových vrtech [2][12]

Označení vrtu	Katastrální území	Hloubka vrtu	Kóta zhlaví	Využitelná vydatnost	Max. povolený odběr	Současné odebírané množství
		[m]	[m n. m.]	[ $\text{l.s}^{-1}$ ]	[ $\text{l.s}^{-1}$ ]	[ $\text{l.s}^{-1}$ ]
KVN 1	Kudlovice	93,0	204,7	3,5	8,0	-
KVN2	Kudlovice	90,5	205,10	5,5		-
HVJ 1	Jankovice	71,0	204,98	2,0	-	-
HVS 1	Sušice	191,0	229,64	4,0	-	-

V současné době nejsou nové vrty ještě využívány, avšak jejich využití je plánováno v dohledné době.

## 5.3 SLOŽENÍ SUROVÉ VODY

Surová voda je dle Zákona č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích, voda odebraná z povrchových nebo podzemních vodních zdrojů pro účely úpravy na vodu pitnou [7]. Pitná voda je definována ve vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., jako zdravotně nezávadná voda, jejíž nezávadnost je dána hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních a chemických ukazatelů[6].

### 5.3.1 Charakteristika podzemních vod

Jak bylo zmíněno výše, zdrojem surové vody pro ÚV jsou jímací vrty, jedná se tedy o vodu podzemní, která je vhodnějším zdrojem vody než voda povrchová. Podzemní voda je lépe chráněná proti znečištění, má stálejší chemické složení a ve většině případů má vhodnější organoleptické vlastnosti. Podzemní vody mají často poměrně vyhovující kvalitu již v surovém stavu, vyžadují tedy jednodušší úpravu než vody povrchové, čímž jsou přijatelnější jak po stránce technologické, tak ekonomické [31].

Chemické složení podzemních vod je obecně odvislé od vlastností půdního a horninového prostředí a hloubky výskytu ve zvodnělém prostředí [31]. Podzemní vody jsou charakteristické vyšší koncentrací oxidu uhličitého, nulovými nebo nízkými koncentracemi organických látek, dále mívají zvýšený obsah hydrogenuhličitanů, síranů, vápníku, hořčíku, sodíku a chloridů. Zjednodušeně lze říci, že podzemní vody mají vyšší obsah rozpuštěných anorganických látek (jsou mineralizovány). Podzemní vody jsou často anoxické, mají nízký obsah koncentrace rozpuštěného kyslíku. Pokud je vysoká hladina podzemní vody, mohou být ve vodě přítomny sloučeniny dusíku a fosforu, které se zde dostávají nejčastěji průsakem z přehnojené zemědělské půdy nebo například vsakováním odpadních vod. Vyšším obsahem koncentrací kovů, především železa a manganu je charakteristická podzemní voda z hlubších zvodní. Dále se v podzemní vodě mohou vyskytovat větší koncentrace radionuklidů, zejména pak radonu. Hodnota pH podzemní vody bývá v rozmezí 5,5 - 7,5. Teplota podzemních vod se v průběhu roku na rozdíl od vody povrchové výrazně nemění, zpravidla se pohybuje od +5 do 13 °C, s rostoucí hloubkou roste i teplota podzemní vody (o 1 °C na každých 33 m) [9][31].

### 5.3.2 Jakost surové vody

Surová voda je ve vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. rozdělena podle limitních ukazatelů kvality vody do třech kategorií jakosti vody (A1, A2, A3). Pro podzemní vodu jsou důležité zejména ukazatele koncentrací železa a manganu [6]:

Tab. 5-3 Rozdělení jakosti vody dle koncentrací železa a manganu

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

Pro jednotlivé kategorie jakosti vody jsou předepsány typy úprav, které jsou vhodné pro danou kategorii, zjednodušeně:

- A1 Jednoduchá fyzikální úprava,
- A2 běžná fyzikální úprava a běžná chemická úprava,

- A3 intenzivní fyzikální a chemická úprava.

Hodnoty ukazatelů složení surové vody pro jímací vrty a směsné surové vody na ÚV jsou přehledně shrnuty v následující tabulce:

**Tab. 5-4 Vybrané ukazatele složení surové vody pro jednotlivé stávající jímací vrty [35]**

Ukazatel	Jednotka	Označení vrtu			Směsná surová voda	Limit vyhlášky č. 252/2004 Sb.
		HVN 4	PVN 4	HVN 2		
železo	mg/l	1,59	8,5	5,97	4,26	max. 0,2 MH
mangan	mg/l	0,11	0,3	0,073	0,17	max. 0,05 MH
pH	-	7,1	6,8	6,9	7,1	6,5-9,5 MH
konduktivita	mS/m	61,3	72,1	53,5	62,3	max. 125 MH
amonné ionty	mg/l	0,99	0,26	0,26	0,71	max. 0,5 MH
dusitany	mg/l	< 0,02	0,02	< 0,02	-	max. 0,5 NMH
dusičnany	mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	max. 50 NMH
Σ vápníku a hořčíku	mmol/l	1,4	3,4	2,3	-	2,0-3,5 DH
kategorie jakosti	-	A2	A3	A3	A2	

Jak je patrné z tabulky 5-4, pouze nejvydatnější zdroj vrt HVN 4 spadá do kategorie jakosti vody A2, další dva zdroje mají vyšší koncentrace železa a spadají tedy do kategorie A3. Výsledná směs surové vody ze všech třech jímacích vrtů na ÚV odpovídá kategorii A2.

**Tab. 5-5 Vybrané ukazatele složení vody pro jednotlivé nové jímací vrty [2][12]**

Ukazatel	Jednotka	Označení vrtu				Limit vyhlášky č. 252/2004 Sb.
		KVN 1	KVN 2	HVJ 1	HVS 1	
Železo	mg/l	0,87	0,73	0,06	2,01	max. 0,2 MH
Mangan	mg/l	0,09	0,19	0,06	0,11	max. 0,05 MH
pH	-	7,21	7,19	7,10	7,40	6,5-9,5 MH
konduktivita	mS/m	67,40	65,40	87,60	53,10	max. 125 MH
amonné ionty	mg/l	0,97	0,93	0,19	0,81	max. 0,5 MH
dusitany	mg/l	<0,01	<0,01	< 0,02	< 0,02	max. 0,5 NMH
dusičnany	mg/l	< 1,0	< 1,0	< 2,0	< 2,0	max. 50 NMH
Σ vápníku a hořčíku	mmol/l	0	-	4,4	1,9	2,0-3,5 DH
koliformní bakterie	KTJ/100ml	18	5	0	5	max. 0,5 MH
Kategorie jakosti	-	A2	A2	A2	A2	

Surová voda z nových vrtů má podle výsledků rozborů vody lepší složení vody než stávající využívané vrty. Patrné jsou zejména menší koncentrace železa a manganu, dále si můžeme všimnout nepatrně vyššího pH.

## 5.4 POUŽITÉ TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY

Při návrhu technologické linky úpravy vody je rozhodujícím kritériem volba počtu separačních stupňů, která je odvislá od jakosti surové vody a účelu použití upravené vody (pitná voda, voda pro speciální využití apod.). Typy úprav s ohledem na počet separačních stupňů dělíme na [31]:

- Bez separačního stupně (jednoduchá úprava vody),
- úprava vody s jednostupňovou separací,
- úprava vody s dvoustupňovou separací,
- úprava vody s vícestupňovou separací.

### *Pomocná kritéria pro volbu vhodného počtu separačních stupňů*

U podzemní vody je kritérium následující:

- $\sum Fe + Mn \geq 5mg \cdot l^{-1}$  pro ÚV s dvoustupňovou separací.

U povrchové vody je kritérium následující:

- Množství nadávkovaného koagulantu  $\geq 20 - 25mg \cdot l^{-1}$  pro ÚV s dvoustupňovou separací.

Separací rozumíme výsledné odstranění nežádoucích látek z upravované vody. Nežádoucími látkami jsou např. [10][31]:

- Přírodní látky (soli železa a manganu, radon, sloučeniny hořčíku apod.),
- látky vniklé do surové vody (dusičnany, pesticidy),
- látky přidané při úpravě vody (koagulanty, flokulanty, látky pro úpravu pH apod.).

Mezi separační procesy při úpravě pitné vody patří:

- Filtrace,
- sedimentace,
- flotace,
- mikrofiltry,
- čířiče,
- membránové filtry.

Nejpoužívanějším separačním procesem ve vodárenství je filtrace, při použití jednostupňové úpravy vody je jako separační proces vždy zvolena právě filtrace [31].

Řešená úprava vody je s ohledem na vyšší obsah rozpuštěných látek (zejména železa a manganu) v současnosti navržena jako ÚV s dvoustupňovou separací. Předúprava surové vody spočívá v intenzivní aeraci, po které je zoxidovaná voda přiváděna tangenciálně do vločkovací nádrže původně určené k alkalizaci hydroxidem vápenatým. Z vločkovacích



nádrží je voda přiváděna do akumulární nádrže, která částečně plní funkci sedimentační nádrže. Následně se upravovaná voda čerpá na první a druhý separační stupeň, kterým jsou odželezovací a odmanganovací tlakové rychlofiltry. Hygienické zabezpečení je zajištěno dávkováním chlornanu sodného do upravené vody [29].

#### 5.4.1 Stávající předúprava aerací

Surová voda se přes vodoměr a rozdělovač čerpá na dvě nerezové provzdušňovací jednotky typu Inka s výkonem  $2 \times 8-10 \text{ l.s}^{-1}$ , které mají účinnou plochu  $1 \text{ m}^2$  (jedná se o horizontální difuzorové aerační zařízení). Aerační jednotky Inka mají vyjímatelné děrované mezi-dno, pomocí kterého může probíhat snadnější čištění zařízení [29].



Obr. 5-1 Dvojice horizontálních aerátorů INKA

Vzduch dodává dvojice ventilátorů o výkonu  $700 - 800 \text{ l.s}^{-1}$ , což při současném průměrném výkonu  $8 \text{ l.s}^{-1}$ , představuje poměr vzduch : voda asi  $190 : 1$ . Doporučená hodnota tohoto poměru se však pohybuje maximálně  $100 : 1$ , protože při vyšších hodnotách poměru mezi vzduchem a vodou již dochází k úletu vody z provzdušňované vrstvy a snižuje se tím tak účinnost provzdušňování, z čehož plyne i zvyšující se energetická náročnost samotného procesu [29].

Ventilátory, jejichž chod je vázán na chod čerpadel surové vody ve vrtech, je tedy nutno na sání škrtit, aby bylo dosaženo optimálního poměru vzduch : voda. Vzduch, který projde přes tato zařízení, musí být odváděn mimo budovu ÚV. Děje se tak z důvodu, aby odvětrávané plyny znovu nepřestoupily do vody a zvýšila se tak i ochrana zdraví obsluhy úpravy [29].

## Náklady na provoz aeračních zařízení

Při uvažování průměrné ceny 3,5 Kč za kW.h, příkonu 3,0 kW (každého zařízení) a průměrného provozu 19,0 h denně obou zařízení, vychází měsíční a roční spotřeba následovně:

- 12 136 Kč měsíčně,
- 145 635 Kč ročně.

Při uvažování nepřetržitého provozu obou zařízení k následnému srovnání s budoucím návrhem pak vychází měsíční a roční spotřeba následovně:

- 15 330 Kč měsíčně,
- 183 960 Kč ročně.

### 5.4.2 Vločkovací nádrže

Původně se upravovaná voda ještě odkyselovala dávkováním hydroxidu vápenatého  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve formě vápenného mléka. Alkalizace se používá ke zvýšení pH upravované vody, které urychluje oxidaci železnatých a manganatých solí na ve vodě nerozpustné (lépe separovatelné) železité a mangančité soli. Vápenné mléko se dávkovalo pomocí dvojice pístových dávkovacích čerpadel pracujících střídavě. Dávkovací čerpadla byla připojena sériově ke dvojici PE nádrží o objemu 600 l. PE nádrže byly vybavené mechanickými míchadly s elektrickým pohonem a provozovaly se střídavě, přičemž musela být stále připravena jedna plná nádrž. Míchadla pracovala po přípravě mléka nepřetržitě, a to proto, aby se zabránilo usazování suspendovaného hydrátu. [18][29].

Provzdušněná voda se vedla gravitačně do dvou sériových míchacích nádrží. Zaústění vápenného mléka bylo do potrubí provzdušněné vody před míchací clonu umístěnou před nátokem do míchacích nádrží. Příklad do míchacích nádrží je tangenciální, což zajišťovalo dostatečné hydraulické míchání bez potřeby mechanického míchadla [29].



Obr. 5-2 Vločkovací nádrže (dříve míchací – k alkalizaci) a detail tangenciálního vtoku do nádrže

V současné době se již vápenné mléko nedávkuje, jelikož k dostatečnému odkyselení a tedy zvýšení pH dochází již po provzdušnění na aerátorech INKA. Míchací nádrže dnes plní funkci vločkovacích nádrží, kde probíhá fáze pomalé míchání provzdušněné vody a dochází zde

k vločkování (flokulaci). Po oxidaci vzdušným kyslíkem, vícemocné formy železa a manganu vytváří vločkovitou suspenzi, která vzniká srážením ve vločkovacích nádržích. Oxidace vzdušným kyslíkem probíhá podle rovnic:



Nádrže jsou provozovány střídavě, využívá se vždy jen jedna vločkovácí nádrž, druhá vločkovácí nádrž bývá odstavená za účelem očištění.

### 5.4.3 Akumulační nádrže

Z vločkovacích nádrží voda je upravovaná voda gravitačně vedena do dvou akumulacích nádrží o objemu  $2 \times 50 \text{ m}^3$ . Při uvažovaném výkonu  $8 \text{ l.s}^{-1}$  je teoretická doba zdržení vody v akumulacích nádržích přibližně 1 h a 45 min. Nádrže se plní střídavě, kdy z jedné nádrže se čerpá voda na filtr a druhá nádrž se plní. V nádržích už dochází u dna k usazování vloček  $Fe(OH)_3$ , nádrže se tedy musí pravidelně odkalovat (střídat v provozu), aby hladina usazeného kalu nedosáhla úrovně sacího koše čerpadla. Akumulační nádrže tedy částečně plní funkci usazovací nádrže. Cyklus výměny a očištění nádrží je zhruba 1 týden. Čištění odstavené nádrže probíhá oplachem tlakovou vodou a dle provozovatele je čištění poměrně komplikované [18][29].

### 5.4.4 Filtrace

V případě této úpravny vody je zde filtrace řešena tlakovými filtry ve dvou stupních. Prvním stupněm jsou tři odželezovací tlakové filtry, druhým stupněm je pětice tlakových filtrů k odmanganování.

#### *Odželezovací filtry*

V tomto prvním stupni filtrace dochází k zachycení vyvločkových suspenzí  $Fe(OH)_3$  vzniklých předešlou oxidací a případně dooxidují stávající železnaté sloučeniny ( $Fe^{2+}$ ). Tvoří ho 3 tlakové rychlofiltry TOMA FN- 10 o průměru 2 000 mm, s provozním tlakem 0,06 MPa (6 m v. sl.) [15][29]. Filtrační rychlost při výkonu ÚV  $8 \text{ l.s}^{-1}$  se pohybuje na hodnotě  $3,05 \text{ m.h}^{-1}$ .



Obr. 5-3 Jeden z odželezovacích tlakových rychlofiltrů

### *Odmanganovací filtry*

Ve druhém stupni filtrace je tvořen pěti tlakovými rychlofiltry TOMA FN- 10 o průměru 2 000 mm, s provozním tlakem 0,06 MPa (6 m v. sl.). Filtrační rychlost při výkonu  $\dot{V} 8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  se pohybuje na hodnotě  $1,8 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ . Původně se před odmanganovací rychlofiltry dávkovalo oxidační činidlo manganistan draselný ( $\text{KMnO}_4$ ), díky kterému docházelo k lepší oxidaci manganu [15][29]. V současnosti jeho použití již není nutné, jelikož obsah manganu se ve směsné surové vodě nedosahuje vysokých koncentrací a dvoustupňová filtrace odstraní požadované množství manganu, aby upravená voda vyhověla požadavkům vyhlášky č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu. Ve vyhlášce jsou stanoveny mezní hodnoty (MH) obsahu železa a manganu [4]:

- $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  železo,
- $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  mangan.

Filtrační náplň odželezovacích a odmanganovacích filtrů je filtrační písek frakce 1,8 – 2,0 mm. Výška náplně těchto filtrů je 1,4 m [15].



Obr. 5-4 Pohled na odželezovací a odmanganovací tlakové rychlofiltry

### 5.4.5 Čerpání upravované vody na rychlofiltry

Z akumulčních nádrží  $2 \times 50 \text{ m}^3$  je upravovaná voda čerpána na filtry dvojicí čerpadel (1+1) ISH (typ 80 NHD 250 25 LC 1009) a ISH (typ 125 80 NHD 250 25 LC 0101) s výkonem  $17 \text{ l.s}^{-1}$ . Provoz čerpadel probíhá střídavě, stejně jako v případě akumulčních nádrží odkud je voda čerpána. Jedno z čerpadel tedy tvoří rezervu v případě výpadku provozovaného čerpadla. Čerpané množství vody na filtry se musí přizpůsobovat čerpanému množství surové vody na ÚV, průměrně tedy  $8 \text{ l.s}^{-1}$ . Plochá charakteristika čerpadla umožňuje měnit výkon škrcením ve velkém rozsahu (až na  $5 \text{ l.s}^{-1}$ ). Ovládání čerpadel je ručně nebo automaticky, podle hladiny vody ve vodojemu ( $2 \times 500 \text{ m}^3$ ), blokování je od minimální hladiny v akumulční nádrži [15][29].

Tab. 5-6 Parametry čerpadel pro rychlofiltry

Parametr	Hodnota	Jednotka
$Q_N$	17	$\text{l.s}^{-1}$
H	22	m
P	5,1	kW
n	1450	$\text{ot.min}^{-1}$

Stálé zavodnění čerpadel je zajištěno automatickou evakuační stanicí Kunz ES – RV – 150/1, sestávající z vývěvy RV – 248 – 01 – LB, cirkulační nádrže o objemu 50 l a podtlakové nádoby s objemem 150 l. Ovládání vývěvy je ručně nebo automaticky podle hladiny vody v podtlakové nádobě [15][29].



Obr. 5-5 Dvojice čerpadel k čerpání vody na rychlofiltry

### *Náklady na čerpání předupravené vody*

Při uvažování průměrné ceny 3,5 Kč za kWh, příkonu čerpadla 5,1 kW a průměrného provozu 19,0 h denně, vychází měsíční a roční spotřeba následovně:

- 10 316 Kč měsíčně,
- 123 790 Kč ročně.

Při uvažování nepřetržitého provozu obou zařízení k následnému srovnání s budoucím návrhem pak vychází měsíční a roční spotřeba následovně:

- 13 031 Kč měsíčně,
- 156 366 Kč ročně.

### **5.4.6 Praní filtrů**

Během filtrace dochází k postupnému zahlcování náplně filtru zachycenými částicemi, čímž se zvyšuje tlaková ztráta na filtru. Růst odporu filtru se pozoruje pomocí manometrů instalovaných na manipulačních potrubích čerpané surové vody a vyčištěné vody. Obecně se přikračuje k regeneraci filtru (praní filtru) z následujících důvodů [31]:

- Překročení tlakové ztráty ve filtrační náplni,
- Překročení zákalu ve filtrované vodě,

- Překročení limitních hodnot sloučenin hliníku a železa při použití koagulantů,
- Překročení teoreticky přípustné doby filtračního cyklu.

Kritéria pro zahájení praní filtrů na řešené ÚV [15][29]:

- Tlaková ztráta max. 5 m v. sl. (5 kPa),
- obsah železa max. 0,25 mg.l<sup>-1</sup> (neodpovídá limitu na pitnou vodu 0,20 mg.l<sup>-1</sup>).

Praní filtrů se provádí vzduchem a vodou. Při praní vzduchem dochází k mechanickému otěru zrn pískové náplně. Praní vzduchem se provádí 4 min. s intenzitou 15 l.s<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>. Poté dojde k zastavení přístupu vzduchu a začíná praní vodou, na jeden filtr odpovídá množství 6 až 7 m<sup>3</sup> prací vody. Po praní vodou je regenerace filtru ukončena a dojde již jen k odvzdušnění. Zdrojem prací vody je vodojem Traplice 2 x 250 m<sup>3</sup>. Praní vodou je prováděno gravitačně s ohledem na výškový rozdíl mezi ÚV a VDJ Traplice, rozdíl mezi minimální hladinou ve vodojemu a úrovni nátoku na filtry je 16,0 m (19,5 pak v případě maximální hladiny ve VDJ). [29][18].

Jakmile dojde k ukončení procesu praní filtrů, je nutné uvést filtry do provozního stavu. Při okamžitém zahájení filtrace by filtrační náplň filtrů nebyla dostatečně usedlá a zůstávaly by v ní zbytky neodplavených nečistot. Produkovaná voda by tedy neměla požadované parametry a filtrace by nebyla zpočátku účinná. Z toho důvodu se přistupuje k tzv. *zafiltrování*, kdy filtrovaná voda je prvních 3-5 min pouštěna do odpadu [31]. V řešené ÚV se však dle provozovatele filtry uvádí do provozu ihned, bez zafiltrování.

K praní odželezovacích filtrů se přistupuje každý den, kdežto odmanganovací filtry se regenerují přibližně 6 x za měsíc. Tento rozdíl je dán hlavně vyšším obsahem železa oproti a manganu, ale i rozdílným počtem mezi odželezovacími a odmanganovacími filtry. Odpadní voda z filtrů je vedena do odsazovací kalové jímky s objemem 50 m<sup>3</sup>[18].

### ***Náklady na praní filtrů***

Při uvažování praní odželezovacích filtrů každý den, odmanganovacích filtrů 6 x za měsíc, množství 7 m<sup>3</sup> prací vody na jeden filtr a ceny vodného 24,5 Kč.m<sup>-3</sup>, vychází měsíční a roční náklady na praní následovně:

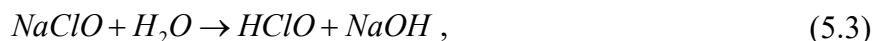
**Tab. 5-7 Náklady na praní stávajících filtrů**

	Odželezovací	Odmanganovací	Celkem
Za měsíc	15 435 Kč	5 145 Kč	20 580 Kč
Za rok	185 220 Kč	61 740 Kč	246 960 Kč

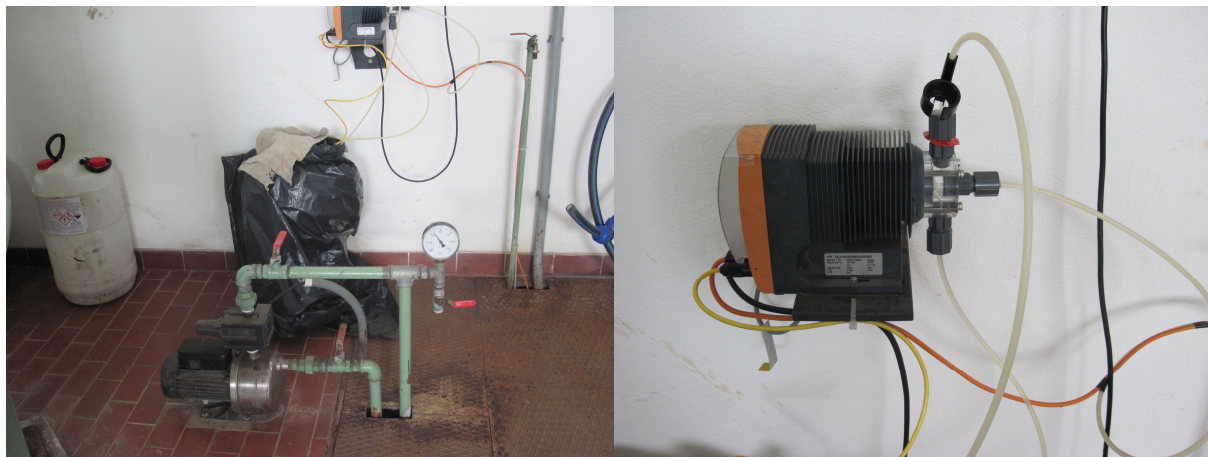
### **5.4.7 Hygienické zabezpečení**

Dříve se dezinfekce prováděla pomocí plynného chlóru dávkovaného podtlakovým chlorátorem. Plynný chlór se přiváděl do uzavřené nádrže spolu s ředící vodou, kde se rozpustil a vznikla tak chlorová voda, která se dávkovala do upravené vody [15][18][29].

V současnosti došlo k nahrazení dezinfekce plynným chlórem za dezinfekci chlornanem sodným NaClO, jehož použití je vhodnější pro úpravny menšího výkonu. Použití chlornanu sodného je méně náročné z hlediska požadavků na obsluhu. Chlornan sodný při rozpouštění vytváří kyselinu chlornou HClO (která představuje hlavní účinnou složku) a dále hydroxid sodný NaOH dle následující reakce:



Rozdíl mezi NaClO a plynným chlórem je v účinnosti, kdy plynný chlór je 7 x účinnější, z toho plyne nutná delší doba kontaktu. S použitím chlornanu sodného se také mírně zvyšuje pH vody.



**Obr. 5-6 Nádoba chlornanu sodného a dávkovací čerpadlo**

Chlornan sodný se skladuje v PVC barelech o objemu 50 l. Dávkování je prováděno pomocí dávkovacího čerpadla ProMinent GALA 1601 NPB 900. Spotřeba chlornanu sodného je cca 60 l na 5 týdnů. Koncentrace volného chlóru na nejvzdálenějším místě na síti by neměla klesnout pod hodnotu 0,05 – 0,3 mg.l<sup>-1</sup>[31][18].

Při uvažování průměrné ceny 1 150 Kč za 50 l roztoku NaClO vychází měsíční a roční náklady následovně:

- 1 104 Kč za měsíc,
- 13 248 Kč za rok.

#### **5.4.8 Akumulace upravené vody**

Po hygienickém zabezpečení se upravená voda vede do vodojemu 2 x 500 m<sup>3</sup>, který se nachází přímo v areálu ÚV. Z VDJ jsou přímo zásobeny obce Kudlovice, Babice a Hustěnovice, dále je odtud veden výtlač do VDJ Traplice 2 x 250 m<sup>3</sup>.

#### **5.4.9 Produkce a likvidace kalů**

Jak bylo zmíněno výše, voda z praní filtrů a odkalování je vedena do kalové jímky o objemu 50 m<sup>3</sup>. Zde se kal odsazuje a zahušťuje, odsazená voda je přes přepad svedena do kanalizace a teče na čistírnu odpadních vod v Traplicích. Usazený kal se vyváží fekálním vozem na ČOV V Traplicích.



## 5.5 ZHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU ÚPRAVNY POMOCÍ APLIKACE TEA WATER

S ohledem na výše popsaný stav, spadá řešená úpravná vody do kategorie C+. Podle definice zvolené metodiky se jedná o průměrné hodnocení, které nevyžaduje okamžitá řešení, avšak výhledově je vhodné objekt sledovat.

Z hlediska stavebně-technického stavu je na tom úpravná vody relativně dobře, všechny dílčí ukazatele spadají do kategorie C. Budova a její zařízení nejsou natolik stará a jejich stav se nachází v poměrně dobrém vizuálním stavu.

Celkové hodnocení technologicko-provozní části je také C, avšak vyskytují se zde ukazatele s hodnocením D, je to dáno stářím čerpadel a zařízení technologie úpravný vody. Přesto tato část má dle zvolené metodiky dobré hodnocení, vzhledem k způsobu provozu (výkonu, přerušovanému provozu) a stáří zařízení.

Objekt: ÚV Babice			
C+ [41-45%]	CELKOVÉ HODNOCENÍ		VÁHA
C	ST: STAVEBNĚ-TECHNICKÁ ČÁST (TEAT)		0,3
3	ST1	STAV STAVEBNÍ KONSTRUKCE	0,3
3	ST2	STAV TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ	0,4
3	ST3	OCHRANA OBJEKTU PROTI VNĚJŠÍM VLIVŮM	0,3
C	TP: TECHNOLOGICKO-PROVOZNÍ ČÁST (TEAP)		0,7
1	TP1	ROZSAH TECHNOLOGIE ÚPRAVY VODY	0,2
4	TP2	ČERPACÍ TECHNIKA (ČS UPRAVENÉ VODY)	0,15
4	TP3	MĚŘENÍ, MONITORING A MANIPULACE	0,1
3	TP4	SEPARAČNÍ TECHNOLOGIE	0,25
3	TP5	DALŠÍ PROCESY	0,2
3	TP6	EFEKTIVITA PROVOZU A BEZPEČNOST	0,1

Obr. 5-7 Výstup celkového hodnocení technického stavu řešené úpravný v aplikaci TEA Water

## 6 NÁVRH REKONSTRUKCE ÚPRAVNY VODY

### 6.1 DŮVODY REKONSTRUKCE

Úpravna vody slouží svému účelu podle původního návrhu s menšími obměnami už 20 let. K uvedení do provozu úpravny vody došlo v roce 1996 a rychle se ukázala předimenzovanost výkonu ÚV. V původním návrhu úpravny se uvažoval již dříve zmíněný výkon  $17 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , který počítal s rostoucí celkovou potřebou vody v důsledku potenciálního rozšiřování se plánovaného vodovodu Babicko, ale hlavně s rostoucí specifickou potřebou vody na obyvatele ( $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{obyv}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Současný výkon ÚV  $8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  je tedy výrazně pod uvažovaným výkonem úpravny. Snížení výkonu ÚV by však nebylo dostatečné a muselo se přikročit i k provozu v přerušovaném režimu úpravny. Přerušovaný provoz (v provozu 14,5 až 19,0 h denně) nevede k zajištění stálé jakosti upravené vody a optimálnímu energetickému využití ÚV.

Velká spotřeba elektrické energie společně se stářím použitých technologií a zařízení a cílem produkovat pitnou vodu o vysoké jakosti vedla provozovatele k nutnosti uvažovat nad rekonstrukcí úpravny vody.

S cílem zajistit optimální využívání stávajících vodních zdrojů a nově vytvářených zdrojů a s tím související minimalizaci možných výpadků provozu úpravny vody (v důsledku např. havárie na jednom z využívaných vrtů) se přistupuje k možnosti nutného návrhu využívání jednotlivých vrtů s ohledem na jejich kapacitu a jakost surové vody. Cílem tedy je:

- Zajistit surovou vodu v dostatečném množství,
- snížit riziko narušení provozu způsobené výpadky na jednotlivých vrtech,
- zajistit dlouhodobou vydatnost vrtů snížením čerpaného množství na jednotlivých vrtech,
- výběr čerpání z vrtů s dostatečnou kapacitou a jakostí surové vody vedoucí k směsné surové vodě o co nejlepší jakosti.

Zvýšením jakosti surové vody (zejména snížení obsahu železa a manganu) tedy dojde ke snížení energetické náročnosti celého procesu úpravy vody, například snížením četnosti praní filtrů v důsledku menšího zanášení při filtraci.

#### 6.1.1 Zhodnocení stávajících zařízení a technologií

Horizontální provzdušňovače INKA nepracují v optimálním výkonu, kdy dochází k úletům vody z provzdušňované vrstvy, a tedy ke snížení účinnosti a zejména velké spotřebě elektrické energie v důsledku nehospodárnosti provozu zařízení.

Původní míchací nádrže pro alkalizaci surové vody vápenným mlékem, v současnosti využívané k flokulaci (vločkování) oxidovaného železa a v malé míře i manganu, se nenachází v dobrém technickém stavu a dojde k jejich úplnému zrušení a nahrazení jednou akumulací nádrží, která bude provozně jednodušší.

Jedním z dalších problémů je nutnost využívání akumulacích nádrží přímo v úpravně, jejichž částečné využití k sedimentaci vytvořených vloček není vhodné z důvodu problematického čištění vytvořeného kalu na dně nádrží a zároveň i menší účinnosti při usazování vloček a stávají se spíše zbytečným článkem v celé technologické lince.

Dále je potřeba zdůraznit stáří technologií a provozovaných zařízení, zejména čerpadel a tlakových filtrů k odželezování a odmanganování surové vody, více než 20 let, které by v budoucnu mohlo způsobit časté provozní problémy.

### 6.1.2 Zaměření rekonstrukce

Vzhledem k ne hospodárnému provozu, zapříčiněným silným nadhodnocením uvažovaného výkonu úpravní vody v době jejího vzniku a stáří celé technologické linky, která od uvedení do provozu pracuje bez větších obměn a modernizace, bude diplomová práce zaměřena zejména na:

- Možnost kontinuálního provozu úpravní,
- optimální využívání vodních zdrojů,
- snížení spotřeby elektrické energie,
- nahrazení nevyhovujících horizontálních provzdušňovačů,
- zrušení vločkovacích nádrží,
- zrušení stávajících akumulacích nádrží,
- výměnu stávajících čerpadel,
- nahrazení starých odželezovacích a odmanganovacích tlakových filtrů,
- možnost využití kalové vody z praní filtrů (prací vody),
- redukci chemického způsobu hygienického zabezpečení návrhem dezinfekce pomocí fyzikální metody, a to UV zářením v UV lampách.

## 6.2 NÁVRH VÝKONU ÚPRAVNÍ VODY

Při současném výkonu úpravní 8 l.s<sup>-1</sup> a přerušovaném provozu 14,5 až 19,0 h denně dle dostupných informací od provozovatele úpravní vody vyrobí:

- 418 m<sup>3</sup> vody (14,5 h v provozu),
- 547 m<sup>3</sup> vody (19,0 h v provozu).

Méně pitné vody se vyrobí v zimních měsících, kdežto větší potřeba vody je v měsících letních.

V novém návrhu na výkon a provoz úpravní vody se uvažuje s výkonem, který by umožnil kontinuální provoz úpravní vody, po celý den, bez přerušování. Při tomto návrhu se vychází z potřeby vody v letních měsících a určitou výhledovou rezervou, kterou si přeje provozovatel z důvodu možného připojení dalších odběratelů ke skupinovému vodovodu Babicko v budoucnu.

$$WD_N = WD_A + R, \quad (6.1)$$

Kde,  $WD_N$  návrhová potřeba vody [m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>],

$WD_A$  aktuální potřeba vody při výkonu 8 l.s<sup>-1</sup> a přerušovaném provozu 19,0 h [m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>],

$R$  výhledová potřeba vody a potřeba provozní vody (25 % z  $WD_A$ ) [ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ].

Potřeba vody pak vychází  $684,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  a návrhový výkon se pak dostane ze vztahu:

$$Q_N = \frac{WD_N}{t} \cdot 1000, \quad (6.2)$$

Kde,  $Q_N$  návrhový průtok [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$WD_N$  návrhová potřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ],

$t$  doba provozu úpravní, uvažovaná 24 h denně [s],

Návrhový výkon pro nepřetržitý provoz pak vychází  $7,92 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , z důvodu zjednodušení pro provoz úpravní se bude uvažovat návrhový výkon  $Q_N = 8,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pro aktuální potřebu vody v letních měsících vychází výkon úpravní v nepřetržitém provozu přibližně  $Q = 6,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 6.3 NÁVRH OPTIMÁLNÍHO VYUŽÍVÁNÍ VODNÍCH ZDROJŮ

Jak bylo zmíněno v kap. 5.1, stávající zdroje nejsou schopné v případě odstavení nejvydatnějšího vrtu HVN 4 dodávat surovou vodu v dostatečném množství v delším časovém horizontu. S vybudováním nových vrtů se naskytá možnost optimálnějšího využití, které by vedlo k výsledné surové vodě o vyšší jakosti a vyšší zabezpečení dodávky surové vody v případě výpadku na jednom z vydatnějších zdrojů. Dle dostupné dokumentace z hydrogeologických průzkumů se nové vrty KVN 1 a KVN 2 v jímacím území Kudlovice jeví jako velmi vhodné a lze uvažovat s nahrazením namísto stávajících vrtů HVN 4 a PVN 4 z JÚ Kudlovice a vrtu HVN 2 z JÚ Traplice. Další nové vrty HVJ 1 a HVS 1 nacházející se na katastrálním území Jankovice, resp. Sušice se také jeví jako velmi vhodné s ohledem na vydatnost a provedené rozbory složení surové vody z těchto vrtů.

Pro návrhový výkon  $8,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  byly vytvořeny dvě varianty možných kombinací využívání vrtů. Hlavní ohled byl brán na jakost surové vody a čerpané množství z vrtu. Omezující podmínkou bylo celkové odebírané množství z jímacího území Kudlovice, které dle platného vodoprávního rozhodnutí nesmí překročit  $8,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Výsledné koncentrace byly řešeny pomocí směšovací rovnice:

$$c_c = \frac{\sum q_i \cdot c_i}{q_c}, \quad (6.3)$$

Kde,  $c_c$  výsledná koncentrace surové vody [ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ],

$c_i$  koncentrace dané látky z  $i$ -tého zdroje [ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ],

$q_c$  celkové čerpané množství ze všech vrtů [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$q_i$  čerpané množství z  $i$ -tého zdroje [ $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Vzhledem ke stávající potřebě vody, která je nižší než návrhový výkon úpravní  $Q_N=8,0 \text{ l.s}^{-1}$ , uvádím i návrh využívání vodních zdrojů pro výkon úpravní vody  $Q_N=6,5 \text{ l.s}^{-1}$ , který odpovídá stávajícímu výkonu ÚV.

### 6.3.1 Varianta A využívání vodních zdrojů

Ve variantě A je uvažováno zachování důležitosti vrtu HVN 4, který je ze všech vrtů nejvydatnější, avšak jakost odebírané vody není z hlediska obsahu železa a manganu ideální. Tuto nevýhodu vyrovnávají další vrty jejichž jakost vody je naopak velmi dobrá. V případě výpadku na nejvydatnějším vrtu HVN 4 je možnost zvýšit čerpané množství na dalších vrtech nebo případně jej nahradit vrtem KVN 2, který má velmi dobré složení surové vody a dostatečnou vydatnost (až  $5,5 \text{ l.s}^{-1}$ ).

Tab. 6-1 Varianta A možnosti kombinování čerpaného množství z jednotlivých vrtů

Ukazatel	Jednotka	Označení vrtu			směsná surová voda	Limit vyhlášky č. 252/2004 Sb
		HVJ 1	KVN 1	HVN 4		
odebírané množství	l/s	1,5	3,0	3,5	8,0	-
železo	mg/l	0,06	0,87	1,59	1,03	max. 0,2 MH
mangan	mg/l	0,06	0,09	0,11	0,09	max. 0,05 MH
pH	-	7,10	7,21	7,1	7,14	6,5-9,5 MH
konduktivita	mS/m	87,60	67,40	61,3	68,52	max. 125 MH
amonné ionty	mg/l	0,19	0,97	0,99	0,83	max. 0,5 MH
dusitany	mg/l	< 0,02	<0,01	< 0,02	< 0,02	max. 0,5 NMH
dusičnany	mg/l	< 2,0	< 1,0	< 2,0	< 2,0	max. 50 NMH
$\Sigma$ vápníku a hořčíku	mmol/l	4,4	0	1,4	-	2,0-3,5 DH

### 6.3.2 Varianta B využívání vodních zdrojů

Při variantě B je uvažováno využití zejména vrtu KVN 2, jenž svou vydatností i s rezervou (nevyužití max. vydatnosti) pokrývá velkou část požadovaného množství surové vody pro potřeby úpravní vody. Vrt KVN 2 disponuje i surovou vodou o větší jakosti, a tak v kombinaci s dalšími vrty, zejména vrtem KVN 1, má směsná surová voda menší koncentrace železa a manganu než varianta A. V případě výpadku v této variantě nejvyužívanějšího vrtu KVN 2 je možnost zvýšit odběr z vrtů HVJ 1 a KVN 1 a zapojit vrt HVN 4 nebo začít čerpat z vrtu HVS 1, který má o něco horší složení surové vody. Při této variantě jsou cíleně u všech vrtů odebíraná množství surové vody menší než maximální možná vydatnost. Tím je zajištěna konstantní požadovaná vydatnost v dlouhodobém měřítku.

Tab. 6-2 Varianta B možnosti kombinování čerpaného množství z jednotlivých vrtů

Ukazatel	Jednotka	Označení vrtu			směsná surová voda	Limit vyhlášky č. 252/2004 Sb
		HVJ 1	KVN 1	KVN 2		
odebírané množství	l/s	1,5	3,0	3,5	8,0	-
železo	mg/l	0,06	0,87	0,73	0,66	max. 0,2 MH
mangan	mg/l	0,06	0,09	0,19	0,13	max. 0,05 MH
pH	-	7,10	7,21	7,19	7,18	6,5-9,5 MH
konduktivita	mS/m	87,60	67,40	65,40	70,31	max. 125 MH
amonné ionty	mg/l	0,19	0,97	0,93	0,81	max. 0,5 MH
dusitany	mg/l	< 0,02	<0,01	<0,01	< 0,02	max. 0,5 NMH
dusičnany	mg/l	< 2,0	< 1,0	< 1,0	< 2,0	max. 50 NMH
Σ vápníku a hořčíku	mmol/l	4,4	0	-	-	2,0-3,5 DH

Nově zbudovaný vrt HVS 1 bude sloužit jako rezervní, pro případ, kdy je znemožněno čerpat z nejvydatnějších vrtů KVN 2 a HVN 4.

Doposud využívané vrty PVN 4 a HVN 2 z jímacího území Kudlovice je doporučeno již nadále nevyužívat. Tyto vrty nedisponují na základě rozborů složení vody požadující jakosti surové vody. Oba zdroje se dají s ohledem na koncentrace železa a manganu zařadit do jakostní kategorie A3, dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. Proto doporučuji je využívat pouze v případě nečekaného výpadku na více vrtech. S tím souvisí nutnost zvýšeného sledování průběhu a účinnosti procesů při úpravě surové vody a výsledné jakosti upravené vody na odtoku z ÚV do vodojemu Kudlovice v areálu úpravny.

### 6.3.3 Možnosti využívání vodních zdrojů při stávající potřebě vody

Pro výkon úpravny  $Q_N=6,5 \text{ l.s}^{-1}$ , se jeví z hlediska jakosti surové vody využívání nových vrtů HVJ 1 z jímacího území Jankovice a vrtu KVN 2 z jímacího území Kudlovice, které jsou schopny svou vydatností pokrýt potřebu vody pro úpravnu. V případě výpadku na vydatnějším vrtu KVN 2 je možnost nahradit jej vrtem HVN 4 z JÚ Kudlovice, který má také velkou vydatnost, ale o něco horší složení z hlediska obsahu železa a manganu. V případě záměrného nevyužití vrtu HVN 4 se může pokrýt výpadek na vrtu KVN 2 čerpáním vody z vrtů HVJ 1 a KVN 1.

Tab. 6-3 Možnost využívání vrtů pro výkon úpravní odpovídající stávající potřebě vody

Ukazatel	Jednotka	Označení vrtu		směsná surová voda	Limit vyhlášky č. 252/2004 Sb
		HVJ 1	KVN 2		
odebírané množství	l/s	2,0	4,5	6,5	-
Železo	mg/l	0,06	0,73	0,52	max. 0,2 MH
Mangan	mg/l	0,06	0,19	0,15	max. 0,05 MH
pH	-	7,10	7,19	7,16	6,5-9,5 MH
konduktivita	mS/m	87,60	65,40	72,23	max. 125 MH
amonné ionty	mg/l	0,19	0,93	0,70	max. 0,5 MH
dusitany	mg/l	< 0,02	<0,01	< 0,02	max. 0,5 NMH
dusičnany	mg/l	< 2,0	< 1,0	< 2,0	max. 50 NMH
Σ vápníku a hořčíku	mmol/l	4,4	-	-	2,0-3,5 DH

## 6.4 NÁVRH PŘÍVODU SUROVÉ VODY NA ÚPRAVNU

Nové vrty z jímacího území Kudlovice (KVN 1 a KVN 2) budou napojeny na dosavadní přívodní potrubí DN 150 mm hned v místě umístění vrtů. Další nové vrty HVJ 1 z JÚ Jankovice a vrt HVS 1 z JÚ Sušice budou napojeny na přívodní potrubí z jímacího území Kudlovice ve spojné šachtě (dimenze těchto nových výtlačných přívodních řadů surové vody nebyla v době vypracování diplomové práce známa).

Tato šachta bude umístěna v areálu úpravní vody, před vraty do haly úpravní, v místě, kde vede stávající přívodní výtlačné potrubí z JÚ Kudlovice, tak aby bylo stávající přívodní potrubí z JÚ Kudlovice maximálně využito. Ve spojné šachtě bude každé potrubí osazeno šoupětem k odstavení přívodu surové vody z jednotlivých výtlačných větví v případě odstavení nebo v případě aktuálního nevyužívání daného vrtu k čerpání surové vody. Za napojením přívodních potrubí z vrtů HVJ 1 a HVS 1 bude přívodní potrubí směsné surové vody zredukováno z DN 150 mm na DN 100 mm.

Spojná šachta bude osazena vstupním otvorem s poklopem o rozměrech 600 x 600 mm, dále bude šachta osazena ocelovými pogumovanými stupadly umožňujícími přístup do šachty. K zamezení vniku nepovolaných osob a zajištění bezpečnosti bude poklop zabezpečen proti vniknutí.

## 6.5 VOLBA POČTU SEPARAČNÍCH STUPŇŮ

Jak bylo uvedeno v kap. 5.4, o volbě počtu separačních stupňů při úpravě podzemní vody rozhodují zejména koncentrace železa manganu. Při navrženém využívání vodních zdrojů, uvedeném v kap. 6.3, dojde pomocí nových vrtů s lepšími rozbory složení vody ke zvýšení jakosti surové vody.

Varianta A využívání vodních zdrojů:

$$\sum Fe + Mn = 1,12 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$$

Varianta B využívání vodních zdrojů:

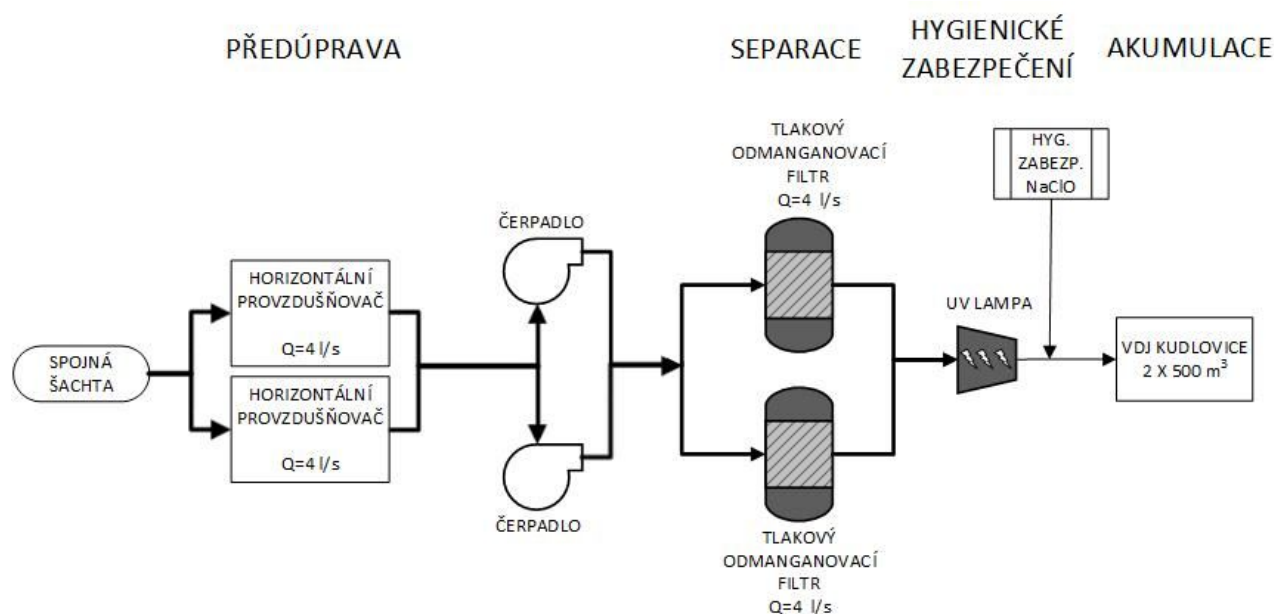
$$\sum Fe + Mn = 0,79 mg \cdot l^{-1}$$

Jak je patrné, pro obě vytvořené varianty nepřesahuje součet koncentrací železa a manganu hodnotu  $5 mg \cdot l^{-1}$ , která je brána jako pomocná doporučená hranice při rozhodování mezi jednostupňovou separací a dvoustupňovou separací. S přihlédnutím k celkově velmi dobré jakosti surové vody, bude tato úpravná navržena pouze s jedním separačním stupněm.

## 6.6 NÁVRH TECHNOLOGICKÉ LINKY

Při návrhu jednotlivých technologických procesů a postupů při úpravě surové vody vycházím ze zapojení nových vrtů k jímání podzemní vody. Směsná surová voda bude přiváděna do haly úpravny vody potrubím DN 100 mm ze spojné šachty, v místě snížené podlahy bude potrubí zredukováno na DN 50 mm a osazeno uzavírací klapkou, za uzavírací armaturou se bude nacházet indukční průtokoměr. V celé hale budou v místě snížené podlahy položeny pochůzná rošty z kompozitních materiálů.

Za indukčním průtokoměrem se potrubí rozdělí a bude přivádět surovou vodu, potrubím DN 80 mm, k předúpravě intenzivní aerací na dvojici horizontálních provzdušňovačů s upraveným výkonem na  $4 l \cdot s^{-1}$ . Provzdušněním se surová voda odkyslí (zbaví se přebytečného volného  $CO_2$ ), případně se zbaví nežádoucích přebytečných plynů, a hlavně dojde k obohacení vody kyslíkem  $O_2$  a následné oxidaci železa a částečně manganu na vyšší mocnosti.



Obr. 6-1 Zjednodušené schéma návrhu technologické linky ÚV

Dvojice horizontálních provzdušňovačů bude posazena na ocelovém rámu, pod kterým se bude nacházet plastová nebo nerezová akumulární nádrž o objemu  $3,8 m^3$ . Nádrž bude sloužit k akumulaci provzdušněné vody s dobou zdržení 8 min. Nádrž bude vystrojena bezpečnostním přelivem DN 100 mm ve výšce 100 mm nad úroveň uvažované hladiny v nádrži. Stávající akumulární nádrže byly problematické a jejich částečné použití jako sedimentační nádrž bylo provozně nevhodné, z toho důvodu nebudou nadále využívány a



dojde k jejich zrušení. Dále dojde ke zrušení vložkových nádrží, původně určených pro míchání vápenného mléka.

Provzdušněná surová voda bude odváděna z nádrže potrubím DN 125 mm. Osa potrubí bude ležet na úrovni 240,30 m n. m. (300 mm od úrovně podlahy). Při dimenzi potrubí DN 125 mm je zajištěna rychlost okolo  $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Následně bude voda čerpána horizontálním odstředivým čerpadlem na tlakové filtry. Čerpadla budou dvě, s paralelním zapojením, přičemž v provozu se budou čerpadla cyklicky střídát, tedy druhé momentálně nepoužívané čerpadlo bude sloužit jako 100% rezerva.

Jak je patrné z obrázku 6-1, předupravená voda je čerpadly hnána na dvojici tlakových odmanganovacích filtrů, které budou jediným separačním stupněm na této úpravně. Odmanganovací filtry, každý s návrhovým výkonem  $4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , zachytí vyvločkové suspenze hydroxidu železitého  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  vzniklého předešlou oxidací při aeraci. Dále se zachytí již částečně zoxidovaný mangan, jehož oxidace byla po provzdušnění podpořena oxidačním činidlem ve formě chlornanu sodného  $\text{NaClO}$ . Mangan dooxiduje do separovatelných forem (hydratované oxidy a hydroxidy manganu vyšších oxidačních stupňů než  $\text{Mn}^{2+}$ ) při průchodu vrstvou manganicité náplně filtru, kdy dochází k tzv. kontaktní filtraci [10] [41]. Jako zdroj prací vody bude využit vodojem Traplice  $2 \times 250 \text{ m}^3$ . Praní vodou tak bude prováděno částečně gravitačně díky využití výškového rozdílu mezi ÚV a VDJ Traplice (rozdíl mezi minimální hladinou ve vodojemu a úrovni nátoky prací vody do filtrů je 16,13 m, rozdíl mezi maximální hladinou ve vodojemu a úrovni nátoky prací vody do filtrů je 19,63 m) a pomocí zrychlovacího čerpadla k vytvoření potřebného minimálního tlaku pro praní filtru (čerpadlo bude zvyšovat tlak na minimální potřebnou hladinu – 0,2 MPa).

Po průchodu filtrem je nutno již vyčištěnou vodu hygienicky zabezpečit a usmrtit tak možné viry a choroboplodné zárodky a zamezit jejich opětovnému vzniku v místě spotřeby pitné vody. Dezinfekce bude dvoustupňová – kombinace UV záření a  $\text{NaClO}$ . UV lampa bude instalována hned za výtokem vyčištěné vody z každého filtru. UV lampa bude napojena na obtokovém potrubí, aby v případě poruchy/odstavení UV lampy nedošlo k přerušení produkce pitné vody. Po průchodu UV lampou bude vyčištěná a dezinfikovaná voda napojena na společné potrubí DN 100 mm a svedena na úroveň snížené podlahy. Následně bude do potrubí dávkován chlornan sodný  $\text{NaClO}$  z důvodu zajištění dezinfekčního rezidua i na nejvzdálenějším místě na vodovodní síti [31].

Na odtoku z úpravny vody bude na potrubí s vyčištěnou vodou instalován indukční průtokoměr DN 50 mm. Za indukčním průtokoměrem bude nové potrubí DN 100 mm napojeno na současné potrubí DN 150 mm. Upravená pitná voda je akumulována ve VDJ  $2 \times 500 \text{ m}^3$ .

Odpadní voda z bezpečnostního přelivu provzdušňovačů, čištění akumulární nádrže a z praní filtrů bude svedena do kanalizace.

### 6.6.1 Návrh způsobu aerace surové vody

Pro aeraci surové vody bylo zvoleno použití horizontálních provzdušňovačů (viz kap.2.5.1). Pro návrhový průtok  $8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  bylo uvažováno s následujícími variantami provzdušňovačů:

- HPV 4, příkon 1,5 kW
  - Cena 98 800 Kč/ks
- BUBLA 5, příkon 2,2 kW

- Cena 135 000 Kč/ks

### ***Porovnání nákladů na provoz zařízení***

Při uvažování průměrné ceny 3,5 Kč za kWh a nepřetržitém provozu obou zařízení, vychází měsíční a roční spotřeba následovně:

- HPV 4
  - 7 665 Kč měsíčně,
  - 91 980 Kč ročně.
- BUBLA 5
  - 11 242 Kč měsíčně,
  - 134 904 Kč ročně.

### ***Volba typu horizontálního provzdušňovače***

Při volbě konkrétního typu byla zohledněna hlavně pořizovací cena a provozní náklady, vzhledem k faktu, že se jedná o konstrukčně velmi podobná zařízení.

Navrhuje se použití dvojice horizontálních provzdušňovačů HPV 4. Jedná se o provzdušňovače s výkonem nastaveným na  $4 \text{ l.s}^{-1}$ , s možností zvýšení (ale i snížení) výkonu každého zařízení na  $5 \text{ l.s}^{-1}$  (tedy výhledově zvednout výkon úpravny až na  $10 \text{ l.s}^{-1}$ ). Při projektovaném výkonu  $8 \text{ l.s}^{-1}$  poběží oba provzdušňovače současně. Oba provzdušňovače budou ležet na akumulární nádrži.

Zařízení se skládá z tělesa provzdušňovače, do kterého přitéká surová voda, ta následně protéká přes aerační rošt, pod který je vysokotlakým ventilátorem dodáván vzduch, jenž vodu provzdušňuje. Odpadní vzduch je odváděn potrubím ven z haly úpravny. Souběžně s potrubím odvádějícím vzduch je vedeno potrubí sání vzduchu do ventilátoru. Konce obou potrubí budou směřovány od sebe, tak aby se předcházelo nasátí odvedeného vzduchu z aerátoru a jeho opětovnému použití. Průtok vzduchu a tlak je možné regulovat frekvenčním měničem na ventilátoru.

**Tab. 6-4 Parametry ventilátoru**

Parametr	Hodnota	Jednotka
Průtok vzduchu	300 - 500	$\text{l.s}^{-1}$
Tlak	2 000 - 2 500	Pa
Příkon	1 500	W

Konstrukce těchto zařízení je vyrobena z části z polypropylenu a z části z nerez. Konstrukce je přizpůsobena ke snadnému čištění vnitřních částí a perforovaného mezidna. Celková hmotnost jednoho zařízení je 200 Kg.

### ***Akumulace provzdušněné vody***

Za účelem vyrovnání přítoku a odtoku surové vody z horizontálních provzdušňovačů je navrženo použití plastové akumulární nádrže, která bude umístěna pod dvojicí provzdušňovačů. Akumulární nádrž bude mít dobu zdržení 8 min a objem  $3,8 \text{ m}^3$ . Akumulární nádrž bude osazena:

- Bezpeč. přelivem DN 100 mm, 100 mm nad úrovní max. hl. v nádrži (240,9 m n. m.).
- Odběrným potrubím se sacím košem, DN 125 mm (240,3 m n. m.).
- Odkalovacím potrubím u dna nádrže, DN 100 mm (240,1 m n. m.).

Odtok z nádrže sloužící k odkalení, bude realizován u dna, aby bylo možné snadné čištění nádrže tlakovou vodou v případě potřeby. Na výtoku z nádrže bude odkalovací potrubí osazeno uzavírací mezipřírubovou klapkou. Na odkalovací potrubí DN 100 mm bude napojeno i potrubí bezpečnostního přelivu. Bezpečnostní přeliv bude napojen odkalovací potrubí až za uzavírací armaturou, aby byl umožněn odtok vody z nádrže za jakékoliv situace.

### 6.6.2 Čerpání provzdušněné vody na tlakové filtry

Z akumulární nádrže je voda vedena potrubím, které je výškově umístěné 300 mm nad úrovní podlahy v hale úpravny. Při dimenzi odběrného potrubí DN 125 mm je rychlost v potrubí  $v = 0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , při které by nemělo docházet k rozrušení vločkovité suspenze vysráženého železa vzniklého oxidací po aeraci.

Před tlakovými filtry se nachází dvojice paralelně zapojených čerpadel, jejichž umístění bude totožné se současným umístěním, jedno čerpadlo bude ležet na podlaze haly úpravny, druhé čerpadlo bude ležet na současném betonovém bloku. V provozu bude vždy jen jedno z čerpadel a v provozu se budou střídát, tak aby nedocházelo k tzv. zatvrdnutí čerpadel vlivem usazenin apod. Společné potrubí DN 125 mm za čerpadly vede na úroveň snížené podlahy, aby potrubí co nejméně omezovalo pochůzný prostor v hale.

#### *Návrh čerpadel pro tlakové filtry*

Navrhuje se dvojice čerpadel GRUNDFOS CR 45-1-1, jedná se o vertikální článkové odstředivé čerpadlo v provedení in-line. Tato konstrukce umožňuje instalaci čerpadla v horizontální jednotrubkové soustavě se sacím a výtlačným hrdlem v jedné horizontální rovině. Čerpadlo je vybaveno frekvenčním měničem, umožňuje tedy změnu otáček a výkonu čerpadla [54].

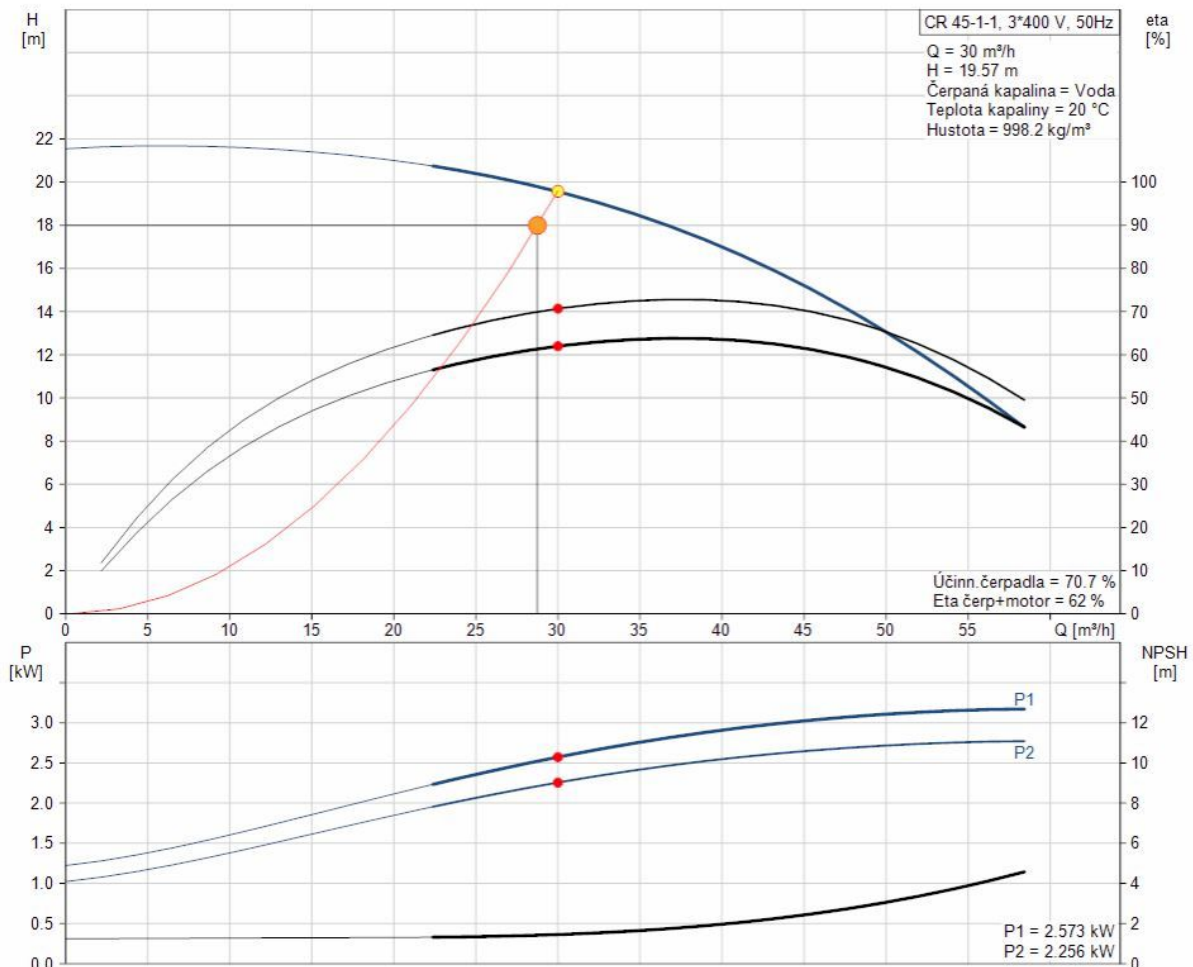


Obr. 6-2 Čerpadlo Grundfos CR 45-1-1 [54]

Návrhové parametry čerpadla:

- průtok  $28,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dopravní výška výpočtem určená na  $21,0 \text{ m}$ .

Při výpočtu dopravní výšky byly uvažovány ztráty třením po délce, místní ztráty, ztráta na objektech, geodetická dopravní výška (upravená voda se čerpá do vodojemu Kudlovice), zajištění minimálního tlaku  $0,05 \text{ MPa}$  ( $15 \text{ m v. sl.}$ ) na filtrech a bezpečnostní rezerva.



Obr. 6-3 Charakteristické křivky čerpadla CR 45-1-1 [54]

Z obr. 6-3 vyplývá, že navržené čerpadlo při průtoku  $28,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  má dopravní výšku  $19,9 \text{ m}$ , která zajišťuje tlak přímo na filtrech přibližně  $0,19 \text{ MPa}$  (vlivem ztrát).

Příkon čerpadla je  $3,0 \text{ kW}$ , oproti tomu stávající čerpadla mají příkon  $5,1 \text{ kW}$ , dojde tedy k snížení spotřeby el. energie na čerpání vody na tlakové filtry. Hrdlo na sání i výtlačku je DN 80.

### *Náklady na provoz zařízení*

Při uvažování průměrné ceny  $3,5 \text{ Kč}$  za  $\text{kWh}$ , příkonu  $3,0 \text{ kW}$  a nepřetržitém provozu obou zařízení, vychází měsíční a roční spotřeba následovně:

- $7\,665 \text{ Kč}$  měsíčně,

- 91 980 Kč ročně.

Před čerpadly budou na potrubí osazeny mezipřírubové klapky k odstavení aktuálně odstaveného (rezervního) čerpadla. Hned za čerpadly budou zpětné klapky zamezující zpětnému toku vody do čerpadla, a tedy možnému poškození čerpadla. Za zpětnými klapkami budou osazeny mezipřírubové klapky pro případ odstavení celého úseku mezi nátokem do čerpadla a výtokem z čerpadla (např. pro případ výměny čerpadla). Stálé zavodnění čerpadel a konstantní průtok na čerpadla je zaručen pomocí akumulární nádrže umístěné za provzdušněním surové vody.

### 6.6.3 Návrh tlakových filtrů

Jediným separačním stupněm na této úpravně bude jednostupňová filtrace na dvojici tlakových odmanganovacích filtrů TVK 130. Tyto filtry budou zapojeny paralelně, každý s návrhovým výkonem  $4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $14,4 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ), filtrační rychlostí  $10,8 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$  a automatickým provedením.

Tab. 6-5 Rozměry a parametry tlakového filtru TVK 130

Typ	Průměr	Rozměry š/h/v	Napojení DN	Výkon min - max
	[mm]	[mm]	[mm]	[ $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ]
TVK 130	1300	1400/1550/2200	65	10,61 - 26,53

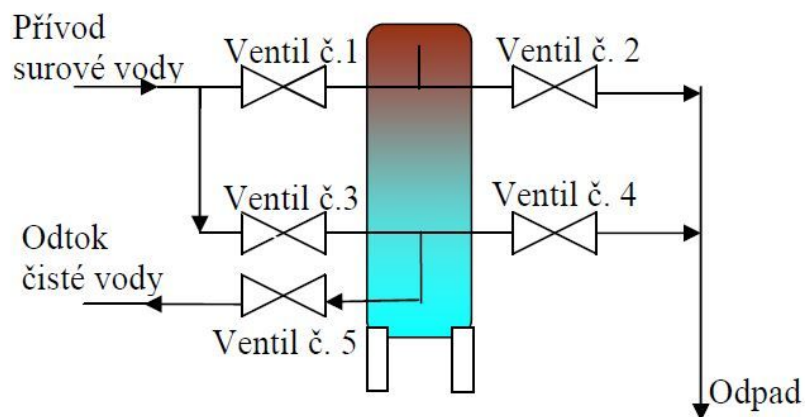
Filtr pracuje v tlakovém režimu, minimální operativní tlak je  $0,15 \text{ MPa}$  a maximální tlak je  $0,6 \text{ MPa}$ . Maximální udávaná tlaková ztráta je  $0,05 \text{ MPa}$ . Materiál tlakových filtrů je kvalitní nerezová ocel, s povrchovou úpravou balotínováním, zaručující dlouhou životnost. Filtry budou umístěny na rovné podlaze s dostatečným prostorem pro obsluhu zařízení, viz příloha č. 7. Filtry mají dva plnicí otvory, jeden na vrchním víku, druhý v plášti filtru nad spodním dnem. Automatické provedení těchto filtrů spočívá v řídicí jednotce, která minimalizuje nutné zásahy do provozu. Dále je součástí bezolejový kompresor tlakového vzduchu k ovládní armatur.

Obsluha kontroluje:

- Napojení řídicí jednotky na přívod el. Energie (příkon  $15 \text{ W}$ ),
- zda probíhá cyklus praní filtru v nastaveném čase,
- tlakovou ztrátu na manometrech (viz kap. 6.6.5),
- napojení kompresoru na přívod el. energie a jeho činnost,
- odebrání vzorků na kontrolu zákalu upravené vody.

#### Zapojení filtrů

Přívodní potrubí vedené za čerpadly v úrovni snížené podlahy je před tlakovými filtry výškově vyvedeno na úroveň nátoku do tlakových filtrů a větví se (paralelní zapojení filtrů). Pro případ odstavení jednoho z dvojice filtrů (např. při praní filtru) jsou v místě rozdělení potrubí na každé větvi osazeny mezipřírubové klapky. Všechny ventily a klapky na filtru jsou ovládány automaticky pomocí tlakového vzduchu z kompresoru (pneumaticky). Za výtokem upravené vody je odběrná armatura pro odběr vzorků. Odpadní potrubí z jednotlivých filtrů se spojuje a je zaústěno do odpadního potrubí DN  $100 \text{ mm}$  z bezpečnostního přelivu akumulární nádrže. Zapojení filtrů je ilustrováno na Obr. 6-4.



Obr. 6-4 Schématické znázornění zapojení filtru TVK

<b>Filtrace</b> – otevřen ventil č. 1 a č. 5	zavřen ventil č. 2, č. 3, č. 4
<b>Praní</b> – otevřen ventil č. 2 a č. 3	zavřen ventil č. 1, č. 4, č. 5
<b>Zapírání</b> – otevřen ventil č. 1 a č. 4	zavřen ventil č. 2, č. 3, č. 5

#### 6.6.4 Návrh filtrační vrstvy

Za účelem odstranění železa a manganu je nutná vhodná volba filtračního média. Po provzdušnění se již vyvločkované suspenze železa běžně zachytí na klasickém preparovaném filtračním písku. K separaci manganu se využívá kontaktní filtrace popsaná v kapitole 0. Tlakový filtr vyžaduje použití dvou vrstev, horní a dolní, přičemž spodní vrstva slouží jako podložní a zachycení zbytku nežádoucích látek, horní vrstva slouží ke kontaktní filtraci (odmanganování). Obě vrstvy jsou trvalé a není nutná jejich obměna, pouze u horní filtrační vrstvy je nutná regenerace náplně, resp. její oxidační kapacity (např. pomocí roztoku manganistanu draselného). Při návrhu dvouvrstvého filtru je základním pravidlem použití filtračních hmot s rozdílnou objemovou hmotností. Při praní filtru dochází k promísení filtrační hmoty ze spodní vrstvy do horní, při výraznějším rozdílu objemových hmotností je tedy zaručeno opětovné správné uspořádání [42][33].

##### *Horní vrstva*

Pro materiál filtrační náplně v horní vrstvě byl zvolen materiál MTM. Jedná se o granulovaný oxid manganický  $MnO_2$  tmavě hnědé barvy používaný k redukci železa, manganu a sulfanu ve vodě. Jeho aktivní povrch oxiduje rozpuštěné železo a mangan. MTM je možné použít pro vody s pH 6,2 - 8,5 a voda nemusí obsahovat rozpuštěný kyslík. Po vyčerpání oxidační kapacity je třeba materiál oxidovat manganistanem draselným  $KMnO_4$ . Provoz filtru a jeho oxidační činnost se na vzduchu snižují a může dojít i k jeho zabarvení. Manganistan draselný může být i předávkován k udržení potřebné kapacity materiálu. Malá hmotnost tohoto materiálu redukuje množství potřebné prací vody [3].

**Tab. 6-6 Základní parametry filtrační náplně MTM [43][40]**

parametr	hodnota	jednotka
specifická hmotnost	2 000	kg/m <sup>3</sup>
objemová hmotnost	715	kg/m <sup>3</sup>
kapacita na litr náplně	1,4 g Fe nebo 0,7 g Mn	
provozní průtok	8 - 13	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
průtok při vymývání	20 - 24	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>

Horní filtrační vrstva s materiálem MTM se navrhuje ve výšce 600 mm.

### ***Spodní vrstva***

Spodní vrstva bude tvořena vodárenským tříděným pískem Dorsilit, 2. třídy o zrnitosti 0,71 - 1,25 mm. Objemová hmotnost tohoto materiálu je 1600 kg.m<sup>-3</sup>. Tato spodní filtrační vrstva se navrhuje ve výšce 600 mm.

### **6.6.5 Praní filtrů**

Jak bylo zmíněno v kap. 5.4.6, během filtrace dochází k postupnému zahlcování náplně filtru zachycenými částicemi. Růst odporu filtru (zvyšování tlakové ztráty) se pozoruje pomocí manometrů umístěných na vstupním potrubí a výstupním potrubí. Četnost praní lze nastavit na ovládacím panelu filtru (nejmenší dovolená prodleva mezi pracími cykly jsou 2 h), přičemž pro poloprovozní zkoušky je počáteční četnost praní stanovena každých 24 hodin. Přesnější stanovení pracího cyklu bude určeno na základě poloprovozních zkoušek a sledování následujících ukazatelů:

- Překročení tlakové ztráty ve filtrační náplni.
  - $P > 7 \text{ kPa}$
- Překročení limitního zákalu podle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. [4].
  - $ZF(t,n) > 5$
- Překročení limitního množství železa nebo manganu podle Vyhlášky č. 252/2004 Sb.[4].
  - $Fe > 0,2 \text{ mg.l}^{-1}$
  - $Mn > 0,05 \text{ mg.l}^{-1}$

V případě rozdílu tlaků větším než 7 kPa (7 m v. sl.) je nutné provést praní filtru i mimo stanovenou dobu, jinak je ohrožena správná filtrační schopnost filtru. Doba praní filtru je předběžně uvažována na 12 min. Intenzita praní by se měla pohybovat v rozmezí 20 až 24 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, což odpovídá průtoku 26,5 až 31,9 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Spotřeba prací vody pro jeden filtr pak činí 5,3 až 6,4 m<sup>3</sup> v závislosti na zvoleném průtoku. Doba praní filtru a její průtok bude upraven poloprovozními zkouškami.

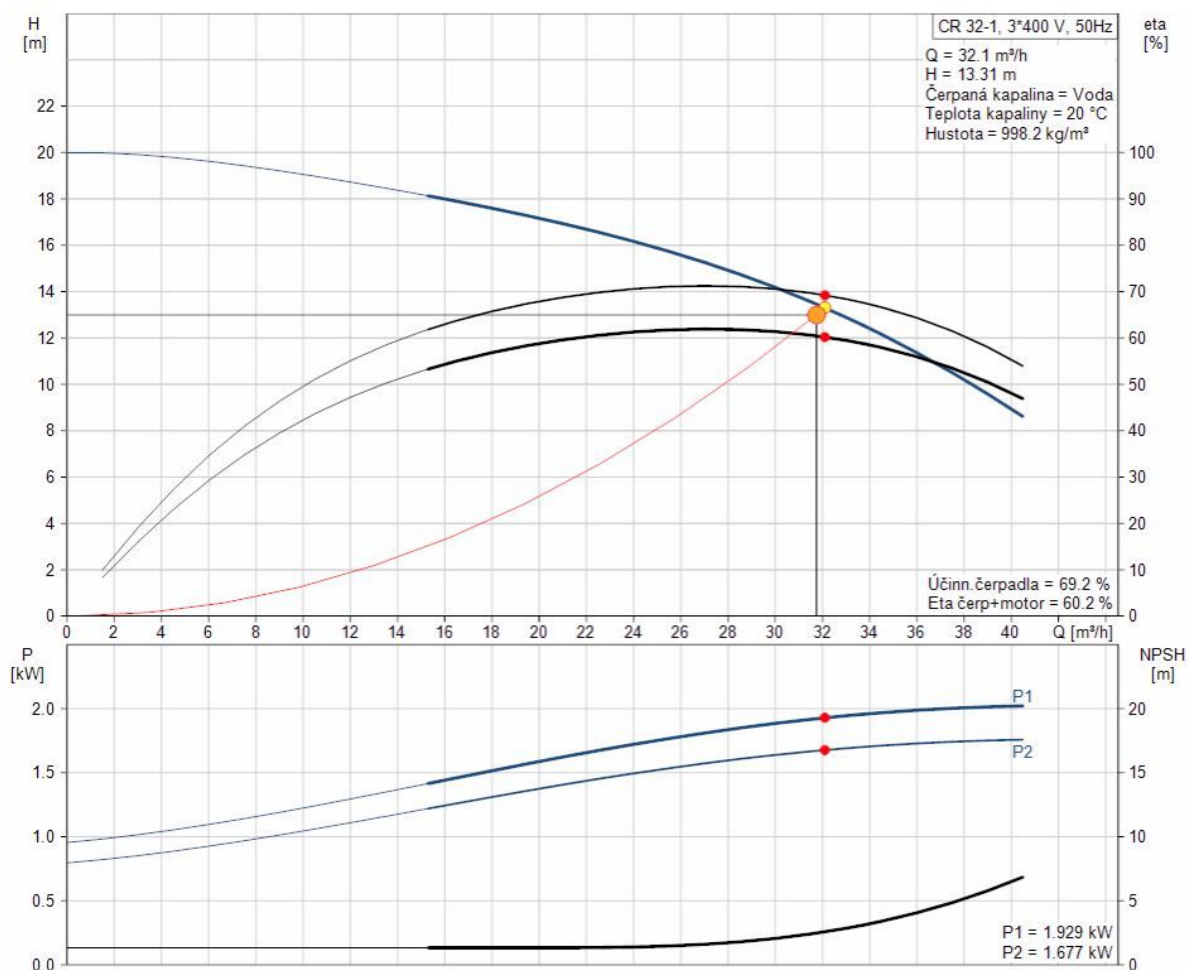
Počáteční parametry praní:

- Doba praní  $t = 12 \text{ min}$
- Průtok  $Q = 31,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Jak bylo výše zmíněno, k praní filtru bude využit VDJ Traplice. Výškový rozdíl mezi minimální hladinou ve VDJ Traplice a úrovní nátoky prací vody do filtrů je 16,13 m, se započtením ztrát se pak dostáváme na tlak 0,1 MPa (10 m v. sl.). Minimální potřebný tlak pro praní filtru je ale 0,2 MPa (20 m v. sl.). Zvýšení tlaku bude zajišťovat čerpadlo, které bude zvyšovat tlak na hodnotu větší než 0,2 MPa. Prací voda vede společným potrubím z VDJ Traplice, před praním filtru dojde v místě odbočky k odpojení potrubí vedoucího dále do VDJ Kudlovice (trasa potrubí je patrná z přílohy č. 6 Technologické schema). K odpojení tohoto potrubí slouží mezipřírubová klapka.

### Návrh čerpadla pro praní tlakových filtrů

Pro návrhový průtok  $31,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  a podmínku dopravní výšky zajišťující tlak min 0,2 MPa, bylo navrženo čerpadlo GRUNDFOS CR 32-1 s příkonem 2,2 kW. Stejně jako u čerpadel pro čerpání předupravené vody na tlakové filtry, se jedná se o vertikální člankové odstředivé čerpadlo v provedení in-line, jehož konstrukce umožňuje instalaci čerpadla v horizontální jednotrubkové soustavě se sacím a výtlačným hrdlem v jedné horizontální rovině. Čerpadlo je vybaveno frekvenčním měničem, umožňuje tedy změnu otáček a výkonu čerpadla [54].



Obr. 6-5 Charakteristické křivky čerpadla CR 32-1 [54]

Při průtoku  $31,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  zvedá čerpadlo dopravní výšku (a tedy i tlak) o hodnotu 13,5 m (přidává 0,135 MPa). Při uvažování tlaku v potrubí (z výškového rozdílu mezi VDJ a úrovní tlakových filtrů) 0,1 MPa, vychází tlak při použití čerpadla přibližně 0,235 MPa.



## Náklady při praní filtrů

Při výpočtu provozních nákladů pro praní filtrů byla zohledněna stanovená doba praní 12 min, četnost praní 1 x denně, prací průtok a příkon čerpadla 2,2 kW.

Tab. 6-7 Kalkulace ceny praní jednoho filtru při uvažované době praní 12 min a ceně vodného 24,5 Kč.m<sup>-3</sup>

Q [m <sup>3</sup> /h]	C [Kč/praní]	C [Kč/měsíc]	C [Kč/rok]
26,5	130,1	3 902	46 828
31,9	156,1	4 683	56 194

## Zafiltrování

Po praní filtru následuje zafiltrování – surová voda je po ukončení praní filtru/regenerace filtru pouštěna do odpadu a tím je zaručeno usednutí náplně filtrů a případné odplavení zbytků nečistot. Doba zafiltrování se zpravidla pohybuje v rozmezí 3 až 7 min., pro poloprovozní zkoušky bude doba zafiltrování 5 min. Prací voda a voda při zafiltrovávání bude pouštěna odpadním potrubím do kanalizace.

Tab. 6-8 Kalkulace ceny zafiltrování jednoho filtru při uvažované době 5 min, průtoku 14,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (4 l.s<sup>-1</sup>) a ceně vodného 24,5 Kč.m<sup>-3</sup>

Q [m <sup>3</sup> /h]	C [Kč/praní]	C [Kč/měsíc]	C [Kč/rok]
14,4	29,4	882	10 584

## Celkové náklady na prací vodu a zafiltrování

Roční náklady při zvolených parametrech praní a zafiltrování činí 33 388 Kč na jeden filtr, celkové náklady pro provoz dvou filtrů pak vychází 66 778 Kč (vycházelo se z ceny 24,5 Kč.m<sup>-3</sup>).

Tab. 6-9 Celkové náklady na praní a zafiltrování

	Q [m <sup>3</sup> /h]	C [Kč/měsíc]	C [Kč/rok]
<b>Praní</b>	31,9	9 366	112 387
<b>Zafiltrování</b>	14,4	1 764	21 168
<b>Celkem</b>	-	11 130	133 555

### 6.6.6 Regenerace náplně horní vrstvy filtru

Jak je zmíněno v kap. 6.6.4, po vyčerpání oxidační kapacity náplně se přistupuje k regeneraci filtru 8% roztokem manganistanu draselného. Materiál MTM filtrační vrstvy má specifickou kapacitu 1,4 g.l<sup>-1</sup> Fe a 0,7 g.l<sup>-1</sup> Mn. K určení délky regeneračního cyklu pak bylo potřeba vypočítat specifický objem náplně (x litrů náplně na litr surové vody),  $V_{sp} = 0,00086 \text{ l.l}^{-1}$ .

$$V_{sp} = \frac{c(Fe)}{c_{sp}(Fe)} + \frac{c(Mn)}{c_{sp}(Mn)}, \quad (6.4)$$

Kde,  $V_{sp}$  specifický objem náplně [l.l<sup>-1</sup>],  
 $c_{sp}$  specifická kapacita náplně [g.l<sup>-1</sup>],  
 $c$  koncentrace prvku v surové vodě [g.l<sup>-1</sup>],

Pro objem náplně filtru  $V = 0,796 \text{ m}^3$  byl poté určen objem vody schopné přefiltrovat filtrační náplní MTM a následně už délku regeneračního cyklu podle vztahů:

$$V_f = \frac{V_{sp}}{V_{fn}}, \quad (6.5)$$

Kde,  $V_f$  filtrační objem [ $\text{m}^3$ ],  
 $V_{sp}$  specifická objem náplně [ $\text{g.l}^{-1}$ ],  
 $V_{fn}$  objem filtračního média [ $\text{m}^3$ ]

$$t_f = \frac{V_f}{Q}, \quad (6.6)$$

Kde,  $t_f$  délka regeneračního cyklu [h],  
 $V_f$  filtrační objem [ $\text{m}^3$ ],  
 $Q$  průtok na jeden filtr [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]

Filtrační objem byl spočítán na  $921,4 \text{ m}^3$  a délka regeneračního cyklu na 64 h. Tato doba je pouze orientační, jelikož větší část železa se zachytí již na horní filtrační vrstvě z antracitu. Pro regeneraci náplně MTM je doporučena dávka  $\text{KMnO}_4$   $2 \text{ g.l}^{-1}$ , což při použití 8% roztoku činí  $1,59 \text{ kg KMnO}_4$  na jednu dávku (regeneraci).

### ***Dávkování regeneračního činidla***

Objem roztoku k regeneraci jednoho filtru je  $19,4 \text{ l}$ . Dávkování roztoku manganistanu draselného bude probíhat při praní filtru. Na potrubí prací vody bude napojeno dávkovací solenoidové čerpadlo o výkonu  $97 \text{ l.h}^{-1}$ . K přípravě roztoku manganistanu draselného bude sloužit automatická stanice se šnekovým podavačem a vlastním řídicím systémem celého procesu přípravy.

### ***Náklady na regeneraci roztokem manganistanu draselného***

Měsíční spotřeba manganistanu draselného je  $35,8 \text{ kg}$ , při orientační ceně  $200 \text{ Kč}$  za  $\text{kg}$  vychází měsíční náklady regenerace filtrační náplně na  $7\,169 \text{ Kč}$ , roční náklady pak  $86\,025 \text{ Kč}$ .

## **6.6.7 Hygienické zabezpečení**

Pro hygienické zabezpečení řešené úpravný byla zvolena dvoustupňová dezinfekce, kdy v první fázi proběhne hygienické zabezpečení pomocí výkonné UV lampy, která je nejšetnější metodou. V druhé fázi, z důvodu zajištění dezinfekčního rezidua i na nejvzdálenějším místě na vodovodní síti, bude hygienické zabezpečení doplněno o dávkování roztoku chlornanu sodného.

### ***Hygienické zabezpečení UV lampou***

Při použití UV lamp k hygienickému zabezpečení pitné vody musí UV lampy splňovat *Vyhlášku Ministerstva zemědělství ČR č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody* a požadavky nově vzniklé

normy ČSN 75 5050 *Hospodářství pro dezinfekci vody ve vodohospodářských provozech - Část 3: Dezinfekce prováděná UV zářením*, tím je myšlena zejména minimální stanovená dávka UV záření  $400 \text{ J.m}^{-2}$ , viz kap. 0. K volbě typu UV lampy je vhodné provést měření absorpance UV záření vlnové délky 254 nm dezinfikované vody dle normy ČSN 75 7360 *Jakost vod. Stanovení absorpance*. V rámci diplomové práce nebylo možné toto měření provést.

S ohledem na výše uvedená kritéria, návrhový výkon úpravní a složení vody byla navržena UV lampa GERMID V375 s následujícími parametry:

- Maximálním výkon  $30 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ ,
- dávka záření  $400 \text{ J.m}^{-2}$ ,
- příkon 240 W.

Celé zařízení se pak skládá z:

- UV reaktoru
  - délka 1450 mm, průměr 219 mm, materiál nerez
  - připojení DN 80, příruba,
  - max. tlak 1 MPa
- Rozvaděče
  - Rozměr 400 x 400 x 210 mm

UV reaktor bude instalován horizontálně (lze i vertikálně) na obtokovém potrubí a bude podepřen betonovým sloupkem. Při poruše nebo odstavení UV reaktoru se uzavřou klapky instalované u vstupu a výstupu z UV reaktoru. Instalováním reaktoru na odbočné potrubí nehrozí omezení provozu úpravní vody. Součástí reaktoru jsou: 3 ks UV zářiče, 3 ks křemenné trubice, vypouštěcí ventil, 2 vzorkovací ventily a konektory přívodu el. energie. Rozvaděč zobrazuje na svůj display stav každého UV zářiče (provoz – porucha), provozních hodin každého zářiče, výstupy pro hlášení provozních stavů zařízení. Dále rozvaděč obsahuje možnost dálkového výstupu signalizace provozu a poruch. Na vpusti i výpusti do reaktoru jsou umístěny kohouty k odběru vzorků.

Vzhledem k tomu, že délka trubic je přibližně 1,5m, je nutné počítat s tímto prostorem při výměně trubic. Výrobce udává životnost UV zářiče je 9 000 provozních hodin.

Při uvažování průměrné ceny 3,5 Kč za kWh, příkonu 240 W a nepřetržitém provozu vychází měsíční a roční spotřeba UV lampy následovně:

- 613 Kč měsíc
- 7 358 Kč za rok.

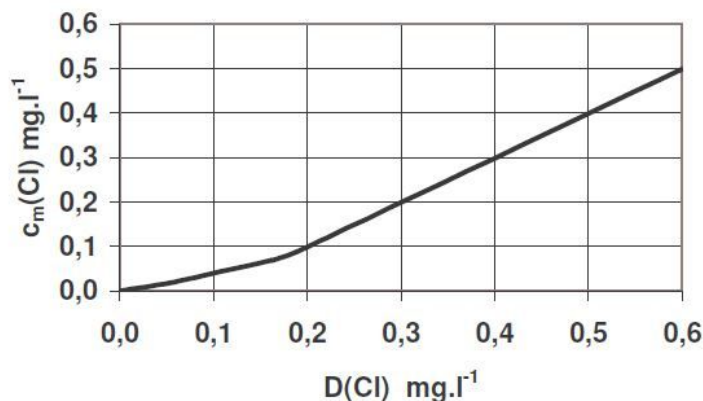
### ***Dávkování chlornanu sodného***

Jak již bylo dříve zmíněno, chlornan sodný má slabší dezinfekční účinky než plynný chlór, ale pro účely řešené úpravní je dostatečně efektivní. Obzvlášť pak vzhledem k jeho použití pouze k „dochlórování“ pitné vody k zajištění koncentrace volného chlóru na nejvzdálenějším místě na síti v doporučeném rozmezí  $0,05 - 0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ . Obsah aktivního chlóru v roztoku chlornanu sodného je zpravidla  $140 \text{ až } 150 \text{ g.l}^{-1}$  (12 až 15 %).

Pro průtok  $8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  a podmínku koncentrace zbytkového volného chlóru v rozmezí 0,1 až 0,2  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (viz Obr. 6-6) byla určena dávka roztoku chlornanu sodného na:

- $0,013 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $0,046 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Podmínka zajištění dostatečně dlouhé expozice bude zajištěna zdržením upravené pitné vody ve vodojemu Kudlovice  $2 \times 500 \text{ m}^3$  v areálu úpravný vody (teoretická doba zdržení více než 30 h).



Obr. 6-6 Závislost koncentrace zbytkového volného chlóru ve vodě  $c_m(\text{Cl})$  na dávce aktivního chlóru  $D(\text{Cl})$  [10]

K dávkování chlornanu sodného bude použito digitální membránové dávkovací čerpadlo, zajišťující přesnost dávkování, energeticky hospodárny provoz. Ovládání průtoku a dávkování se volí na řídicí jednotce, která je součástí čerpadla.

Týdenní spotřeba chlornanu sodného je 7,8 l, měsíční pak 31,0 l. Membránové čerpadlo bude dávkovat roztok chlornanu sodného z barelu o objemu 50 l. Menší spotřeba a tím pádem delší využívání chlornanu sodného z jednoho barelu má za následek snížení účinnosti, s tou je však počítáno už při návrhové dávce. Další možností je případně použití roztoku chlornanu sodného dodávaného v objemu 20 l.

Při uvažování průměrné ceny 1 150 Kč za 50 l roztoku  $\text{NaClO}$ , dávce  $0,046 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$  a nepřetržitém provozu vychází měsíční a roční náklady následovně:

- 713 Kč za měsíc,
- 8 560 Kč za rok.

### 6.6.8 Akumulace pitné vody

Po hygienickém zabezpečení se bude upravená pitná voda akumulovat ve VDJ Kudlovice ( $2 \times 500 \text{ m}^3$ ), který se nachází v areálu ÚV. Distribuce pitné vody dále do systému skupinového vodovodu Babicko bude probíhat v nezměněné podobě. Z tohoto vodojemu budou gravitačně zásobeny obce Kudlovice, Babice a Hustěnovice. Přečerpávání pitné vody z VDJ Kudlovice do VDJ Traplice ( $2 \times 250 \text{ m}^3$ ) bude nadále zajišťovat dvojice čerpadel umístěných v hale ÚV. S ohledem na stáří čerpadel se doporučuje jejich výměna za čerpadla nová.

### **6.6.9 Skladování chemikálií**

Zásoby Chlornanu sodného určeného k dezinfekci pitné vody a manganistanu draselného určeného k regeneraci filtrační náplně budou skladovány v chladu a suchu ve skladu chemikálií v hale úpravny vody. Odvětrávání je zajištěno ventilátorem.

### **6.6.10 Nakládání s odpadní vodou**

Praním filtru a zafiltrováním se každý měsíc spotřebuje dohromady 195 m<sup>3</sup> (podle návrhových parametrů praní a zafiltrování). Vzhledem k malému objemu odpadní vody není ekonomicky výhodné uvažovat nad zpětným využitím odpadní vody a její recirkulace, investice s tím spojená by měla velmi dlouhou návratnost.

Odpadní voda z bezpečnostního přelivu, odpadního potrubí akumulární nádrže a dále pak odpadní voda z praní a zafiltrování tlakových filtrů bude svedena odpadním potrubím a napojena do kanalizace a dále odváděna na ČOV.

### **6.6.11 Sledování provozních ukazatelů**

#### ***Sledování průtoku***

Na vstupu do haly úpravny vody bude instalován indukční průtokoměr DN 50 mm, aktuální průtok se zobrazuje na display průtokoměru. Stejný průtokoměr bude dále instalován na potrubí upravené pitné vody.

#### ***Sledování zákalu***

Za účelem sledování správného chodu tlakových filtrů bude na potrubí upravené vody instalována obtoková zákalová sonda. Při překročení zákalu ZF 5 stanoveného Vyhláškou č. 252/2004 Sb., musí obsluha bez odkladu přejít k praní tlakových filtrů.

### **6.6.12 Materiál potrubí, použité armatury a uložení potrubí**

Od místa napojení všech vrtů ve spojné šachtě v areálu úpravny vody povede do haly úpravny nové potrubí surové vody. Potrubí se navrhuje z tvárné litiny DN 100 mm až po indukční průtokoměr. Od indukčního průtokoměru se navrhuje vnitřní rozvody potrubí a tvarovek z nerezové oceli, určené pro zdravotně technické instalace a splňující podmínky předepsané *Vyhláškou č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.*

Veškeré použité armatury budou stejně jako potrubí a tvarovky splňovat podmínky pro styk s pitnou vodou stanovené *Vyhláškou č. 409/2005 Sb.* Uzavírání armatur bude automatické s elektropohonem.

Ke statickému zajištění potrubí budou sloužit např. betonové podpěrné bločky, které budou na výškových a směrových lomech potrubí (viz příloha č. 7).

13,5

## 7 ZÁVĚR

Úpravna vody Babice se z technologického hlediska nachází na hranici své životnosti, při uvažování životnosti technologií a jejich zařízení 15 až 20 let. Úpravna byla původně projektována na dvojnásobně vyšší výkon, než je současný, který vedle přerušovaného provozu zapříčiňuje celkovou nehospodárnost provozu. Patrná je zejména vysoká spotřeba elektrické energie z provozování horizontálních provzdušňovačů a velké množství prací vody. Z toho důvodu bylo nutné přistoupit k návrhu studie nové technologické linky řešené úpravny vody.

V rámci práce bylo na úpravně vody otestováno použití nové metodiky hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury TEA Water, konkrétně jejího modulu TEAT – Úpravny vody. Podle výsledného hodnocení spadá úpravna vody Babice do kategorie C+, které je dle definice metodiky průměrným hodnocením, jež nevyžaduje okamžitá nápravná řešení a opatření. Hodnocení je nad očekávání dobré, způsobené nemožností použité metodiky postihnout specifika každé úpravny. V případě této úpravny je to hlavně malá váha technického ukazatele efektivita provozu a bezpečnost (technologicko-provozní část), konkrétně faktoru Využitelnost výkonu úpravny vzhledem k jejím návrhovým hodnotám.

Při postupu návrhových opatření se nejprve přikročilo k určení návrhového výkonu úpravny, na který bude úpravna projektována. Při určení návrhového výkonu byl zohledněn stávající průměrný výkon  $6,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (při uvažování nepřetržitého provozu) a možnost výhledového rozšíření skupinového vodovodu Babicko. Návrhový výkon úpravny byl stanoven na  $8,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  při uvažování nepřetržitého provozu.

Současné zdroje vody nejsou schopny, při dlouhodobějším suchu a výraznému poklesu hladiny podzemní vody, zajistit požadované množství surové vody. V posledních letech proběhly v dané lokalitě hydrogeologické průzkumy s cílem najít nové jímací vrty podzemní vody. V době psaní diplomové práce se již začalo s vystrojováním těchto nových jímacích vrtů. V rámci práce byl vytvořen návrh nového způsobu využití vodních zdrojů. Navrhované varianty kombinací využívání jednotlivých jímacích vrtů zajišťují výrazné zlepšení jakosti surové vody. Nejvíce patrné je výrazné snížení koncentrací železa a manganu, které by mělo vést ke snížení zanášení tlakových filtrů, respektive celkového snížení nákladů na praní filtrů.

V návrhové podobě technologické linky bude surová voda přiváděna na dvojici horizontálních provzdušňovačů HPV 4 s výkonem  $4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Hlavní znečištění upravované vody představují hlavně vyšší koncentrace železa a částečně i manganu. Provzdušněním dojde k oxidaci rozpuštěného železa na nerozpustné a na filtrech lehce separovatelné vločkovité suspenze. Po intenzivní aeraci bude předupravená voda akumulována v menší nádrži s dobou zdržení 8 min. Za akumulární nádrží se bude nacházet dvojice paralelně zapojených čerpadel Grundfos CR 45-1-1 (v provozu bude vždy jen jedno čerpadlo). Čerpadla budou hnát předupravenou vodu na dvojici tlakových odmanganovacích filtrů TVK 130. Zajištění vyšší účinnosti separace problémového železa a manganu bude zajišťovat dvouvrstvá filtrační náplň. V horní vrstvě bude použita filtrační hmota MTM a ve spodní podložní vrstvě filtrační písek Dorsilit. Na vrstvě zrnitého materiálu MTM dochází vlivem kontaktní filtrace k oxidaci manganu na vyšší mocnosti, které jsou následně snadno zachytitelné. Splnění mezních hodnot pro koncentrace železa a manganu v pitné vodě stanovených Vyhláškou č. 252/2004 Sb. bude kontrolováno obtokovou zákalovou sondou, která bude instalována na společné potrubí za tlakovými filtry. Hygienické zabezpečení se bude skládat ze dvou stupňů. Nejprve se použije fyzikální metoda UV záření a následně se z důvodu vytvoření dezinfekčního rezidua bude dávkovat roztok chlornanu sodného. K hygienickému zabezpečení UV zářením se navrhuje

UV lampa Germid V375. K akumulaci upravené pitné vody se bude využívat stávající vodojem v areálu úpravny VDJ Kudlovice.

Jedním z možných úskalí nové technologické linky je potencionální nedostatečná oxidace železa pouhou intenzivní aerací a tedy jeho nedostatečná separace na tlakových filtrech. V tomto případě se nabízí dávkování roztoku chlornanu sodného za účelem podpoření oxidačních procesů. Případné dávkování chlornanu sodného se doporučuje do potrubí mezi akumulací nádrží a čerpadlem, tím dojde k zajištění dostatečného smísení vlivem turbulencí po průchodu čerpadlem. Další možností je instalování oběhového čerpadla do horizontálních provzdušňovačů a recirkulace části upravované vody.

Ve stávající podobě provozování ÚV vychází roční provozní náklady na úpravu vody 600 000 Kč. Navrhovanou podobou technologické linky dojde k výrazným úsporám elektrické energie a množství prací vody. Pro návrhové parametry vychází roční náklady na provoz 353 000 Kč. Ročně se tedy ušetří více než 247 000 Kč a vzhledem k nevyhnutelnosti obměny starých technologických zařízení na řešené úpravně, se jeví tato investice jako značně výhodná.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Babice u Uherského Hradiště* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.babice.eu>
- [2] *Babicko: Skupinový vodovod: Závěrečná zpráva hydrogeologického průzkumu*. Holešov: Vodní zdroje Holešov, 2011.
- [3] BARLOKOVÁ, Danko a Ján HLÁVSKÝ. *Nové filtračné materiály vo vodárenstve* [online]. In: Bratislava: Katedra zdravotného a enviromentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta STU [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.smv.cz/res/archive/051/005736.pdf?seek=1429083266>
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Sbírka zákonů*. 2004.
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody. In: *Sbírka zákonů*. 2005.
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. 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). In: *Sbírka zákonů*. 2001.
- [7] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Sbírka zákonů*. 2001.
- [8] *Disa: Diagnostika & sanace životního prostředí* [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.disa.cz/>
- [9] *Chemie a technologie vody. Modul M01: Chemie přírodních a pitných vod*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [10] *Chemie a technologie vody. Modul M02: Vodárenství*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [11] *JANKOVICE - SUŠICE: Hydrogeologický průzkum pro zajištění zdroje vody pro skupinový vodovod Babicko: Projekt*. Holešov: AQUA - GEA Holešov, 2014
- [12] *JANKOVICE - SUŠICE: Hydrogeologický průzkum pro zajištění zdroje vody pro skupinový vodovod Babicko: Závěrečná zpráva*. Uhřetice: Moravský zeměvěrný závod, 2015.
- [13] *Jímací území Kudlovice: Návrh ochranných pásem vrtů KVN 1 a KVN 2*. Holešov: Vodní zdroje Holešov, 2014.
- [14] KOPECKÝ, Jaroslav. *Dezinfekce UV-zářením: technologie pro úpravu pitných vod* [online]. In: . [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://www.jako.cz/VH8-2003-UV-valid-030805.pdf>
- [15] LAVICKÝ, Ivo. *Babicko- Zásobování vodou: DPS 02-1-ÚV-Strojně-technologická část*. Brno: Ivo Lavický, projekce, 1993.
- [16] *MAPY.CZ* [online]. [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://mapy.cz>
- [17] *Mapy Google* [online]. [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>



- [18] MARIŠLER, Lukáš. *Studie rekonstrukce úpravny vody malého výkonu*. Brno, 2010. 75 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [19] *PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY: SOUHRNNÁ ZPRÁVA* [online]. Ministerstvo zemědělství, 2008 [cit. 2015-10-12].
- [20] *PLÁN ROZVOJE VODOVODŮ A KANALIZACÍ ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY: ZLÍNSKÝ KRAJ*, Ministerstvo zemědělství, [online]. 2007 [cit. 2015-10-07]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/40167/\\_22886\\_13045\\_CZ072\\_Zlinsky\\_kraj.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/40167/_22886_13045_CZ072_Zlinsky_kraj.pdf)
- [21] *Obec Huštěnovice* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.hustenovice.cz>
- [22] *Obec Košíky: Oficiální stránky Obce Košíky* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.oukosiky.cz>
- [23] *Obec Kudlovice* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.kudlovice.cz>
- [24] *Obec Sušice* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.obecsusice.com>
- [25] *Obec Traplice* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.traplice.cz/menu/aktualne>
- [26] *Oficiální stránky Obce Jankovice* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.jankovice.cz>
- [27] *Sdružení obcí Babicko: Závěrečný účet za rok 2014* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.kudlovice.cz/file.php?nid=9667&oid=4412091>
- [28] SOMMERFELD, Elmer O. *Iron and manganese removal handbook*. Denver, Colo.: American Water Works, c1999, xii, 158 s. ISBN 1-58321-012-1.
- [29] *SKUPINOVÝ VODOVOD BABICKO: PROVOZNÍ ŘÁD*. Brno: PROVO, 1998.
- [30] ŠAŠEK, Jaroslav. Použití UV záření pro dezinfekci pitné vody. *Tzbinfo: stavebnictví, úspora energií, technická zařízení budov* [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9697-pouziti-uv-zareni-pro-dezinfekci-pitne-vody>
- [31] TUHOVČÁK, Ladislav et al. *Vodárenství – Úprava a doprava vody*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2006, 252 s
- [32] *Ústav vodního hospodářství obcí* [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupné z WWW: <[water.fce.vutbr.cz](http://water.fce.vutbr.cz)>.
- [33] *Vodaservis* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.vodaservis.cz/>
- [34] *Vodovodní sdružení Babicko* [online]. [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://www.babicko.estranky.cz>
- [35] *Zkušební protokoly*. Uherské Hradiště: Slovácké vodárny a kanalizace: Útvar vodohospodářských laboratoří, 2015.
- [36] BAKRLÍK, Marek. *Posouzení a optimalizace distribuce vody ve skupinovém vodovodu*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [37] ŠOPÍKOVÁ, Lucie. *Možnosti hygienického zabezpečení pitné vody*. Brno, 2012. 63 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [38] *Vodárenské technologie s. r. o.* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.vodatech.cz/>
- [39] *EKOSYSTEM: Produkty v oblasti ekologie a vodního hospodářství* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.ekosystem.cz/>
- [40] *EKOMONITOR* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.ekomonitor.cz/>
- [41] LÍZALOVÁ, Zuzana. *Odstraňování železa a manganu z podzemních zdrojů vody*. Brno, 2012. 63 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [42] *BirmFilter* [online]. [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://www.birmfilter.com/products/other-products1/mtm/>
- [43] *AQUATERM* [online]. [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.aqua-bohemia.com/www-aqua-bohemia-com/eshop/15-1-FILTRACNI-NAPLNE/0/5/136-MTM>
- [44] *OFWAT: The economic regulator of the water sector in England and Wales* [online]. [cit. 2016-11-28].
- [45] *Iniciativa Nacional de Gestão Patrimonial de Infraestruturas: AWAREP* [online]. [cit. 2016-11-28].
- [46] ALEGRE, Helena a Sergio T. COELHO. *Infrastructure asset management of urban water systems* [online]. In: Lisbon, Portugal: LNEC - National Civil Engineering Laboratory, 2013 [cit. 2016-11-29].
- [47] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš SUCHÁČEK a Tomáš KUČERA. Metodika hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. *SOVAK*. 2016
- [48] TUHOVČÁK, Ladislav, Tomáš SUCHÁČEK a Tomáš KUČERA. Hodnocení technického stavu vodárenské infrastruktury. In: *Voda Zlín 2016*. 2016.
- [49] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990.
- [50] STRNADOVÁ, Nina, JANDA, Václav. *Technologie vody I*. 2. přeprac. vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. 226 s. ISBN 80-7080-348-7.
- [51] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. *Chemie a technologie vody*. 2. doplněné vydání. Brno: Ardec s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [52] *INTREL: HYDRO-EKO-SYSTEM* [online]. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.intrel.cz/index.php>
- [53] *INKOS: Výrobce a dodavatel zařízení pro čištění odpadních a průmyslových vod* [online]. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/lang/cz/index.htm>
- [54] *GRUNDFOS: PRODUCT CENTER* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?time=1483536529534&qcid=53629054>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Výrobní řada provzdušňovacích věží SK [40] .....	26
Tab. 3-1 Kategorie hodnocení [47] .....	35
Tab. 4-1 Roční čísla vody [36].....	42
Tab. 4-2 Hospodaření Sdružení obcí pro výstavbu skupinového vodovodu v oblasti “Babicko“ za rok 2014 [27] .....	42
Tab. 4-3 Porovnání vývoje cen vodného [23][34] .....	43
Tab. 5-1 Základní údaje o využívaných vrtech .....	44
Tab. 5-2 Základní údaje o nových vrtech [2][12] .....	45
Tab. 5-3 Rozdělení jakosti vody dle koncentrací železa a manganu.....	46
Tab. 5-4 Vybrané ukazatele složení surové vody pro jednotlivé stávající jímací vrty [35] .....	47
Tab. 5-5 Vybrané ukazatele složení vody pro jednotlivé nové jímací vrty [2][12] .....	47
Tab. 5-6 Parametry čerpadel pro rychlofiltry.....	53
Tab. 5-7 Náklady na praní stávajících filtrů .....	55
Tab. 6-1 Varianta A možnosti kombinování čerpaného množství z jednotlivých vrtů.....	61
Tab. 6-2 Varianta B možnosti kombinování čerpaného množství z jednotlivých vrtů.....	62
Tab. 6-3 Možnost využívání vrtů pro výkon úpravny odpovídající stávající potřebě vody .....	63
Tab. 6-4 Parametry ventilátoru .....	66
Tab. 6-5 Rozměry a parametry tlakového filtru TVK 130 .....	69
Tab. 6-6 Základní parametry filtrační náplně MTM [43][40] .....	71
Tab. 6-7 Kalkulace ceny praní jednoho filtru při uvažované době praní 12 min a ceně vodného 24,5 Kč.m <sup>-3</sup> .....	73
Tab. 6-8 Kalkulace ceny zafiltrování jednoho filtru při uvažované době 5 min, průtoku 14,4 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> (4 l.s <sup>-1</sup> ) a ceně vodného 24,5 Kč.m <sup>-3</sup> .....	73
Tab. 6-9 Celkové náklady na praní a zafiltrování .....	73

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Grafické znázornění účinnosti dezinfekce v závislosti na vlnové délce [8] .....	20
Obr. 2-2 Horizontální provzdušňovače BUBLA V .....	23
Obr. 2-3 Schéma principu horizontálního provzdušňovače SAN H[39].....	24
Obr. 2-4 Horizontální provzdušňovače HPV bez akumulace [40].....	25
Obr. 2-5 Vertikální provzdušňovače FUKA [38].....	26
Obr. 2-6 Provzdušňovací věže SK [40] .....	27
Obr. 2-7 Tlakové rychlofiltry TVK [33].....	29
Obr. 2-8 Konstrukce tlakového filtru INKOS PFZ [53].....	29
Obr. 3-1 Znázornění procesu při plánování v metodice AWARE-P [45] .....	32
Obr. 3-2 Struktura hodnocení metodiky TEA Water [47].....	34
Obr. 3-3 Členění Stavebně-technických ukazatelů a přehled jednotlivých faktorů.....	35
Obr. 3-4 Členění Technologicko-provozních ukazatelů a přehled jednotlivých faktorů .....	36
Obr. 3-5 Ukázka grafického rozhraní a práce s aplikací TEA Water.....	37
Obr. 4-1 Umístění objektu úpravy vody [16].....	38
Obr. 4-2 Objekt úpravy vody .....	39
Obr. 4-3 Zjednodušené schéma zásobování vodou skupinovým vodovodem Babicko .....	40
Obr. 4-4 VDJ Kudlovice 2x 250 m <sup>3</sup> [36].....	41
Obr. 5-1 Dvojice horizontálních aerátorů INKA .....	49
Obr. 5-2 Vločkovací nádrže (dříve míchací – k alkalizaci) a detail tangenciálního vtoku do nádrže.....	50
Obr. 5-3 Jeden z odželezovacích tlakových rychlofiltrů .....	52
Obr. 5-4 Pohled na odželezovací a odmanganovací tlakové rychlofiltry.....	53
Obr. 5-5 Dvojice čerpadel k čerpání vody na rychlofiltry .....	54
Obr. 5-6 Nádoba chlornanu sodného a dávkovací čerpadlo .....	56
Obr. 5-7 Výstup celkového hodnocení technického stavu řešené úpravy v aplikaci TEA Water .....	57
Obr. 6-1 Zjednodušené schéma návrhu technologické linky ÚV .....	64
Obr. 6-2 Čerpadlo Grundfos CR 45-1-1 [54].....	67
Obr. 6-3 Charakteristické křivky čerpadla CR 45-1-1 [54].....	68
Obr. 6-4 Schématické znázornění zapojení filtru TVK.....	70
Obr. 6-5 Charakteristické křivky čerpadla CR 32-1 [54].....	72
Obr. 6-6 Závislost koncentrace zbytkového volného chlóru ve vodě $c_m(Cl)$ na dávce aktivního chlóru $D(Cl)$ [10] .....	76

# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

## SEZNAM SYMBOLŮ:

Symbol	Veličina	Jednotka
$A$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$c$	koncentrace prvku v surové vodě	[g.l <sup>-1</sup> ]
$c_{sp}$	specifická kapacita náplně	[g.l <sup>-1</sup> ]
$D$	dávka UV záření	[J.m <sup>2</sup> ]
$I$	intenzita záření	[W.m <sup>2</sup> ]
$Q$	průtok	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$Q_N$	návrhový výkon úpravny	[l.s <sup>-1</sup> ]
$R$	výhledová potřeba vody	[m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> ]
$t$	čas	[s]
$t_f$	délka regeneračního cyklu	[h]
$V$	objem	[m <sup>3</sup> ]
$v$	rychlost proudění	[m.s <sup>-1</sup> ]
$V_f$	filtrační objem	[m <sup>3</sup> ]
$V_{fn}$	objem filtračního média	[m <sup>3</sup> ]
$V_{sp}$	specifický objem náplně	[l.l <sup>-1</sup> ]
$WD_N$	návrhová potřeba vody	[m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> ]

## SEZNAM ZKRATEK:

cca	přibližně (circa)
ČR	Česká republika
DN	jmenovitý vnitřní průměr potrubí
DNA	deoxyribonukleová kyselina
IAM	Infrastructure Asset Management
MH	mezní hodnota
NMH	nejvyšší mezní hodnota
PP	polypropylene
PVC	polyvinylchlorid
RNA	ribonukleová kyselina
ST	Stavebně – technické
TP	technologicko – provozní
UV	ultrafialové

ÚV	úpravna vody
VDJ	vodojem
WD	water demand (potřeba vody)

## SEZNAM PŘÍLOH

1. Hydraulika úpravny vody
2. Investiční náklady zařízení technologie úpravny vody
3. Srovnání nákladů na provoz současného stavu a návrhového stavu

### **Výkresová část:**

4. Přehledný podélný profil
5. Výškové a chemicko-technologické schéma
6. Technologické schéma
7. Půdorys ÚV a Řez A-A' ÚV

## SUMMARY

This study deals with a reconstruction of the water treatment plant. The First chapter gives a brief overview of iron and manganese nature occurrence in ground water, effects of iron and manganese in potable water systems and last but not least common removal methods. The latter is divided into four parts, pretreatment, filtration, alternate technologies of iron and manganese removal and disinfection.

The next chapter looks at technical condition evaluation of urban water networks and presents a new methodology TEA Water developed by Brno University of Technology, module TEAT-Water treatment plants in particular.

Following chapters describes local water distribution system and current condition of the water treatment plant. This water treatment plant was built more than 20 years ago and has never been reconstructed. The original designed flow rate is more than twice higher than the current value and consequently operating expenses are very high. Therefore, reconstruction of this water treatment plant is more than needed. Treated ground water comes from several wells, however, contains high concentrations of iron and manganese. The water treatment process at this water treatment plant is based on intensive aeration and two-stage filtration. Aeration is often the first pretreatment measure to prepare water for filtration. Two horizontal aerators Inka are used for aeration. At the first stage of filtration, three iron removing pressure filters are used. At the second stage of filtration, five manganese removing pressure filters are used. At the end of the treating proces, sodium hypochlorite is used for disinfection.

The main aim of this thesis is to reduce operating expenses, especially energy consumption of Inka aerators and to reduce volume of backwash water. Firstly, new designed flow rate was set and also new concept of water resources utilization was outlined. New horizontal aerators were design, former two-stage filtration was changed for one-stage filtration and the number of pressured filters was reduced from eight to only two pressured manganese removing filters. Ultraviolet germicidal irradiation was chosen as a new disinfection proces, however, disinfection by sodium hypochlorite will be kept and disinfection will be carried out jointly.