

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

OPTIMALIZACE PROVOZNÍCH PARAMETRŮ NA ÚPRAVNĚ VODY
BZENEC-PŘÍVOZ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

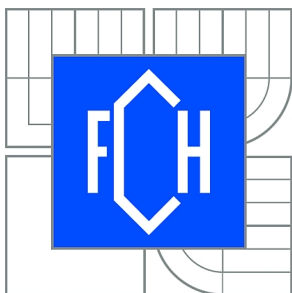
Bc. MARTINA SUKOPOVÁ

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

OPTIMALIZACE PROVOZNÍCH PARAMETRŮ NA ÚPRAVNĚ VODY BZENEC-PŘÍVOZ

OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS IN DRINKING WATER TREATMENT PLANT
IN BZENEC-PŘÍVOZ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTINA SUKOPOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

RNDr. JAROSLAV MEGA, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0417/2009	Akademický rok: 2009/2010
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	Bc. Martina Sukopová	
Studijní program:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)	
Studijní obor:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)	
Vedoucí práce	RNDr. Jaroslav Mega, Ph.D.	
Konzultanti:		

Název diplomové práce:

Optimalizace provozních parametrů na úpravně vody Bzenec-Přívóz

Zadání diplomové práce:

Optimalizace provozních parametrů v rámci zkušebního provozu rekonstruované úpravní vody Bzenec-Přívóz.

Termín odevzdání diplomové práce: 14.5.2010

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Martina Sukopová
Student(ka)

RNDr. Jaroslav Mega, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Úpravna vody Bzenec-Přívoz představuje důležitý zdroj pitné vody pro okres Hodonín. Po dlouholetém provozu byla v letech 2008-2010 zrekonstruována s cílem zvýšit efektivitu technologie úpravy vody. Zásadním krokem bylo rozdělení technologie na jednostupňovou a dvoustupňovou úpravu vody pro jednotlivá prameniště podzemní vody. Charakter surové vody klade vysoké nároky na odželezování a odmanganování, proto byla záměrem projektu intenzifikace procesu a optimalizace provozních parametrů. Instalace nových aerátorů a hyperboloidních míchadel do flokulace vyžadovala provedení provozních pokusů, které prokázaly vysokou účinnost při snížení provozních nákladů. Proces úpravy vody byl kompletně automatizován, čímž se usnadnil provoz úpravní a minimalizoval se vliv lidského faktoru. Výsledkem rekonstrukce je zvýšená účinnost úpravy vody a úspory, kterých bylo dosaženo výrazným snížením provozních nákladů.

ABSTRACT

Water treatment plant Bzenec-Přívoz represents important supply of potable water for Hodonín district. After a long-time operation it was in 2008-2010 reconstructed in order to make water treatment technology more effective. The basic step was dividing technology into one stage and two stage water treatment for particular spring areas of ground water. The character of raw water requires effective removal of iron and manganese, therefore intensification and optimization of operating parameters were the purposes of the project. Installation of new aerators and hyperboloid stirrers in flocculation tank required operating tests for proving of high technological efficiency while the operating costs were decreased. The water treatment process was completely automatized, which made the operation easy and minimized human element impact. Results of the reconstruction are more effective water treatment and a distinct decrease of operating costs.

KLÍČOVÁ SLOVA

Úprava vody, podzemní voda, odželezování, odmanganování, optimalizace, rekonstrukce, automatizace

KEYWORDS

Water treatment, ground water, removal of iron and manganese, optimization, reconstruction, automatization

SUKOPOVÁ, M.: *Optimalizace provozních parametrů na úpravně vody Bzenec – Přívoz*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 72 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Jaroslav Mega, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě chci poděkovat RNDr. Jaroslavu Megovi, Ph.D., za odborné vedení, firmě Vodovody a kanalizace, a.s., Hodonín, za odbornou podporu a pracovníkům úpravny vody Bzenec-Přívoz za ochotnou spolupráci. Zvláštní poděkování patří technologu pitných a odpadních vod Ing. Jaroslavu Fialovi za odborné rady, technickou pomoc a intenzivní spolupráci.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	8
2.1	Úprava podzemní vody	8
2.1.1	Technologie úpravy vody	9
2.1.2	Stabilizace vody – odkyselování	9
2.1.3	Koagulace	11
2.1.4	Sedimentace.....	12
2.1.5	Filtrace	13
2.1.6	Odželezování a odmanganování vody	14
2.1.7	Desinfekce	17
2.2	Úpravna vody Bzenec-Přívoz	21
2.2.1	Surová voda	21
2.2.2	Aerace	23
2.2.3	Rychlé míchání	23
2.2.4	Flokulace	24
2.2.5	Sedimentace.....	25
2.2.6	Filtrace	25
2.2.7	Desinfekce	25
2.3	Rekonstrukce a intenzifikace	26
2.3.1	Technologie úpravy vody	28
2.3.2	Aerace	28
2.3.3	Rychlé míchání	30
2.3.4	Flokulace	30
2.3.5	Sedimentace.....	32
2.3.6	Filtrace	33
2.3.7	Desinfekce	33
2.3.8	Chemické hospodářství.....	33
2.3.9	Řídicí systém	36
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
3.1	Optimalizace provozních parametrů	38
3.1.1	Vyhodnocení aerace	38
3.1.2	Vyhodnocení flokulace.....	40
3.1.3	Vyhodnocení sedimentace.....	41

3.1.4	Vyhodnocení vápenného hospodářství	42
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	44
4.1	Vyhodnocení aerace	45
4.1.1	Optimalizace provozních parametrů aerace	45
4.1.2	Vyhodnocení provozu aerátorů	47
4.2	Vyhodnocení rychlého míchání	48
4.3	Vyhodnocení flokulace	48
4.3.1	Optimalizace provozních parametrů flokulace	48
4.3.2	Srovnání pádlových a hyperboloidních míchadel	51
4.4	Vyhodnocení sedimentace	54
4.4.1	Optimalizace kalového hospodářství	54
4.5	Vyhodnocení filtrace	56
4.6	Vyhodnocení desinfekce	58
4.7	Vyhodnocení chemického hospodářství	60
4.7.1	Vápenné hospodářství	60
4.7.2	Vyhodnocení dávkování KMnO_4	63
5	ZÁVĚR	64
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	65
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	70
8	SEZNAM PŘÍLOH	71
9	PŘÍLOHY	72

1 ÚVOD

Zdravotně nezávadná pitná voda je samozřejmým požadavkem každého z nás. Účinná úprava surové vody na pitnou už takovou samozřejmostí být nemusí. Záleží totiž nejen na charakteru surové vody, ať už povrchové nebo podzemní, ale také na konkrétní technologii úpravy na vodu pitnou. Výrazné technologické rozdíly jsou patrné při srovnání úpravy vody povrchové a podzemní. Složení povrchové vody se liší případ od případu, typický charakter podzemní vody je ovšem pozorován u většiny podzemních vod. Pro úpravu podzemní vody jsou limitujícími parametry agresivní oxid uhličitý a zvýšený obsah hydrolyzujících kovů, zejména železa a manganu. Proto i technologická linka úpravy podzemní vody bude zaměřena na jejich odstranění.

Úpravna vody Bzenec-Přívoz je v provozu jako významný zdroj pitné vody v okrese Hodonín od roku 1993. K úpravě na vodu pitnou využívá podzemní vodu z vrtů v kvarterních sedimentech údolní nivy řeky Moravy. Surová voda je typická podzemní, s vysokým obsahem železa, manganu i oxidu uhličitého. Technologie úpravy vody je dvoustupňová s odželezováním a odmanganováním. Předřazená aerace slouží k odkyselení vody a k oxidaci železa a manganu, stejně tak alkalizace vápenným mlékem. Alkalizační čiření je zakončeno dvoustupňovou separací suspenze. Na rychlofiltrech přitom kromě separace dochází i k odmanganování, a to díky preparovaným oxidům manganu. Upravená voda byla původně hygienicky zabezpečena plynným chlorem, dnes oxidem chloričitým, a dále je čerpána do tří vodojemů, ze kterých je zásobováno pitnou vodou 131 000 obyvatel.

Technologická zařízení úpravny byla po letech provozu shledána jako zastaralá a fyzicky nevyhovující. Minimální stupeň automatizace provozu navíc kladl vysoké personální nároky na provoz úpravny i jeho kontrolu. Rozsáhlý projekt Ministerstva životního prostředí Střední Pomoraví/Hodonínsko tak umožnil rekonstruovat a intenzifikovat úpravnu vody Bzenec-Přívoz. Rekonstrukce zahrnovala výměnu většiny potrubí, armatur a čerpadel. Výrazným zásahem byla výměna aerátorů a míchadel ve flokulačních nádržích a změna desinfekčního činidla z plynného chloru na oxid chloričitý. V rámci rekonstrukce úpravny došlo k celkové automatizaci provozu, která by měla v budoucnu zjednodušit chod a kontrolu technologie úpravy vody.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Úprava podzemní vody

Cílem každé úpravy vody je zdravotně nezávadná pitná voda. Úpravna vody tedy produkuje nejdůležitější výrobek potřebný k životu – pitnou vodu. Tu definuje Pitter [1] následovně: „zdravotně nezávadná, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví v důsledku přítomnosti mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým nebo pozdním působením zdraví spotřebitele a jeho potomstva a smyslově postižitelné vlastnosti nebrání jejímu požívání.“ Pitná voda je nenahraditelnou tekutinou, jejíž kvalita přímo ovlivňuje zdraví člověka. Nedostatek pitné vody a její zdravotní nezávadnost jsou v dnešní době globálním problémem. V Evropě stále nemá podle protokolu organizace WHO 140 000 lidí přístup k pitné vodě. [2]

Surová voda zpravidla nebývá takové kvality, aby ji bylo možno použít bez úpravy jako vodu pitnou. Povrchové vody obsahují celou řadu anorganických látek, organických látek, dále mikroorganismy a nerozpuštěné látky. Do povrchových vod se dostávají chemické látky splachem z polí, z komunikací a ve formě suchého a mokrého spadu, včetně kyselých dešťů. Navíc se povrchové vody vyznačují proměnlivou teplotou, vyšším obsahem kyslíku a rozmanitostí mikroorganismů. Je zřejmé, že úprava povrchové vody vyžaduje složitou technologii. Jinak je tomu u podzemních vod, které jsou pro úpravu na vodu pitnou více než vhodné. Obsahují méně anorganických látek, organické i mikrobiální znečištění je velmi nízké, navíc nejsou vystaveny atmosférickým vlivům. Chemické složení podzemních vod závisí na konkrétní matečné hornině. Pro podzemní vody je ovšem charakteristický vyšší obsah oxidu uhličitého a hydrolyzujících kovů, zejména železa a manganu. V některých případech lze podzemní vody upravit na požadovanou kvalitu pouze alkalizací a desinfekcí.

Látky přítomné ve vodách lze posuzovat z několika hledisek. Podle skupenství, charakteru, velikosti částic, původu aj. Složky významné pro úpravu vody shrnul Žáček [3]:

- **anorganické suspenze** jako jíly, bentonity, kaolin apod. Tyto částice lze z vody odstranit sedimentací nebo filtrací.
- **organické suspendované látky** jsou zastoupeny živými nebo uhynulými organismy.
- **koloidní oxid křemičitý** při úpravě vody koaguluje s hydroxidy železa či hliníku. Vyskytuje se téměř v každé přírodní vodě.
- **humínové látky** jako složité organické sloučeniny, udávající žlutohnědé zbarvení přírodní vody. Do povrchových vod se dostávají jednak výluhem z rašelinišť, jednak biochemických odbouráváním organických látek, např. ligninu.

Obecně dělíme znečišťující látky ve vodách následovně: [4]

Anorganické látky.

Organické látky nejrozličnějšího původu. Obsah organických látek se stanovuje jako chemická spotřeba kyslíku (CHSK), což je hmotnostní koncentrace kyslíku ekvivalentní hmotnosti silného oxidačního činidla spotřebovaného na oxidaci oxidovatelných látek v 1 l vody.

Nerozpuštěné částice způsobující zákal vody. Zákal se udává v jednotkách $ZF_{n,t}$. Částice mohou být anorganického i organického původu.

Bakterie a viry. Přítomnost se udává počtem kolonie tvořící jednotky v objemu stanoveném vyhláškou č. 252/2004 Sb. [5] Nejvíce se sleduje obsah *Escherichia Coli*, jako

indikátoru fekálního znečištění, a koliformních bakterií, jako indikátoru patogenních bakterií a virů.

Fytoplankton a zooplankton. Opět nežádoucí znečištění, které negativně působí na zdraví spotřebitele. Největší pozornost je věnována řasám a sinicím.

2.1.1 Technologie úpravy vody

Metody úpravy vody obecně dělíme na mechanické, chemické a fyzikálně chemické. Mechanické metody vychází z fyzikálních zákonů. Jedná se o separační metody, při kterých nedochází ke změně složení upravované vody. Patří sem sedimentace, flotace a filtrace. Nejdůležitější separační technikou je bezesporu filtrace. Ta je při úpravě vody stěžejní, někdy dokonce jedinou, separační metodou. Naproti tomu chemické a fyzikálně chemické metody jsou založeny na interakci přidané chemické látky se znečišťující látkou, kterou je třeba odstranit. Výsledkem je usnadnění separace, či neutralizace znečišťujících látek. Z konkrétních postupů sem patří koagulace, srážení, výměna iontů, adsorpce a oxidace. Samotná technologická linka je potom vyjádřena jako souhrn dílčích operací, které se zaměřují na různá kritéria úpravy vody.

Úprava vody sestává z několika základních procesů. Mechanická předúprava má význam u povrchových vod, kdy je ze surové vody třeba odstranit písek, štěrk, listí a jiné větší částice, které by mohly poškodit zařízení úpravny. K tomuto se využívají česle, lapáky písku, příp. lapáky štěrku. Úprava pH se zařazuje kvůli nastavení optimálního pH k následné koagulaci. pH se upravuje přidávkou hydroxidu vápenatého, hydroxidu sodného nebo uhličitanu sodného. Číření spočívá v dávkování železitých nebo hlinitých solí do povrchové vody. Vytvoří se téměř nerozpustný hydroxid železitý, resp. hlinitý, který agreguje do větších celků a strhává s sebou koloidní částice obsažené ve vodě. Vzniklá suspenze je odstraněna separací. Ta může být jednostupňová nebo dvoustupňová. Pokud je surová voda vysoké kvality a při úpravě nevzniká velké množství suspendovaných částic, lze jako jediný separační stupeň použít filtraci. Naproti tomu dvoustupňová separace suspenze zahrnuje sedimentaci a filtraci. V sedimentační nádrži se usadí převážná část suspenze, zbytek se již odstraní na filtrech. Posledním procesem při úpravě vody je její hygienické zabezpečení, tedy desinfekce.

2.1.2 Stabilizace vody – odkyselování

Odkyselování je technologický proces, kterým se z podzemních vod odstraňuje agresivní oxid uhličitý. Agresivní CO_2 se odstraňuje především kvůli jeho korozivním účinkům na kovové i betonové konstrukce a také z hygienických důvodů. Agresivní voda rozpouští železo, měď, zinek a olovo. V případě rozpouštění vodovodního potrubí tak může docházet ke zdravotnímu poškození odběratele pitné vody. Kovové materiály potrubí podléhají zejména elektrochemické korozi, jejíž rychlost závisí na koncentraci rozpuštěného kyslíku, pH a iontovém složení vody.

Voda se odkyseluje dvěma způsoby: mechanicky, nebo chemicky. Při mechanickém odkyselování se pouze odstraní agresivní CO_2 , přičemž nedochází ke změnám koncentrací iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} . Chemické odkyselování vyžaduje přidávek chemické látky, nejčastěji vápna. Zároveň se však mění koncentrace Ca^{2+} a Mg^{2+} . Provozně je odkyselování řešeno s odželezováním a odmanganováním.

2.1.2.1 Mechanické způsoby odkyselování

Základ mechanického odkyselování tkví v provzdušňování. Henryho zákon popisuje koncentraci rozpuštěného CO_2 ve vodě podle parciálního tlaku CO_2 ve vzduchu. Promývá-li se voda čerstvým vzduchem, udržuje se nízký parciální tlak CO_2 a veškerý CO_2 lze teoreticky odstranit. Ve skutečnosti však ve vodě zůstává 5-7 mg.l^{-1} CO_2 . [6]

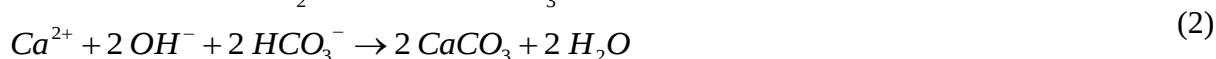
Takový postup je vhodný při vyšším obsahu CO_2 a iontů Ca^{2+} , Mg^{2+} a HCO_3^- . Účinnost odkyselování je dána mírou dosažení uhličitánové rovnováhy. Při jejím překročení naopak dochází k vysrážení CaCO_3 . Při nízkém obsahu iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} se používají dva stupně odkyselování. První je mechanický, tedy provzdušňování, druhý chemický slouží k upravení obsahu vápenatých a hořečnatých iontů ve vodě. Pokud voda obsahuje železo ve formě $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, část volného CO_2 se váže na železnaté ionty. Tento vázaný CO_2 se uvolní až po oxidaci Fe^{2+} na Fe^{3+} , která je značně ovlivněna hodnotou pH.

Jako provzdušňovací zařízení se nejčastěji používají aerátory. Jinou možností jsou provzdušňovací věže či skrápěné náplňové kolony. Účinnost provzdušňovacích zařízení závisí na množství promývaného vzduchu a na velikosti fázového rozhraní voda-vzduch. Dochází k uvolnění CO_2 z přesyceného vodního roztoku a zároveň k sycení vody vzdušným kyslíkem. Výsledkem je snížení koncentrace volného CO_2 se současným zvýšením pH.

2.1.2.2 Chemické způsoby odkyselování

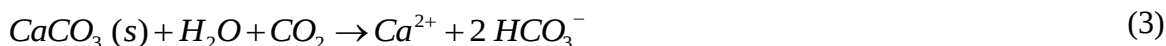
Principem chemického odkyselování je navázání CO_2 na odkyselovací hmoty (mramor, magno, dolomit, fermago aj.) nebo jeho neutralizace přidavkem alkálií. Obvykle se používá vápno, případně uhličitán nebo hydroxid sodný. Přídavek vápna je vhodný pro vody s nízkým obsahem iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} , protože během procesu se jejich koncentrace ve vodě zvyšuje.

Nejčastěji používané a zároveň provozně výhodné je dávkování vápna. Používá se hlavně ve velkých provozech, kde je problematické dávkování vápenného hydrátu snáze kontrolováno. Přidavkem hydroxidu vápenatého mohou probíhat reakce:



První reakce (1) popisuje odstraňování volného CO_2 . Při přebytku vápna probíhá druhá reakce (2), kdy se částečně odstraňuje vápník a hydrogenuhličitany ve formě nerozpustného CaCO_3 . Dávka hydroxidu vápenatého by měla být taková, aby se ustálila vápenato-uhličitánová rovnováha. Teoretická dávka je 0,84 $\text{mg Ca}(\text{OH})_2$, resp. 0,636 mg CaO na 1 mg CO_2 . Na každých 10 mg/l odstraněného CO_2 se však zvýší koncentrace HCO_3^- o 13,8 mg/l . Teoretickou dávku je tedy třeba brát pouze orientačně. [6]

U menších úprav jsou vhodnější alternativou odkyselovací hmoty v granulované formě. Tyto jsou většinou plněny do tlakových filtrů, přičemž na jejich povrchu dochází samovolně k chemickým reakcím. Nejznámější hmotou je mramorová drť, jejíž účinek je vyjádřen rovnicí vápenato-uhličitánové rovnováhy (3):



Další výhodou, kromě samovolného odkyselování, jsou vlastnosti některých materiálů, které umožňují současné odželezování, příp. odmanganování.

2.1.3 Koagulace

Koagulace je základním principem čiření vody. Jedná se o fyzikálně-chemický proces, který slouží k převedení koloidních a jemně suspendovaných látek na separovatelnou suspenzi. Do vody se přitom dávkuje soli železa či hliníku, které hydrolyzují na hydroxidy:



Vzniklé hydroxidy jsou příkladem hydrofobní koloidní disperze neboli koloidního solu. Na jejich povrch se sorbují ionty Fe^{3+} , resp. Al^{3+} , které dávají částicím kladný náboj. Ten sice brání samotným částicím v agregaci, elektrostatickými silami ovšem přitahuje opačně nabitě částice z roztoku. Tím se vytvoří tzv. adsorpční vrstva, která je na částici poměrně pevně zachycena. Další nabitě částice se již pohybují s kapalinou a tvoří tzv. difuzní vrstvu. Mezi adsorpční a difuzní vrstvou vzniká potenciální rozdíl zvaný zeta potenciál ζ , jehož velikost je limitující pro koagulační proces. K agregaci koloidní disperze je třeba zeta potenciál snížit, což nazýváme destabilizací.

Jednou z možností destabilizace je použití solí s opačným nábojem, čímž se dosáhne koagulace (shlukování). Koloidní částice přítomné ve vodě jsou přitahovány opačně nabitými hydroxidy železa, resp. hliníku. Ty se shlukují do agregátů, které svou velikostí přesahují částice koloidní disperze. Použít lze také hydrofilní koloidy, konkrétně polymerní flokulanty, které tvoří vazbu mezi částicemi solu a molekulami polymeru.

2.1.3.1 Kinetika koagulace

Z destabilizovaných částic vzniknou vločky pouze za předpokladu, že mezi nimi dojde ke srážce. Tu lze charakterizovat dvěma mechanismy. Perikinetická fáze je založena na Brownově pohybu, což je neustálý chaotický pohyb částic. Orthokinetická fáze vysvětluje srážky částic jako závislost na rozdílné rychlosti pohybu různých částí kapaliny. Jiné vysvětlení orthokinetické fáze vychází z gravitace. Předpokládá, že se částice s různou hmotností, a tím různou sedimentační rychlostí, při usazování sráží s jinými částicemi.

Obecně lze rychlost koagulace posoudit podle frekvence, s jakou přicházejí částice do kontaktu, a také podle agregátní stability částic. Frekvenci srážek kromě již zmíněných transportních mechanismů ovlivňují charakteristiky kapaliny, např. teplota, viskozita a proudění. Faktor stability, v tomto případě koeficient kolizní účinnosti, je poměr mezi srážkami, které vedou ke spojení, a celkovým počtem srážek částic. Pokud se částice srazí a nespojí, jedná se o stabilní systém. Agregátní stabilita je ovlivněna především chemickými vlastnostmi vodního prostředí a povrchovými vlastnostmi částic.

Pro tvorbu separovatelných agregátů má značný význam také flokulace. Jedná se o přísun mechanické energie ve formě míchání, který zvýší počty srážek částic, a tím usnadní vznik agregátů. V praxi se k flokulaci využívá propojení flokulačních nádrží s různou intenzitou míchání. V první nádrži je intenzita míchání nejvyšší kvůli vzniku vloček, v následujících nádržích se postupně snižuje, aby se zbytečně nerozbíjely vzniklé vločky. Pro podporu srážení se přidávají chemické látky, tzv. flokulanty. Flokulace nejčastěji probíhá ve dvou stupních s dobou zdržení asi 10 minut. Vzniklé vločky bývají velikosti 30-50 μm . [7]

2.1.3.2 Koagulační činidla

Účinnost koagulace závisí na zvolené hodnotě pH. Ta ovlivňuje stabilitu koloidů a účinek koagulantu. Před koagulací se zařazuje předalkalizace vápnem nebo sodou, aby bylo dosaženo optimálního pH pro koagulaci. Pro koagulaci v zásadité oblasti se používají jen železité koagulanty, a to při pH nad 8,5. Další možností je koagulace v neutrální a kyselé oblasti. Železité koagulanty se používají při pH 4,5 až 6,0, hlinité při pH 5,5 až 6,5. Aby však v roztoku nezůstalo mnoho koagulantu, doporučuje se pracovat se železitými ionty do pH 5,3 a s ionty hlinitými do pH 5,8. [7]

Jiným faktorem, který ovlivňuje účinnost koagulace je dávka koagulantu. Je nutné experimentálně stanovit optimální dávku koagulantu. Při nízké dávce nejsou částice dostatečně destabilizované, naopak při vysoké dávce koagulantu dochází pouze k dalšímu přísunu iontů, čímž získáme nabitě částice.

Při rozhodování mezi řadou koagulantů je třeba brát v úvahu, že některé nečistoty upřednostňují železité, a jiné hlinité soli. Tato afinita částic ke koagulantům je ovlivněna obsahem některých iontů ve vodě, např. vápníku a hořčíku. Nejčastěji se používají koagulační činidla:

Prefloc – 40% roztok síranu železitého. Vyrábí se oxidací síranu železnatého, jakožto odpadního produktu při výrobě titanové běloby. Oxiduje se chlorečnanem sodným.

Feripres – 40% roztok síranu železitého. Oxidace síranu železnatého vzdušným kyslíkem za vysokých teplot a tlaků.

Síran železitý, chlorid železitý, síran hlinitý.

Stále častěji se využívají polymery, zejména hlinité koagulanty.

Polyaluminium chlorid (PAC) - 10-17% Al_2O_3 . V koncentrovaném roztoku probíhají hydrolytické reakce hliníku, proto je koagulační proces účinnější.

2.1.4 Sedimentace

Po vytvoření agregátů následuje separační stupeň, ve kterém se vločky odstraní. Při vícestupňové úpravě vody je to sedimentace a filtrace, při jednostupňové úpravě samotná filtrace. Sedimentace pro usazování částic využívá gravitační pole. Částice s vyšší specifickou hmotností než kapalina sedimentují. Sedimentace vychází ze Stokesova zákona, který definuje rychlost usazování částic v_s :

$$v_s = \frac{g \cdot \Delta\rho \cdot d_p^2}{18 \cdot \mu}, \quad (6)$$

kde

- g tíhové zrychlení [m.s⁻²]
 $\Delta\rho$ rozdíl hustot částic a kapaliny [kg.m⁻³]
 d_p velikost částic [m]
 μ dynamická viskozita kapaliny [Pa.s]

Sedimentační nádrže se navrhují podle povrchového zatížení. To je vyjádřeno rovnicí:

$$v = \frac{Q}{A}, \quad (7)$$

kde

- v povrchové hydraulické zatížení [m³.m⁻².h⁻¹]
Q průtok vody [m³.h⁻¹]
A plocha nádrže [m²]

Vertikální nádrže mají povrchové zatížení 0,6-0,7 m.h⁻¹, horizontální 1,0-1,2 m.h⁻¹. Podle Stokesova zákona hloubka sedimentační nádrže nemá vliv na usazování částic, ale vzhledem k možným turbulencím u dna nádrže se doporučuje hloubka alespoň 2,5 m. Dalším důležitým parametrem je doba zdržení. Teoretická doba zdržení se vypočte ze vztahu:

$$t_v = \frac{V}{Q}, \quad (8)$$

kde

- t_v teoretická doba zdržení [h]
V objem nádrže [m³]
Q průtok vody [m³.h⁻¹]

Pro úpravu vody se používají sedimentační nádrže s horizontálním průtokem a navrhují se podélné nebo kruhové. Do podélné nádrže natéká voda ze žlabu, čímž je zajištěno rovnoměrné rozložení vtokových proudů. Odsazená voda odtéká na opačném konci nádrže než je nátok. Do kruhové nádrže voda přitéká vřetovým středem, odkud postupuje k obvodu. Kal je shrabován do středu nádrže.

2.1.5 Filtrace

Poslední separační stupeň při úpravě vody za sedimentací, čiřičem nebo flotací je filtrace. V jednostupňových úpravách je po koagulaci a flokulaci filtrace jediný separační stupeň. Principem filtrace je průtok vody přes zrnitý materiál, který zachytí suspendované látky. Jedná se o nejstarší a nejpoužívanější fyzikálně-chemický proces v technologii úpravy vody. Základní hydraulickou charakteristikou filtrace je filtrační rychlost, která je definována následovně:

$$v = \frac{Q}{F}, \quad (9)$$

kde

v filtrační rychlost [m.h^{-1}]
 Q průtok vody filtrem [$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$]
 F plocha filtru [m^2]

Filtry mohou být dle konstrukčního uspořádání otevřené, uzavřené (tlakové) nebo kontinuálně pracující. Otevřené filtry se dále dělí na pomalé a rychlé. Pomalá filtrace je založena na separačních procesech mikroorganismů přisedlých na zrnech písku. Filtrační rychlost pomalé filtrace je $0,1-0,3 \text{ m.h}^{-1}$. Naproti tomu rychlofiltrace, nebo také písková filtrace, je charakterizována filtrační rychlostí $4-7 \text{ m.h}^{-1}$. Uzavřené filtry jsou nejčastěji stojaté válcové nádrže, které pracují při tlaku $0,4-0,6 \text{ MPa}$. [8]

Jiné dělení filtrů vychází z druhů náplně. Nejjednodušší jednovrstvé filtry se během filtrace zanáší, proto byly vyvinuty vícevrstvé filtry, které využívají různé velikosti zrn. Nejdříve voda protéká přes zrna větší velikosti a suspenze tak neucpává jemný materiál, na kterém se zachytí menší částice. Z používaných materiálů je nejčastější křemenný písek. Použit lze i antracit, granulované uhlí, plastové granule nebo křemelinu.

Filtrační cyklus sestává ze tří základních fází: zafiltrování, filtrace a praní filtru. Zafiltrování je proces uvedení regenerovaného filtru do provozu a trvá řádově 5-20 minut. První podíl filtrátu neodpovídá požadované kvalitě, proto je vypouštěn do odpadu. Samotná filtrace slouží k odstraňování suspendovaných látek z vody. Provozní doba filtru bývá od 12 hodin až po několik dní, doporučuje se alespoň 24 hodin. Délka filtračního cyklu je určena podle zhoršení kvality filtrátu a vyčerpání tlakové ztráty. Během filtrace se postupně zmenšuje průtočný profil v náplni a při dosažení kritické tlakové ztráty za filtrem je třeba jej vyprat. Praní filtru trvá 15-30 minut a je rozděleno do tří fází. Filtrační lože se nejprve uvede do pohybu vzduchem, po chvíli vzduchem a vodou a nakonec samotnou vodou. Vzduch je pro praní výhodný, protože nadnese zrna filtrační náplně a vytvoří mezi nimi prostory. Voda následně částice od zrn uvolní a odnese do odtoku. Při praní filtru je kladen důraz na spotřebu prací vody, snahou je použití 1-2 % objemu filtrátu z jednoho cyklu.

Při hodnocení separační účinnosti filtrů se uplatňují i hydrobiologické metody. Slouží k posouzení zanášení náplně, či kalu a nárostů. Nárosty mohou tvořit zelené řasy, sinice, bakterie nebo mykotické povlaky. Přítomnost rozsivek zhoršuje organoleptické vlastnosti a řasy vedou k ucpání filtrů. [9]

2.1.6 Odželezování a odmanganování vody

Podzemní vody obsahují zpravidla vyšší koncentrace železa a manganu. Tyto prvky zhoršují organoleptické vlastnosti vody a způsobují technické problémy. Zejména vysoký obsah manganu má vliv na barvu a chuť vody, zákal. Nemalé problémy způsobuje usazování vysrážených sloučenin kovů a nezdědká také dochází k zarůstání vodovodních potrubí železitými a manganovými bakteriemi. Železo se ve vodě může vyskytovat v dvojmocné formě v redukčním prostředí, trojmocné jako hydroxid železitý v oxickém prostředí. Mangan železo zpravidla doprovází. Ten se vyskytuje téměř výhradně ve dvojmocné formě. Vyhláška

252/2004 Sb. [5] stanoví limitní koncentrace celkového železa v pitné vodě meznou hodnotou 0,2 mg.l⁻¹ a manganu meznou hodnotou 0,05 mg.l⁻¹.

Snížení obsahu železa a manganu spočívá v převedení iontových forem na nerozpustné sloučeniny a následné separaci sedimentací a filtrací. Děje se tak oxidací, kdy vznikají hydroxid železitý a hydratovaný oxid manganičitý, které dávají vodě rezavou barvu. Při nízkém obsahu obvykle stačí jednostupňová úprava se separací filtrací, při vyšších koncentracích se před filtrací suspenze zařazuje sedimentace. Princip odželezování a odmanganování popisují reakce:



V praxi se aplikuje odželezování provzdušňováním, odželezování a odmanganování vápnem, oxidačními činidly a kontaktním odmanganováním na písku preparovaném oxidy manganu. K oxidaci se jako oxidační činidlo používá vzdušný kyslík, nebo silná oxidační činidla jako KMnO₄, O₃ nebo Cl₂. Rychlost oxidace je ovšem velmi závislá na hodnotě pH, přičemž s rostoucím pH roste. Železo se přitom snadno oxiduje už při pH kolem 7, k oxidaci manganu je třeba pH zvýšit. Není-li dosaženo požadované hodnoty pouhým provzdušněním, dávkuje se obvykle vápno.

2.1.6.1 Odželezování provzdušňováním

Provzdušňování je společný technologický postup pro odkyselení vody a odstranění železa. Při odkyselování dochází ke snížení obsahu agresivního CO₂, a tím ke zvýšení pH, které je pro oxidaci železa a manganu limitující. Železo se snadno oxiduje už při pH 7,0 až 7,5, mangan až při pH kolem 9. Takových hodnot však při provzdušnění nelze dosáhnout, budeme tedy uvažovat pouze oxidaci Fe²⁺.

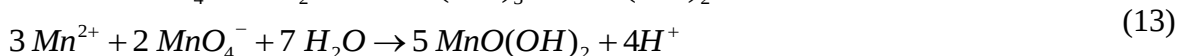
Při provzdušňování je limitním parametrem množství vzdušného kyslíku rozpuštěného ve vodě. Používají se stejná zařízení jako u mechanického odkyselování vody. Vyšší obsah železa je na druhou stranu spojený s tvorbou Fe(OH)₃, který se v aerátorech usazuje, proto je třeba zařízení pravidelně čistit.

2.1.6.2 Odželezování a odmanganování oxidačními činidly

Oxidace KMnO₄

Silná oxidační činidla reagují s železnatými a manganatými ionty poměrně rychle i v oblasti neutrálního pH vody, ke zrychlení oxidace je však víc než žádoucí před oxidací upravit pH vody. Vznikající hydratovaný oxid manganičitý má navíc katalytické účinky na oxidaci manganatých iontů, resp. je adsorbuje a následně oxiduje. Tím se optimální dávka manganistanu může snížit, na druhou stranu se spotřebovává na další oxidační reakce. Teoretická dávka se tak od optimální dávky může značně lišit. V úvahu je třeba brát i skutečnost, že lepšího odstranění manganu se dosahuje při polovičních než při stechiometrických dávkách. [10, 11] Z ekonomického hlediska je výhodné železnaté ionty napřed zoxidovat vzdušným kyslíkem a KMnO₄ použít až na oxidaci manganatých iontů,

protože se jedná o drahou chemikálii. Manganistan stačí dávkovat před separační stupeň – sedimentaci, čířiče nebo filtry. Při oxidaci KMnO_4 probíhají reakce (12), resp. (13).



Nevýhodou použití KMnO_4 jako oxidačního činidla je jeho vysoká cena, dlouhá reakční doba a toxické, či dráždivé účinky na pokožku. Nespornou výhodou je snižování koncentrace škodlivých trihalogenmethanů. Spojení oxidace manganistanem s adsorpcí na granulovaném aktivním uhlí (GAU) a biologickými procesy dává účinnost odstranění manganatých iontů až 95 %. [10]

Další možná oxidační činidla jsou ozon nebo chlor. Ozon je nejsilnější oxidační činidlo, které účinně oxiduje železo i mangan bez ohledu na pH vody. Výraznému rozšíření použití ozonu v praxi brání vyšší investiční náklady. Používá se především v případě dalšího využití ozonu, např. při desinfekci. Možné je také použití chloru, rychlost oxidace je však opět závislá na pH vody, doporučuje se tedy pouze k oxidaci železa.

2.1.6.3 Odželezování a odmanganování preparovaným pískem

K odstranění železa a manganu současně se v praxi také používá filtrace přes zrnitý materiál vykazující katalytické účinky oxidace. Preparovaný písek je běžný křemenný písek, který je potažen vrstvičkou oxidu manganičitého. Preparované lože vzniká samovolně za provozu nebo dávkováním manganistanu draselného. Při odmanganování se na písku vytváří aktivní vrstva, která obsahuje CaCO_3 , Fe_2O_3 a MnO_2 , přičemž katalytické účinky má MnO_2 , ostatní složky aktivitu snižují. Kromě MnO_2 má katalytické účinky na adsorpci dvojmocného manganu i MnCO_3 . [12] Dávkování KMnO_4 se používá i k regeneraci preparovaného písku. Manganistan totiž snadno oxiduje přítomné ionty Mn^{2+} právě na MnO_2 . [13, 14] Při kontaktním odmanganování nejdříve probíhá adsorpce iontů Mn^{2+} na vázaný MnO_2 a následně dochází k oxidaci. I při nepříznivých podmínkách oxidace (pH, oxidačně-redukční potenciál - ORP) se filtrací na preparovaném písku zoxiduje až 78 % železnatých a manganatých iontů. Za optimálních podmínek dochází k odstranění 85-95 % veškerého železa a manganu. [15] Preparovaný písek navíc účinně odstraňuje organický uhlík, zákal (90 %) a u odpadních vod až 93 % celkového fosforu. [16]

K oxidaci Mn^{2+} na preparovaném písku přispívají také manganové bakterie, zejména rodu *Siderocapsa*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Leptothrix* a *Gallionella*. S takovým biofilmem lze ionty železa i manganu odstranit pouze jednostupňovou úpravou na preparovaném písku. [17] Oxidace Fe^{2+} je i přesto rychlejší než oxidace Mn^{2+} , ve srovnání s abiotickou oxidací je rychlost biotické reakce o několik řádů vyšší. [18]

Zařízení pro odmanganování filtrací přes preparovaný písek jsou stejná jako pro klasickou objemovou filtraci. Preparovaný písek se tak dá zároveň použít i jako filtrační materiál pro separaci suspenzí. Společné odstranění železa a manganu filtrací provzdušněné vody přes preparovaný písek je vhodné při nižších koncentracích Fe a Mn, asi do 3 mg.l^{-1} . Při vyšším obsahu je třeba vodu upravovat ve dvou stupních, nejčastěji sedimentací a filtrací.

2.1.7 Desinfekce

Než je upravená voda dopravena ke spotřebiteli, je třeba ji hygienicky zabezpečit. Důvodem je ochrana proti přenosu infekčních onemocnění a vstupu živých organismů do vody, resp. bakteriologická nezávadnost. Konkrétní způsob desinfekce se volí podle zdroje a charakteru surové vody, způsobu úpravy vody, dopravy a v neposlední řadě podle provozních nákladů. Samotný účinek použité chemické látky závisí na koncentraci, době kontaktu a na bakteriálním znečištění vody.

Existují dva základní způsoby desinfekce, a to fyzikální a chemické. Méně časté je použití fyzikálních metod, mezi které se řadí teplo a ultrafialové záření. Z chemických látek se používá chlor, oxid chloričitý a ozon. Výběr metody však musí odpovídat individuálním požadavkům.

2.1.7.1 Volný chlor

Nejrozšířenější metodou je chlorace, která využívá desinfekčních a chloračních účinků kyseliny chlorné. Ta vzniká ve vodě při pH 6-8 dávkováním plynného chloru nebo chlornanu. Ve vodě je potom chlor přítomen jako směs nedisociované kyseliny chlorné a chloridu (14).



Pro desinfekci je limitující právě rychlost rozpadu kyseliny chlorné:



Plynný chlor se zpravidla používá pro větší spotřeby, jinak jsou tyto látky pro desinfekci rovnocenné. Technický chlornan sodný obsahuje asi 14 % aktivního chloru.

Chlor má omezenou účinnost na viry, na cysty prvoků dokonce nulovou. Dávkované množství chloru bývá asi 0,2-0,5 mg.l⁻¹, přičemž obsah volného chloru u spotřebitele by se měl pohybovat kolem 0,1 mg.l⁻¹. Podle místa zařazení dávkování chloru rozlišujeme prostou chloraci, předchloraci, dochlorování a chloraminaci. [3]

Vedlejší produkty

Nevýhodou použití chloru je možný vznik specifických sloučenin, zejména THM – trihalogenmethanů, HAA – haloctových kyselin a dalších nespecifických chlorderivátů, které se vyznačují karcinogenitou. Vznikají haloformovou reakcí halogenu s organickými látkami v alkalickém prostředí. Nejvýznamnějšími produkty jsou jistě haloformy, z jejichž zástupců lze v pitných vodách nalézt trichlormethan, bromdichlormethan, či tribrommethan. Prekurzory THM jsou zejména přirozené organické makromolekuly, např. huminové látky, je tedy zřejmé, že tvorba trihalogenmethanů bude převládat u povrchových vod. Nebezpečím haloformové reakce je její malá rychlost, karcinogenní látky tak vznikají až ve vodovodní síti. Z haloctových kyselin se nejčastěji vyskytuje kyselina dichloroctová a trichloroctová. Stejně jako u trihalogenmethanů jsou stanoveny limitní koncentrace v pitné vodě. Z méně významných vedlejších produktů lze v pitné vodě nalézt nižší alifatické chlorované kyseliny, bromované haloctové kyseliny, chlorovaný acetonitril aj. [19]

Spousta chlorovaných vedlejších produktů vykazuje závislost poškození DNA, chromozomů a cytotoxicitu na dávce desinfekčního činidla. Také oxidativní stres, který může

vést k buněčné smrti, byl definován závislostí na koncentraci THM a HAA. Jistý vliv mají tyto vedlejší produkty i na rakovinu ledvin a krve u lidí. [20] Právě kvůli charakteru vedlejších produktů se v současné době preferuje nahrazení chlorace alternativními desinfekčními metodami. Každá metoda desinfekce má vedlejší produkty, i přesto je možné nalézt vhodnou metodu či kombinaci metod, která by nebyla zdravotním rizikem pro spotřebitele.

2.1.7.2 Chloraminace

Možná forma chlorace vody s obsahem amonných iontů je chloraminace. Reakcí chloru s přítomnými amonnými ionty vznikají chloraminy, přičemž desinfekční účinek mají pouze formy mono a dichloraminové (16), (17). Trichloramin vzniká až při vyšších dávkách chloru a vyšším pH (18).



Anorganické chloraminy jsou ve vodě stálější než chlor, koncentrace chloru se tedy snižuje pomaleji. Po desinfekci chlorem postačí reakční doba 20-30 minut, u chloraminace je nutné zdržení alespoň dvě hodiny. Chloraminy jsou méně účinné, s čímž souvisí i menší množství vedlejších produktů chlorace. Chloraminy navíc účinně snižují koncentraci THM a HAA. Tato metoda je vhodná pro odstranění amonných iontů z vody nebo pro případy dlouhého zdržení pitné vody ve vodovodní síti. Předpokladem použití chloraminace je dobrá mikrobiologická kvalita vody. Jako zdroj amonných iontů se dávkuje síran amonný a tomu odpovídající dávka chloru.

2.1.7.3 Oxid chloričitý

V poslední době je evidentní snaha nahradit nejpoužívanější chloraci metodou, při které by nedocházelo ke vzniku takových vedlejších produktů, jakými jsou THM a HAA. Jednou z možností je použití oxidu chloričitého. Oxid chloričitý totiž nepůsobí téměř vůbec chloračně, ale pouze oxidačně, navíc má silnější baktericidní účinek než chlor. Baktericidní účinky jsou přitom dány reakcí s aminokyselinami. Při nižších než stechiometrických dávkách ClO_2 nedochází ke změnám ve struktuře aminokyselin. Při vyšších dávkách vznikají krátké uhlíkaté řetězce, které svědčí o rozkladu aminokyselin. [21] Naproti tomu kapsidový protein virů zůstává po aplikaci ClO_2 nedotčený. [22] Jeho použití je však limitováno jistými nevýhodami, a to především přípravou na místě spotřeby a podezřením z karcinogenity vznikajícího chloritanu. ClO_2 snadno oxiduje manganaté, železnaté ionty i sulfidy, naopak se neoxidují amonné ionty a bromidy. [22] Uvádí se, že na oxidaci 1 mg.l^{-1} železa je třeba $1,2 \text{ mg.l}^{-1} ClO_2$, na oxidaci 1 mg.l^{-1} manganu $2,5 \text{ mg.l}^{-1} ClO_2$. [23]

ClO_2 je činidlo, které se vyznačuje absencí relevantní toxicity reakcí nebo vedlejších produktů. Zlepšuje organoleptické vlastnosti vody účinnou oxidací manganatých a železnatých iontů a sulfidů. Desinfekční kapacita ClO_2 je přitom mnohem vyšší než je tomu u plynného chloru. Reakční doba se uvádí 3-6 minut. Oxid chloričitý je málo stabilní plyn, proto se musí připravovat na místě spotřeby. Směs plynu obsahující více jak 10 % obj. ClO_2 je výbušná. [22]

Oxid chloričitý se připravuje reakcí chloritanu s plynným chlorem, příp. kyselinou chlorovodíkovou:



Do vody se potom dává max. 2% roztok oxidu chloričitého. Oxid chloričitý je silným oxidačním činidlem, a to jak v kyselém, tak v zásaditém prostředí. Redukuje se přitom na chloritany a na chloridy:



Jednotlivé formy výskytu jsou závislé na pH a oxidačně-redukčním potenciálu. V zásadité oblasti dochází k disproporciační reakci oxidu chloričitého:



Při vyšších hodnotách pH se tedy ClO_2 redukuje na ClO_2^- , přičemž pro rozvody pitné vody se upřednostňuje právě vyšší pH kvůli korozi. [18] Po nadávkování ClO_2 ve vodě vznikají chloridy i chloritany. Koncentrace ClO_2^- se udává v poměru k dávce ClO_2 a v literatuře lze nalézt hodnoty 60 % [23], 80 % [24], po deseti až dvaceti hodinách dokonce téměř 100 % [25]. Ve vodě se také mohou vyskytnout chlorečnany, a to v případě nesprávné výroby ClO_2 nebo reakcí chloritanů s volným chlorem. Obsah chloritanů a chlorečnanů je značně závislý na původní koncentraci ClO_2 a době zdržení. [26]

Vedlejší produkty

Při desinfekci oxidem chloričitým nedochází ke vzniku halogenovaných produktů. ClO_2 nemá chlorační účinky, dochází pouze k oxidaci, konkrétně u přírodních organických látek za vzniku lehce rozložitelných karbonylových sloučenin a karboxylových kyselin s krátkým řetězcem. Oxid chloričitý se poměrně rychle rozkládá, v distribuční síti lze proto sledovat pouze vedlejší produkty. Jedním z hlavních produktů rozkladu ClO_2 jsou chloritany. Ty se vyznačují pomalou desinfekcí a slabým baktericidním účinkem. Chloritany jsou však především zdraví škodlivé. Bylo prokázáno, že způsobují methemoglobinémii. Dále mají vliv na vývoj plodu a zdraví novorozence, kde dochází k poškození buňkových membrán červených krvinek a navíc může být ovlivněn nervový systém dětí. [23]

ClO₂ a Cl₂

Možnou náhradou chlorace je použití samotného oxidu chloričitého, efektivní desinfekce však lze dosáhnout i společným dávkováním chloru a chlórdioxidu. Při nižších dávkách chloru se sníží obsah trihalogenmethanů a halooctových kyselin, v jeho přítomnosti se také sníží obsah vedlejších produktů desinfekce ClO₂ – chloritanů. Chlor přitom nemá vliv na rozklad oxidu chloričitého ve vodě. Vhodně zvoleným poměrem těchto dvou činidel lze dosáhnout efektivní desinfekce s minimálním množstvím vedlejších produktů.

Zlepšení nabízí také baktericidní účinek. Samotný chlor je víceméně neúčinný, ale už směs v poměru chlor:oxid chloričitý 20:80 zaručuje stejnou účinnost jako samotný oxid chloričitý. [27] Podobně pozitivní závěr lze stanovit u komunálních odpadních vod, kdy při poměru chlor: oxid chloričitý 30:70 bylo odstraněno 90-99,9 % veškerých koliformních bakterií a fekálních streptokoků. [28]

2.1.7.4 Ozon

Ozon je nejsilnější oxidační činidlo s nejvyšším redoxním potenciálem, což zaručuje vysokou desinfekční účinnost i zlepšení organoleptických vlastností. Ozon je vysoce toxický a korozivní plyn, který se připravuje na místě spotřeby ze suchého vzduchu nebo čistého kyslíku elektrickým výbojem při vysokém napětí. Vzniklý roztok obsahuje 3-5 mg.l⁻¹ O₃.



Ozon se rychle rozkládá za současného odštěpení atomárního kyslíku, přičemž právě atomární kyslík ve stavu zrodu má silné oxidační účinky. Oxidace se týká jak mikroorganismů, tak organických látek, které může oxidovat až na CO₂ a vodu. Dokonale oxiduje mikropolutanty obsahující fenoly, aminy, či dvojnou vazbu. [29] K účinné inaktivaci např. koliformních bakterií přitom stačí doba zdržení pouze 2 minuty. [30] Po rozpuštění ozonu se do technologického procesu zařazuje tzv. vymírací nádrž. Slouží ke snížení koncentrace ozonu a doba zdržení je asi 30 minut. Doporučená filtrace na granulovaném aktivním uhlí má význam v odstranění oxidačně štěpných organických látek. Ozon se poměrně rychle rozkládá, proto je pro dostatečné hygienické zabezpečení vody v síti nutná ještě následná chlorace.

Kromě desinfekce lze ozon díky jeho značným oxidačním vlastnostem použít i k odželezování a odmanganování, k oxidaci toxických látek, apod. Tím ozon zlepšuje organoleptické vlastnosti vody a usnadňuje rozložení organických nečistot. Úspěšně inaktivuje odolné patogenní organismy, jako jsou prvoci. Ozon se samovolně rozkládá na netoxické produkty, vysoké dávky však opět způsobují zdravotní problémy. Ozon, stejně jako chloraminy, velmi účinně snižuje koncentrace vedlejších produktů chlorace, a to THM až o 80 % a HAA o 70 %. [31, 32] Použití ozonu při úpravě vody je v současné době velmi perspektivní.

2.2 Úpravna vody Bzenec-Přívaz

Úpravna vody Bzenec-Přívaz je největším dodavatelem pitné vody v okrese Hodonín. Zásobuje velká města jako Hodonín, Kyjov a Veselí nad Moravou. K vytvoření skupinového vodovodu této oblasti došlo již v osmdesátých letech a samotná úpravna vody ve Bzenci-Přívazu byla vybudována v rozmezí let 1986-1993. Úpravna jímá podzemní vodu z údolní nivy řeky Moravy ze tří oblastí: Moravský Písek (Bzenec I), Bzenec III-jih a Bzenec III-sever. Povolený odběr z prameniště Bzenec I je 60 l.s^{-1} , z prameniště Bzenec III Sever+Jih 200 l.s^{-1} .

Z vrtů je voda čerpána prostřednictvím čerpacích stanic na ÚV. Voda je na úpravnu dopravována dvěma samostatnými výtlačnými řady, jeden je určen pro jímací oblast Bzenec I, druhý pro směsnou vodu z prameniště Bzenec III-sever a jih. Technologický způsob úpravy vody je klasický dvoustupňový s odželezováním a odmanganováním. Surová voda z prameniště Bzenec I je velmi kvalitní, s nízkým obsahem železa a manganu, ovšem značně kyselá. Surová voda z prameniště Bzenec III S+J se vyznačuje vysokými koncentracemi železa a manganu, což je při úpravě třeba zohlednit. Upravená voda je čerpána do tří vodojemů: Bzenec, Vracov a Dražky. Z vodojemu Bzenec je zásobováno město Bzenec a obec Moravský Písek. Vodojem Dražky zásobuje město Veselí nad Moravou a okolní obce. Vodojem Vracov a kapacitou $2 \times 3000 \text{ m}^3$ je stěžejním pro zásobování oblasti Kyjovska. Úpravna vody Bzenec-Přívaz zásobuje pitnou vodou více než 100 000 obyvatel a výkon úpravní je 250 l.s^{-1} . [33]

2.2.1 Surová voda

Surová voda pochází z kvartérních sedimentů Dolnomoravského úvalu. Jímá se ze tří pramenišť, které se od sebe liší kvalitou vody. Bylo také vybudováno čtvrté prameniště, Bzenec II, které zatím k vodárenským účelům neslouží. Na základě hydrogeologického průzkumu bylo toto prameniště určeno jako možný zdroj surové vody při zvýšení kapacity úpravní. Kvalita surové vody je sledována pravidelnými rozbory podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. [5] a ze získaných hodnot je zřejmé, že kvalita vody se během let téměř nemění. [34]

2.2.1.1 Prameniště Bzenec I (Moravský Písek)

Oplocené prameniště se nachází v lese a je v provozu již od roku 1980. Možným nebezpečím pro zdroj surové vody je nedaleká stará ekologická zátěž chlorovanými uhlovodíky, pocházející z provozů v Moravském Písku (DESTA, KOVO, VELPRUM). Samotný vliv lesa na vodní režim je však příznivý.

V prameništi jsou vybudovány tři linie jímacích vrtů o pěti, šesti a osmi vrtech, které jsou napojeny na násoskový řad. Voda se odebírá jen ze čtrnácti studní a je odváděna do sběrné studny, která je v bezprostřední blízkosti čerpací stanice. Odtud se čerpá násoskovým řadem na ÚV. Surová voda z prameniště Bzenec I se vyznačuje vysokou kvalitou. Nízký obsah železa, manganu i oxidu uhličitého je velkým pozitivem při úpravě na vodu pitnou.

Tab. 1: Složení surové vody z prameniště Bzenec I

KNK _{4,5} (mmol.l ⁻¹)	4,75-4,81	NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	9,9-13,5
ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)	0,99-1,2	Fe (mg.l ⁻¹)	0,92-1,15
Agresivní CO ₂ (mg.l ⁻¹)	7,7-11,8	Mn (mg.l ⁻¹)	0,89-1,36
pH	6,92-6,96	NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)	0,03-0,06

2.2.1.2 Prameniště Bzenec III-jih

Prameniště Bzenec III bylo vybudováno v roce 1994. V prameništi jsou k dispozici dvě linie jímacích vrtů o šesti a pěti jímacích vrtech. Sběrná studna je v blízkosti čerpací stanice, odkud se voda čerpá násoskovým řadem na ÚV. Výtlačný řad je přitom společný pro vodu z prameniště Bzenec III-sever a jih. Surová voda z prameniště Bzenec III-jih splňuje charakteristiky podzemní vody. Vysoký obsah železa, manganu i agresivního CO₂ vyžaduje dvoustupňovou úpravu s odželezováním a odmanganováním.

Tab. 2: Složení surové vody z prameniště Bzenec III-jih

KNK _{4,5} (mmol.l ⁻¹)	4,1-4,11	NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	<1-0
ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)	0,8-1,27	Fe (mg.l ⁻¹)	12,5-12,8
Agresivní CO ₂ (mg.l ⁻¹)	9,98-21	Mn (mg.l ⁻¹)	2,76-3,81
pH	6,81-7,03	NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)	0,51-0,54

2.2.1.3 Prameniště Bzenec III-sever

V prameništi na loukách za Moravským Pískem se nachází dvě linie jímacích vrtů o pěti a čtyřech vrtech. Voda se ze sběrné studny čerpá výtlačným řadem, který je v prameništi Bzenec III-jih napojen na společný výtlačný řad. Surová voda obsahuje rovněž vysoké koncentrace železa a manganu, vysoká je také acidita vody.

Tab. 3: Složení surové vody z prameniště Bzenec III-sever

KNK _{4,5} (mmol.l ⁻¹)	3,56-3,64	NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	<1-0
ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)	0,78-0,95	Fe (mg.l ⁻¹)	6,59-6,88
Agresivní CO ₂ (mg.l ⁻¹)	14,6-18	Mn (mg.l ⁻¹)	1,85-1,93
pH	6,91-6,93	NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)	0,33-0,37

Voda ze všech tří pramenišť prochází níže popsanou dvoustupňovou úpravou, přičemž se neustále kontroluje kvalita upravené vody, viz Tab. 4.

2.2.1.4 Upravená voda

Kontrola kvality upravené vody se řídí programem kontroly jakosti vody a programem odběru vzorků. Pitná voda musí splňovat limitní hodnoty stanovené vyhláškou č. 252/2004 Sb. [5]

Tab.4: Složení upravené vody

KNK _{4,5} (mmol.l ⁻¹)	3,88-4,69	NO ₃ ⁻	3,0-7,3
ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)	0,1-0,4	Fe (mg.l ⁻¹)	<0,03-0,38
CHSK _{Mn} (mg.l ⁻¹)	0,29-1,15	Mn (mg.l ⁻¹)	<0,03-0,04
pH	7,23-7,62	Ca+Mg (mmol.l ⁻¹)	3,34-3,79

2.2.2 Aerace

Dvoustupňová úprava vody sestává z následujících technologických operací: provzdušnění, alkalizace, flokulace, sedimentace, filtrace a desinfekce. Vzhledem k odlišnému složení surové vody Bzenec I a Bzenec III jih + sever, je snahou nařazení vody Bzenec III J+S kvalitní surovou vodou z prameniště Bzenec I. Sníží se tak koncentrace problémových prvků – železa a manganu. Stále se však jedná o podzemní vodu s obsahem agresivního CO₂, proto se jako první technologický proces zařazuje aerace. Ta slouží právě k odkyselení vody provzdušněním, k čemuž se používá 14 provzdušňovačů Inka o výkonu 30 l.s⁻¹. Vedle sebe jsou v provozu dvě sekce, přičemž každá zahrnuje 7 aerátorů. Na provzdušňovače se voda přivádí ze směsné jímky, kde se smíchají vody ze všech tří pramenišť. Odfuk vzduchu z provzdušňovacích prostor je zaveden do volné atmosféry. Účelem provzdušňování je odstranění agresivního oxidu uhličitého, pachotvorných látek a částečná oxidace železa a hydrolýza manganu za současného zvýšení pH vody.

2.2.3 Rychlé míchání

Provzdušněná voda se přivádí z aerátorů do sběrné nádrže rychlého míchání. Do této nádrže je zaústěno dávkování 2% roztoku vápenného mléka. Dávka je stanovena na 80 mg.l⁻¹ Ca(OH)₂. K míchání slouží vertikální lopatkové míchadlo o průměru 1 m, výkon elektromotoru je 4 kW, otáčky míchadla 60 ot.min⁻¹. [35] Vápenné mléko se dávkuje z důvodu úpravy pH před koagulací, čímž se výrazně urychlí oxidace železnatých a hydrolýza manganatých iontů. Dávkování vápenného mléka je problémové, neboť často dochází k ucpávání dávkovacího potrubí suspenzí. Do nádrže rychlého míchání je také umístěno dávkování koagulantu síranu železitého (Prefloc). S ohledem na kinetiku koagulace je třeba po rychlém míchání zařadit i pomalé míchání, tedy flokulaci. Z nádrže rychlého míchání se voda rozděluje do čtyř odtoků, přičemž každý je zaústěn do samostatné flokulační nádrže.

2.2.4 Flokulace

Zalkalizovaná voda je přiváděna do flokulačních nádrží, kde dochází k promíchávání za účelem vytvoření separovatelných vloček. K tomuto se využívají pádlová míchadla s horizontálním uložením hřídele. Uprostřed každé nádrže jsou umístěna dvě bubnová pádlová míchadla. Každé míchadlo má motor s převodovkou o výkonu 3 kW. Míchání je spolu s provzdušňováním nejvíce energeticky náročné, neboť jejich provoz je nepřetržitý.

Flokulace o rozměrech 5,8 x 5,41 x 3,4 m probíhá ve dvou nádržích, ve kterých se úmyslně volí rozdílná intenzita míchání. V první nádrži je intenzita vyšší, aby se zvýšila pravděpodobnost srážek a vzniku vloček. Druhá nádrž s nižší intenzitou míchání slouží k nabalení vloček. Vzhledem k tomuto faktu se volí pomalejší míchání, aby nedocházelo ke zbytečnému rozbíjení vzniklých vloček. Voda ve flokulaci obsahuje velké množství vápna, které se spolu s oxidy železa usazuje na míchadlech, či ve slepých místech flokulační nádrže, což je třeba zohlednit při čištění nádrží a míchadel. Z flokulace je voda vypouštěna do sedimentačních nádrží.



Obr. 1: Pádlová míchadla ve flokulaci

2.2.5 Sedimentace

Po vytvoření vloček následuje první separační stupeň – sedimentace. V provozu jsou k dispozici čtyři sedimentační nádrže. Mezi flokulací a sedimentací, které na sebe přímo navazují, jsou umístěny děrované stěny, které brání vzniku zkratového proudění. Za těmito stěnami jsou umístěny sběrné žlaby, které slouží k odběru plovoucích nečistot. Sedimentační nádrže jsou obdélníkového tvaru, o jednotkovém objemu 592 m^3 . Délka nádrží je 30 m, šířka 5,8 m. Podél stěn nádrže je ve tvaru podkovy ocelový žlab, kterým voda ze sedimentace odtéká. Odsazená voda odtéká společným potrubím ze všech usazovacích nádrží na filtry.

Kal se pravidelně shrabuje mostovým shrabovákem, shromažďuje se ve dvou kalových jímkách o objemu 580 m^3 , kde se zahušťuje a odtud se vypouští na kalové laguny v areálu úpravy. Četnost shrabování je dána množstvím usazené suspenze.

2.2.6 Filtrace

Na filtry, jakožto poslední separační stupeň, přichází voda ze všech sedimentačních nádrží společně. Do přívodního potrubí se dává 0,1% roztok manganistanu draselného, který slouží k aktivaci preparovaného písku na filtrech. K dispozici je šest pískových rychlofiltrů s mezidny seřazených do dvou trojic o jednotkové ploše 70 m^2 . Přítok vody na filtry je společný pro veškerou odsazenou vodu. Náplň filtru je křemenný písek FP2 preparovaný oxidy manganu. Preparovaný písek vznikl samovolně za provozu, katalytické účinky se aktivují přidávkou manganistanu. Oxid manganičitý má katalytické účinky na oxidaci manganu, takže náplň filtru slouží k separaci suspenze přicházející z prvního separačního stupně a současně i k odmanganování. Voda z filtrů odchází do akumulární nádrže, kterou tvoří dvě komory, každá o objemu 5000 m^3 .

Po zanesení filtru následuje praní, které slouží k vyčištění zanesené náplně. Používá se upravená voda z výtlaku Vracov, po praní se jako prací voda zavádí do sedimentace. Filtry se perou vzduchem a vodou. Vzduchem se pere 8 minut, vzduchem a vodou společně 20 minut a samotnou vodou 10 minut.

2.2.7 Desinfekce

Upravenou vodu z filtrů je třeba v akumulaci hygienicky zabezpečit. Plynný chlor se dává do akumulace a do všech výtlaků. Záleží přitom na vzdálenosti, na kterou je voda dopravována. Do výtlaku Bzenec se dává nejmenší koncentrace $0,02 \text{ mg Cl}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, do výtlaku Vracov, který zásobuje obce značně vzdálené, se používá nejvyšších koncentrací až $0,25 \text{ mg Cl}_2 \cdot \text{l}^{-1}$. Obsah volného chloru v síti se pravidelně sleduje podle vyhlášky 252/2004 Sb. [5]

2.3 Rekonstrukce a intenzifikace

Před plánováním rekonstrukce je nezbytná důkladná analýza stavu úpravný, která by měla být zaměřena na veškeré části úpravný. Taková analýza spočívá v kontrole a vyhodnocení rozvodných potrubí, technického stavu a funkce úpravárenských zařízení, chemického hospodářství, kalového hospodářství a v neposlední řadě i stavu stavebních objektů. Dále je na místě zvážení modernizace a intenzifikace provozu, stejně jako posouzení míry automatizace. V současné době je zcela nezbytným požadavkem celková automatizace provozu. Cílem spolehlivého řídicího systému je nejen kompletně zdokumentovaný provoz, ale také vyšší úroveň zabezpečení objektů, zpřístupnění informací, vylepšení algoritmů i vyřešení technologických návazností. Zcela zásadní je však její přínos k efektivitě provozu. Úspory lze zaznamenat ve snadnějším provozu, v jeho kontrole i v optimalizaci spotřeby elektrické energie. [36]

Dalším klíčovým bodem rekonstrukce je předprojektová příprava, která stanoví zadání pro vypracování projektové dokumentace. Při respektování konkrétních podmínek úpravný lze díky kvalitní předprojektové přípravě ušetřit jak investiční, tak provozní náklady. Příprava spočívá v „papírovém“ vyhodnocení různých variant změn technologie, přičemž se posuzují pouze reálné návrhy, které by přinesly vyšší efektivitu provozu a snížení provozních nákladů. Žádoucí jsou laboratorní testy, kterými se ověřují předpoklady z „papírového“ vyhodnocení. Následující poloprovozní testy již vyžadují zařízení, která na úpravárnách mnohdy nejsou k dispozici. Při těchto testech jsou simulovány provozní podmínky, což umožňuje optimalizovat konkrétní parametry technologie úpravy vody. Obojí pokusy jsou základem předprojektové přípravy, která tak může vyústit v kvalitní projekt. [37]

Úpravna vody Bzenec-Přívoz byla v průběhu dvou let od 04/2008 do 04/2010 zrekonstruována v rámci projektu Střední Pomoraví/Hodonínsko, podprojekt č. 7 Bzenec – rekonstrukce a intenzifikace úpravný vod, rekonstrukce prameniště. Důvodem rozsáhlé rekonstrukce byly zastaralé technologie a strojní zařízení, zvýšené nároky na kvalitu a množství upravené vody a v neposlední řadě ekonomická náročnost procesu úpravy vody. Rekonstrukce se týkala úpravný vody Bzenec-Přívoz a vodojemu Vracov. Tento řídicí vodojem byl z původní kapacity $2 \times 3000 \text{ m}^3$ rozšířen na výsledný objem $4 \times 3000 \text{ m}^3$. Přes dvojnásobné zvětšení objemu je kapacita vodojemu stále nedostatečná a znamená zásobu pouze asi na 10 hodin. Zdroje surové vody po rekonstrukci budou schopny dodávat až 300 l.s^{-1} , strojně technologická zařízení úpravný jsou dimenzována na maximální výkon 400 l.s^{-1} . Součástí automatizace provozu je osazení jednotlivých technologických částí vodoměry, zákaloměry, pH metry a dalším elektrickým vybavením.

Návrh technologické linky je založen na posouzení dílčích operací:

Požadavky na kvalitu pitné vody jsou stanoveny platnou vyhláškou č. 252/2004 Sb. [5]

Charakteristika surové vody. Surová voda je typická podzemní o známém, dlouhodobě neměnném složení. Vysoký obsah železa a manganu klade největší nároky na odstranění těchto iontů.

Stávající technologická linka je klasická dvoustupňová úprava s odželezováním a odmanganováním. V případě intenzifikace jsou zkušenosti ze stávajícího provozu výhodné pro posouzení možných technologických zásahů. Nevýhodou je, že u stávající linky by při radikální změně technologie bylo třeba výraznějších stavebních úprav.

Provozní náročnost je důležitým kritériem při hodnocení jakéhokoliv provozu. V původním uspořádání docházelo k neúměrné spotřebě chemikálií a k velké spotřebě elektrické

energie, což činilo provoz ekonomicky náročný. Cílem intenzifikace je snížení provozních nákladů při současném zachování kvality pitné vody.

Vhodně zvolený soulad technologických operací umožňuje dosáhnout výborných výsledků klasickými technologiemi.

Odpadové hospodářství je závislé na množství separovaných částic, jejichž množství je přímo úměrné koncentraci železa a manganu. Velkým zdrojem odpadů jsou však také používané chemikálie, a to ve větším, než nezbytném množství. Velké dávky vápenného mléka a koagulantu jsou nevýhodnou položkou jak v ekonomické náročnosti, tak v oblasti odpadového hospodářství.

Očekávaný vývoj v dané oblasti lze rovněž využít při intenzifikaci procesu ke snížení provozní náročnosti. Na ÚV Bzenec-Přívaz by v úvahu přicházelo použití ozonu jako oxidačního činidla k odstranění železa a manganu a navíc k účinné desinfekci. Provozní náklady jsou přitom minimální, na rozdíl od původních nákladů na provoz aerátorů a dávkování drahých chemikálií. Použití novějších technologií je podmíněno prokazatelnou účinností, ale je přitom třeba zvážit ekonomickou výhodnost.

Využití poznatků v praxi je doménou technologa. Ten využívá znalosti a zkušenosti z provozu při vývoji nových technologií.

Rekonstrukce ÚV Bzenec-Přívaz zahrnuje zejména výměnu původních potrubí včetně armatur, čerpadel, míchadel a celkovou automatizaci procesu. Větší zásahy se týkaly pouze výměny aerátorů, míchadel a změny desinfekčního činidla. Na jednotlivých částech došlo k následujícím opravám:

přívod surové vody: kompletní výměna potrubí (kromě části nerezového potrubí)

přítoková jímka: osazeno nové vypouštěcí potrubí

aerace: kompletní výměna 14 stávajících provzdušňovačů Inka včetně ventilátorů, trubních rozvodů vody i vzduchu za 11 ks provzdušňovacích zařízení Bubla

rychlé míchání: výměna míchadla a vypouštěcího potrubí

flokulace: nahrazení 8 ks pádlových míchadel vč. elektropohonů 16 vertikálními míchadly Invent, výměna trubních rozvodů na přítoku, mezi jednotlivými páry míchadel je instalována pevná děrovaná stěna

sedimentace: výměna odtokového žlabu, přelivného žlabu a odkalovacího potrubí včetně armatur

filtrace: výměna armatur s pneupohonem

likvidace pracích vod: osazena nová čerpadla včetně trubních rozvodů a armatur

strojovna: výměna čerpadel do VDJ Vracov a osazení nových zařízení pro výrobu vzduchu pro pneupohony

dávkování manganistanu: nová dávkovací čerpadla

vápenné hospodářství: doplněno propojení tlakových zásobníků na oba denní zásobníky a výměna dávkovacích čerpadel

dávkování chlordioxidu: nové zařízení pro výrobu chlordioxidu z plynného chloru a z chloritanu.

2.3.1 Technologie úpravy vody

Technologie úpravy vody zůstává stejná – dvoustupňová separace suspenze s odželezováním a odmanganováním. Úprava podzemní vody je založena na aeraci, alkalizaci vápenným mlékem, dekarbonizačním čiření, sedimentaci, filtraci a nově desinfekci chlordioxidem. Významnou změnou je oddělená úprava vody z prameniště Bzenec I a Bzenec III S+J. Voda z prameniště Bzenec I díky nízkému obsahu železnatých a manganatých iontů bude upravena pouze jednostupňovou separací. Po provzdušnění na aerátorech bude voda zavedena až za sedimentaci, kde dojde ke smíchání s odsazenou vodou, a povede se na filtry. Proto je třeba vodu již z pramenišť do aerace přivádět dvojím potrubím. Nové potrubí muselo být dále vybudováno pro obtok alkalizace a sedimentace pro provzdušněnou vodu z prameniště Bzenec I. Úprava vody z prameniště Bzenec III zůstane beze změny.

2.3.1.1 Úprava vody Bzenec III Sever+Jih

Surová podzemní voda z prameniště Bzenec III obsahuje vysoké koncentrace železa, manganu i agresivního oxidu uhličitýho. Obsah železa ve směsné vodě překračuje 6 mg.l^{-1} , k úpravě vody takového složení na pitnou je již třeba dvoustupňové úpravy. Vysoký obsah železa však dává možnost vypustit přídavek koagulantu síranu železitýho. Voda z pramenišť Bzenec III se v přítokové jímce nebude smíchávat s vodou z prameniště Bzenec I. Nedojde k naředění koncentrací železa a navíc bude dosaženo značné finanční úspory. Předpokládané maximální množství upravované vody na dvou separačních stupních je 300 l.s^{-1} . Zařízení je tím možné rozdělit do tří samostatných linek, čímž by se usnadnilo čištění nebo oprava jednotlivých linek.

2.3.1.2 Úprava vody z prameniště Bzenec I

Surová voda z prameniště Bzenec I se znatelně liší od vody z prameniště Bzenec III Sever a Jih. Koncentrace železa, manganu jsou velmi nízké a taková voda vyžaduje pouze jednostupňovou úpravu na vodu pitnou. Proto se při rekonstrukci uvažovala oddělená úprava vody z prameniště Bzenec III S+J a Bzenec I. Surová voda z prameniště Bzenec I bude vedena na aeraci, kde dojde k provzdušnění, odstranění volného CO_2 a odpachování. Alkalizace ani sedimentace, vzhledem k nízkému obsahu železnatých iontů, nebude potřeba, proto se voda z aerace povede přímo na filtry. Vynecháním alkalizace dojde k úspoře dávkovaného vápenného hydrátu a snížení produkce kalu.

2.3.2 Aerace

Surová voda se z přítokové jímky vede na aerátory. Původních 14 aerátorů Inka bylo nahrazeno 11 modernizovanými jednotkami typu Bubla. Každá jednotka s ventilátorem a protiprachovým filtrem má jmenovitý výkon 40 l.s^{-1} . Ventilátor lze plynule regulovat v rozmezí 60-100 %, což odpovídá poměru voda:vzduch 1:60 až 1:100. Tím lze ovlivnit účinnost odstranění volného CO_2 . Za filtry ventilátorů kontrolují stav zanesení vložkových filtrů diferenční manometry. Zanášením filtrů se zvyšuje jejich odpor, roste spotřeba energie

a přirozeně se snižuje účinnost aerace. Tlak je měřen tenzometrickým čidlem na potrubí před jednotkami. Indikuje se zanesení přívodů k aerátorům. Vysoký obsah železa může způsobovat technické problémy, bude tedy nutné pravidelné čištění jednotek.



Obr. 2: Aerační zařízení Bubla

2.3.2.1 Provzdušnění vody Bzenec III Sever+Jih

Pro aeraci surové vody z prameniště Bzenec III je k dispozici 8 aerátorů, počet zapojených jednotek však závisí na výkonu úpravny. Na výkon 40 l.s^{-1} připadá jedna jednotka, při překročení zpravidla menšího výkonu se zapojí i další jednotka. Dvě jednotky jsou pro vodu z prameniště Bzenec III v rezervě, především pro případ čištění nebo opravy.

2.3.2.2 Provzdušnění vody Bzenec I

Surová voda z prameniště Bzenec I se vede samostatným potrubím přímo na provzdušňovací jednotky typu Bubla. Pro vodu Bzenec I jsou k dispozici tři jednotky, celkem o výkonu 120 l.s^{-1} . Jednotky se připojují automaticky podle přítoku z prameniště Bzenec I. Před aerátory jsou umístěna tenzometrická čidla, která umožňují kontrolu zanesení přívodů na aerátory.

2.3.3 Rychlé míchání

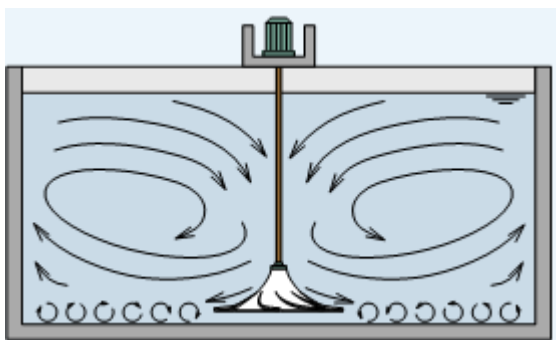
Nádrž rychlého míchání slouží k dávkování a homogenizaci vápenného mléka s provzdušněnou vodou z prameniště Bzenec III. Vápenné mléko jako alkalizační roztok neutralizuje volný CO_2 za současného zvýšení pH. Při zvýšení pH nad 8,3 se značně urychlí oxidace železnatých iontů a hydrolýza, případně srážení manganatých iontů. Při dávkování vápenného mléka dochází k nedostatečné homogenizaci, především kvůli současnému uspořádání s jedním vertikálním lopatkovým míchadlem. Míchadlo o průměru 1000 mm má šest lopatek a motor má výkon 4kW. Původní úmysl, zdvojení rychlého míchání, nebyl ze stavebních důvodů realizován. V případě čištění nebo opravy by tak musela být odstavena celá ÚV. Minimální náhradou je jedno míchadlo jako skladová rezerva.

V místě původního zaústění vápenného mléka do potrubí docházelo k tvorbě inkrustů. Nově se bude vápenné mléko zavádět do potrubí ke dnu nádrže. Dávkováním pod hladinu se odstraní problémy s inkrustacemi a usnadní se kalibrace. Nevyřešeným problémem však nadále zůstává nedostatečná homogenizace vápenného mléka v nádrži. Vlivem hydraulických poměrů při míchání navíc dochází k nerovnoměrnému rozložení odtoků na jednotlivé flokulace. Důsledkem jsou trvalé rozdíly hodnot pH v sedimentačních nádržích, stejně jako zákalu odsazené vody.

Do nádrže rychlého míchání se při úpravě vody ze všech tří pramenišť dával koagulant síran železitý. V případě, že se bude jednat pouze o vodu z prameniště Bzenec III – Sever a Jih, nebude třeba vysokou koncentraci železa ještě uměle zvyšovat, čímž dojde k dalším úsporám. Ke koagulaci tak postačí zvýšení pH alkalizací vápenným mlékem.

2.3.4 Flokulace

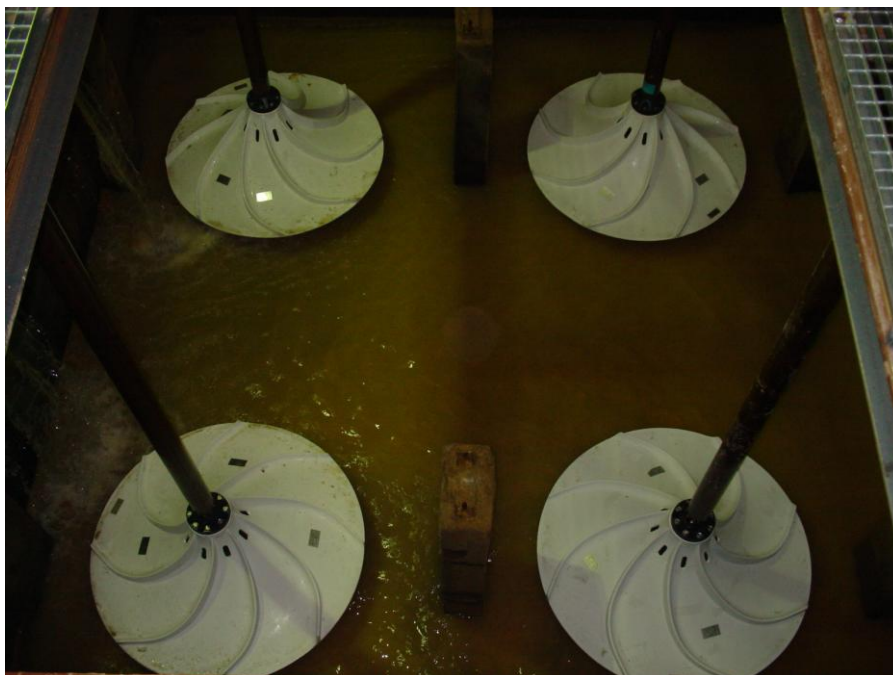
Ve flokulaci bylo nahrazeno původních 8 pádlových míchadel za 16 hyperboloidních míchadel Invent. Tento typ míchadel byl vyvinut pro použití na čistírnách odpadních vod, protože účinně brání sedimentaci a udržuje aktivovaný kal ve vznosu. Poněkud novější je použití těchto míchadel při úpravě vody. [38] Provozní zkušenosti z úpraven vod Kněžpole a Ostrožská Nová Ves, kde byla v roce 2006 instalována první hyperboloidní míchadla do flokulace, poukazují na výbornou účinnost míchadel a zároveň na nízké provozní náklady. [39] Tvar míchadla zaručuje promíchání celého objemu nádrže, kde nedochází ke vzniku mrtvých zón, ani zkratovému proudění. Většina energie je vlivem radiálního dnového proudění vnášena rovnoběžně ke dnu nádrže, což umožňuje maximální využití vkládané energie. Pro míchání stačí intenzita pouze $10\text{--}30 \text{ ot.min}^{-1}$. [40] Nová míchadla jsou zhotovena z vysoce kvalitního skelného laminátu. Míchadla mají frekvenční měnič, který umožňuje plynulou regulaci otáček v rozsahu $10\text{--}20 \text{ ot.min}^{-1}$.



Obr. 3: Funkce hyperboloidního míchadla [40]

Každá flokulace je tvořena dvěma sekcemi, ve kterých jsou umístěny dva páry hyperboloidních míchadel Invent. S přihlédnutím ke kinetice koagulace se v první sekci nastavují vyšší otáčky míchadel, ve druhé sekci se volí otáčky nižší. Vyšší intenzita míchání v první sekci umožňuje zvýšit pravděpodobnost srážek a vzniku vloček, ve druhé sekci dochází k nabalování vzniklých vloček pro jejich dobrou separovatelnost. Jednotlivé sekce jsou od sebe odděleny pevnou děrovanou stěnou, která eliminuje podélné promíchávání nádrže. Použití děrované stěny je rovněž významné pro správnou distribuci stáří částic, která je pro účinnou sedimentaci limitující. Mezi flokulací a sedimentací je umístěna stavitelná děrovaná stěna.

Flokulační nádrž o rozměrech 5,8 x 5,41 x 3,4 m je vystavena usazování vloček, vlivem dekarbonizace dochází k jejich tvrdnutí a takové usazeniny nelze odplavit při běžném provozu. Pro odplavení je třeba navýšit jedenkrát denně po 30 minut otáčky na prvním páru míchadel na 20 ot.min^{-1} , na druhém páru 18 ot.min^{-1} . Navíc je nutné pod každé míchadlo umístit kovový doplněk tvaru jehlanu, po kterém se usazeniny dostanou mimo slepou oblast nádrže, tedy zpod míchadla.



Obr. 4: Míchadla Invent ve flokulaci

2.3.5 Sedimentace

Sedimentace jako první separační stupeň úpravy slouží k oddělení vzniklých vloček vlivem gravitačního pole. Sedimentační nádrže jsou umístěny ve dvojicích o maximálním výkonu 300 l.s^{-1} . Tomuto výkonu odpovídá povrchové hydraulické zatížení $1,55 \text{ m.h}^{-1}$ a doba zdržení 2,2 h. Mezi flokulací a sedimentací jsou umístěny stavitelné děrované stěny. Slouží k zamezení vzniku zkratového proudění. Aby se funkce stěny projevila, je nutný rozdíl hladin flokulace a sedimentace minimálně 2,5-3 cm. Za děrovanými stěnami se nachází žlaby pro odběr plovoucích nečistot. Plovoucí nečistoty se zachycují ve flokulaci, v sedimentaci jsou tato zařízení zbytečná. Lze je ovšem využít jako bezpečnostní přeliv s jedním odtokovým otvorem pro obě sedimentace. Žlaby byly během rekonstrukce vyměněny za nerezové s nastavitelnou přední hranou. K odvedení odsazené vody slouží žlab s pilovým přepadem, který je umístěn po obvodu poslední třetiny nádrže ve tvaru podkovy. Opět došlo k nahrazení původního zkorodovaného ocelového žlabu nerezovým.

Účinnost sedimentace je hodnocena mírou odstranění Fe a zákalu. K tomuto slouží zákaloměr, umístěný ve společném odtokovém potrubí sedimentační nádrže. Odsazená voda se v potrubí před filtry smíchá s provzdušněnou vodou z prameniště Bzenec I, která obtéká alkalizací a sedimentací. Zde je třeba uvažovat smíchání vody o různém složení, zejména železa, manganu a pH. V potrubí se také dávkuje 0,31% roztok manganistanu draselného, který na filtrech aktivuje katalytickou oxidaci. Potrubí se dále rozděluje do dvou větví, které vedou směs vod na dvě řady filtrů. Obě sekce tří filtrů budou pracovat samostatně.

Důležitou částí provozu flokulace a sedimentace je jejich čištění. V takových případech je potřebné odstavení sedimentace a vypuštění flokulace. Zejména ve flokulaci může být problémem tvorba tvrdých, těžko odstranitelných úsad. Frekvenci čištění je navíc třeba volit tak, aby se vzniklé úsady daly odstranit jen tlakovou vodou, tedy dříve, než vlivem dekarbonizace ztvrdnou.

Kal je odstraňován mostovým shrabovákem. Shrábnutí trvá 15 minut, stejně dlouho se shrabovák vrací zpět. Kal je shromažďován ve dvou kalových jímkách, kde dochází k zahuštění, poté se vypouští na kalové laguny. Mezi shrábnutím a odkalením musí být prodleva alespoň 20 minut, aby se kal stačil zahustit. Odkalení musí být krátké a intenzivní (tzv. odstřelení kalu), potřebný velký průtok kalu lze zajistit jednotlivým odkalením jímek. Doba odkalování bude stanovena podle obsahu nerozpuštěných látek nebo zákalu ve vzorcích z odkalovacího potrubí. Četnost odstraňování kalu se odvíjí od obsahu železa v surové vodě, zpravidla je to čtyřikrát denně. Kal je zařazen do kategorie „Kaly z čiření pitné vody“, kat. č. 190 902 a je možné jej ukládat na skládky komunálního odpadu.

Samotné odkalování bylo zjednodušeno, a to výměnou armatur, které netrpí usazováním kalu a tvorbou inkrustací, přičemž otevírání i zavírání jsou dostatečně rychlé. Do potrubí za zaústěním odpadu kalové jímky je nově umístěn indikátor průtoku. Umožňuje zjistit únik vody mimo vlastní odkalování nebo čerpání kalu. V provozu se jednotlivé nádrže střídají, ve vzdálenější části potrubí se tak usazuje a hutní kal, který nelze jednoduše vypláchnout při odkalování. Opatření, která tomuto mají zabránit, jsou vyspádované potrubí a pravidelný výplach potrubí.

2.3.6 Filtrace

Odsazená voda ze sedimentace a provzdušněná voda Bzenec I se smíchají před přítokem na filtry. Do této směsné vody se dávkuje manganistan draselný, který aktivuje katalytické vlastnosti oxidu manganičitého na filtrech. Voda se dále vede na dvě samostatné sekce tří filtrů. Oddělené fungování filtrů umožňuje odstavení filtrů bez nutnosti přerušení provozu. Při rekonstrukci byla vyměněna potrubí, armatury, v rámci automatizace byla zavedena elektronická regulace na odtoku a automatické praní filtrů přes řídicí systém.

Tři filtry ve dvou řadách mají při celkové ploše $6 \times 70 \text{ m}^2$ (420 m^2) projektovaný výkon úpravny 400 l.s^{-1} , čemuž odpovídá filtrační rychlost $3,4 \text{ m.h}^{-1}$. Při výkonu ÚV 250 l.s^{-1} odpovídá filtrační plocha čtyřem filtrům. Filtr je naplněn křemenný pískem FP2, původní výška vrstvy byla 140 cm, během provozu došlo ke snížení vrstvy na 1,1-1,2 m. Písek je díky účinnému odmanganování preparovaný oxidy manganu, k aktivaci preparace se dávkuje 0,31% roztok KMnO_4 . Proces praní filtrů může být zahájen podle vyčerpané disponibilní tlakové ztráty, kterou určuje tenzometrické čidlo. Při praní filtrů se opět používá voda i vzduch, ale prací vody s dvojitou intenzitou, tedy jedním a poté dvěma čerpadly. Filtr se pere nejdříve vzduchem, kdy se jednotlivá zrna od sebe oddělí, poté vzduchem a vodou a nakonec jen vodou. Prací vody jsou vedeny do paralelních usazovacích nádrží. Po odsazení se voda odčerpá a zbývající kal je vypouštěn na kalové laguny. Odsazená prací voda je čerpána před filtry do směsné vody ze sedimentace a provzdušněné vody z prameniště Bzenec I.

2.3.7 Desinfekce

Výraznou změnou v procesu úpravy vody je změna desinfekčního činidla. Místo plynného chloru se bude dávkovat oxid chloričitý. Ten se připravuje na místě spotřeby z chloritanu a chloru. K dispozici jsou dva generátory, přičemž jeden je záložní. Chlorovna tak zůstala využitá, byly zapojeny dva generátory ClO_2 a osazena nová dávkovací čerpadla. V případě potřeby je možné nadále dávkovat plynný chlor, případně směs oxidu chloričitého a chloru.

Plynný chlor se dávkoval do akumulace a do všech výtlaků – Bzenec, Vracov, Dražky. Oxid chloričitý bude zaveden do akumulace, menší dávka do výtlaku Bzenec a Dražky, do výtlaku Vracov, vzhledem k velkým vzdálenostem, dávka nejvyšší. Z desinfekce plynným chlorem se bude přecházet postupně přes dávkování obou činidel, až po samotný chlordioxid. Chlordioxid budou odebírat tři čerpadla, přičemž základní dávka ClO_2 bude $0,2\text{--}0,5 \text{ mg.l}^{-1}$, ve výtlaku Vracov bude max. dávka $0,6 \text{ mg.l}^{-1}$. Hygienické zabezpečení pitné vody se pravidelně sleduje rozбором vody ze sítě. Navíc je třeba kontrolovat koncentrace zbytkového desinfekčního činidla, resp. jeho vedlejších produktů u spotřebitele.

2.3.8 Chemické hospodářství

Chemikálie jsou do technologie přiváděny ze zvláštního křídla budovy ÚV. V procesu úpravy vody se používá Prefloc, vápenné mléko, KMnO_4 , Cl_2 a ClO_2 . Během rekonstrukce byly veškeré dávkovací soubory zrekonstruovány. Nově bylo vybudováno skladování chemikálií pro přípravu ClO_2 , včetně zapojení generátoru a dávkovacích zařízení.

2.3.8.1 Prefloc

Prefloc, síran železitý, se dříve používal jako koagulant. Dávkoval se do nádrže rychlého míchání a sloužil k vytvoření separovatelných vloček. Po změně technologie, kdy nádrží rychlého míchání protéká jen voda z prameniště Bzenec III s vysokým obsahem železa, nebude třeba uměle zvyšovat koncentraci železa, proto se od dávkování Preflocu upustilo. Prefloc však nadále zůstane v rezervě, lze jej použít v případě nouzové situace, např. povodní.

2.3.8.2 Vápenné hospodářství

K alkalizaci se používá 2% vápenné mléko, které se na místě připravuje z 90% práškového vápenného hydrátu. Ca(OH)_2 reaguje s volným CO_2 za vzniku $\text{Ca(HCO}_3)_2$, dále reaguje s přítomnými hydrogenuhlíčitany (vápenatými, hořečnatými, železnatými i manganatými) na uhličitany, a to v závislosti na pH, které musí být vyšší než 8,3. Tato dekarbonizace má za následek snížení pH. $\text{Fe(HCO}_3)_2$ a $\text{Mn(HCO}_3)_2$ podléhají hydrolýze a uvolněný CO_2 je opět vápenným mlékem vázán do $\text{Ca(HCO}_3)_2$. Veškeré reakce jsou závislé na hodnotě pH, při vyšším pH roste i rychlost reakce. Snížení spotřeby Ca(OH)_2 je možné dosáhnout zvýšením hodnoty pH, tedy účinnější aerací.

Vápenné hospodářství tvoří 6 skladovacích sil pro práškový vápenný hydrát, jeho doprava do denního zásobníku, příprava suchého tlakového vzduchu, suché dávkovače práškového hydrátu, rozpouštěcí nádrž a dávkovací čerpadla. Příprava vzduchu je společná pro dvě samostatné linky, které jsou zastoupeny třemi silami napojenými na jeden denní zásobník a dávkovač s čerpadlem. Celé vápenné hospodářství již bylo kompletně zrekonstruováno dříve, současná rekonstrukce spočívala v automatizaci dávkovacích čerpadel a navíc byly do systému zapojeny pH sondy na měření pH v přítoku na každou flokulaci.

2.3.8.3 Manganistan draselný

Manganistan draselný, jako silné oxidační činidlo se dávkuje před filtraci, kde slouží k regeneraci preparace na písku, a tím účinnému odmanganování. Zavádí se do potrubí, kde se smíchává odsazená voda a provzdušněná voda Bzenec I.

Manganistan se rozpouští ve dvou ocelových vylaminovaných nádržích o objemu $1,4 \text{ m}^3$ s mechanickým míchadlem. Dávkovací soubor je ve stejné místnosti, navíc došlo k výměně dávkovacích čerpadel. Celý dávkovací soubor je zdvojen, což usnadňuje opravy, včetně odstavení. Do rozpouštěcí nádrže s vodou se krystalický KMnO_4 dávkuje za stálého míchání z originálních plechových sudů. Výsledná koncentrace roztoku je asi $3,1 \text{ g.l}^{-1}$, dávka se pohybuje kolem $0,05 \text{ mg.l}^{-1} \text{ KMnO}_4$. Výška hladiny v nádržích je nově měřena ultrazvukem. Dávkování se řídí automaticky, v závislosti na průtoku surové vody. Nově umístěná zařízení umožňují kontrolu dávkovaného množství veličinami jako ORP (oxidačně-redukční potenciál) a pH před filtry.

Teoretická dávka KMnO_4 se určuje podle obsahu železnatých a manganatých iontů ve vodě před filtry. Podle stechiometrie je k oxidaci 1 mg Fe je třeba 0,94 mg, k oxidaci Mn 1,88 mg KMnO_4 . Při zjištěných koncentracích Fe $2,06 \text{ mg.l}^{-1}$ a Mn $0,76 \text{ mg.l}^{-1}$ by teoretická dávka byla: $2,06 \times 0,94 + 0,76 \times 1,88 = 3,37 \text{ mg.l}^{-1} \text{ KMnO}_4$. Ve výsledku se jedná o vysoké koncentrace, KMnO_4 je navíc značně drahou chemikálií, snahou je tedy snížení dávky

manganistanu dle výsledků provozních měření. Změnou technologie, konkrétně obtokem provzdušněné vody Bzenec I, došlo ke změně, která se projevila i v účinku manganistanu. Přes malý obsah železa v této vodě a jeho dobrou oxidovatelnost se předpokládá, že zůstalo v redukovaném stavu, a proto se manganistan spotřebovává i na oxidaci Fe^{2+} .

2.3.8.4 Chlor, oxid chloričitý

Používaný oxid chloričitý je třeba připravit na místě spotřeby, v našem případě reakcí chloritanu sodného s plynným chlorem. Sklad na 25% roztok NaClO_2 byl nově vybudován, pro Cl_2 je k dispozici stávající sklad. Rozvody chloru jsou stále schopny provozu pro případ poruchy generátoru ClO_2 , nebo pro kombinovanou desinfekci plynným chlorem a oxidem chloričitým, která se ovšem pro trvalý provoz neuvažuje. Roztok chloritanu je skladován v plastové nádrži, z ní je přečerpáván do provozní nádrže u reaktoru. Spotřeba NaClO_2 bude max. 3 m^3 za měsíc.

K přípravě oxidu chloričitého jsou na úpravně k dispozici dva generátory, jeden je trvale v provozu, druhý slouží jako záloha při poruše. Kvůli kontrole provozuschopnosti je však nutné záložní generátor alespoň jednou měsíčně pro přípravu ClO_2 použít. ClO_2 je odebírán čtyřmi čerpadly do akumulace a výtlačků Bzenec, Vracov a Dražky.



Obr. 5: Příprava ClO_2

2.3.9 Řídicí systém

Významnou změnou v rámci rekonstrukce a intenzifikace úpravný je instalace nového řídicího systému. Ten slouží k celkové automatizaci provozu, která umožňuje ovládání jednotlivých technologických celků směnovou obsluhou. Na řídicí systém jsou napojena veškerá elektrická zařízení od čerpadel, armatur, průtokoměrů, míchadel až po zákaloměry a pH sondy. Možnost nastavení provozních parametrů navíc značně usnadňuje provoz ÚV. Firma Speco Control dodala řídicí systém, který zahrnuje:

- řízení automatického chodu jednotlivých technologických zařízení úpravný
- grafické zobrazení stavu technologie ÚV
- detekci a hlášení poruch zařízení
- ruční ovládání zařízení
- zobrazení analogových veličin ve fyzikálních jednotkách
- parametrizaci chodu zařízení
- ovládání pneuotermínálů pneupohonů
- výpočty okamžitých a celkových průtoků
- sledování a zobrazení motohodin zařízení
- skladování historických dat z technologie ÚV

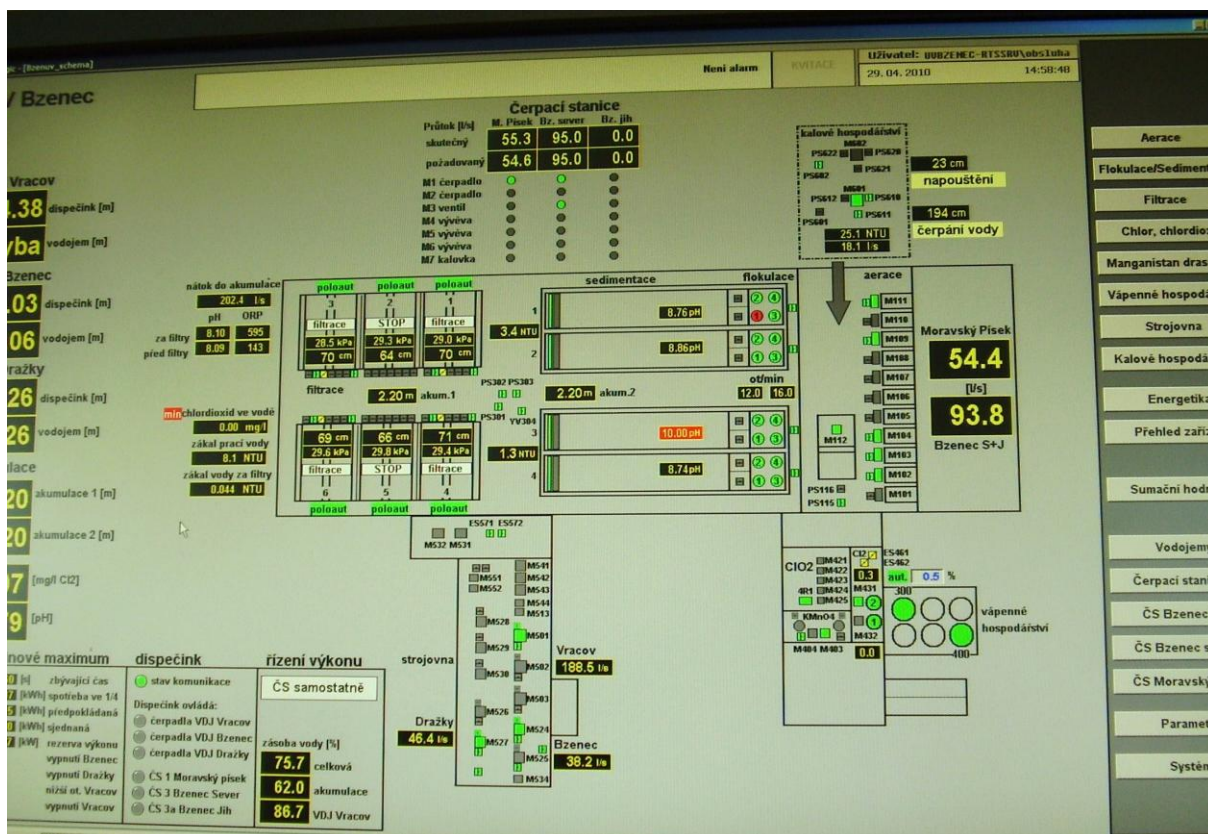
Stěžejním bodem celého řídicího systému je programové vybavení. To je složeno z průmyslových řídicích počítačů se vstupními, výstupními a komunikačními moduly a programem RetosNT. Řídicí počítače, nebo také průmyslové řídicí počítače, slouží k:

- vlastnímu řízení technologie ÚV
- sběru a vyhodnocení vstupních binárních signálů
- sběru vstupních analogových signálů
- nastavování binárních a analogových výstupních signálů
- vyhodnocení poruch
- výpočtu okamžitého a celkového průtoku
- řízení odběru elektrické energie
- výpočtu motohodin

Program umožňuje velmi přehledně a jednoduše kontrolovat, či nastavovat parametry technologických celků, které jsou rozděleny do jednotlivých panelů:

Aerace	Strojovna	Vodojemy
Flokulace/sedimentace	Kalové hospodářství	ČS Bzenec Jih
Filtrace	Energetika	ČS Bzenec Sever
Chlor/chlordioxid	Přehled zařízení	ČS Moravský Písek
Manganistan	Parametry	ČS Sumační hodnoty
Vápenné hospodářství	Systém	

Každý technologický celek obsahuje schéma odpovídající skutečnosti, včetně veškerých provozních parametrů. Činnost obsluhy je usnadněna zřetelným vizuálním zobrazením provozu, poruch i odečítáním okamžitých hodnot veličin. Strojní zařízení jsou charakterizována zejména průtokem, výkonem a frekvencí, další elektrická zařízení slouží ke zjištění hodnot zákalu, pH, redoxního potenciálu nebo koncentraci ClO_2 .



3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Optimalizace provozních parametrů

V experimentální části diplomové práce budou zhodnoceny provozní zkoušky jednotlivých částí technologie úpravy vody s ohledem na nastavení sledovaných parametrů.

U *aerace* se jedná o nastavení výkonu aerátorů Bubla č. 9, 10 a 11 s frekvenčním měničem, které slouží k provzdušnění vody z prameniště Bzenec I a nastavení doby provozu aerátorů.

V nádrži *rychlého míchání* došlo pouze ke změně zaústění vápenného mléka, které zaručuje lepší homogenizaci v nádrži, a k výměně původního míchadla.

Flokulace prošla výraznou změnou, neboť byla vyměněna původní horizontální míchadla za nová vertikální. Z provozních parametrů bylo třeba nastavit zejména otáčky míchadel v jednotlivých sekcích a zvláštní pozornost byla věnována děrovaným stěnám. Před instalací všech 16 míchadel byly porovnány oba typy míchadel z hlediska technologické účinnosti a výše provozních nákladů.

Sedimentace a kalové hospodářství byly pouze zrekonstruovány, k žádným výrazným změnám zde nedošlo. Nicméně i tato část byla automatizována, proto bylo nutné nastavit minimální hodnoty hladiny vody v usazovací nádrži, limitní hodnoty pH a parametry shrabování kalu.

Filtrace rovněž nebyla nijak pozměněna. Kvůli automatizaci však bylo třeba stanovit maximální zákal vody za filtry, veškeré parametry praní filtrů i minimální zákal prací vody.

Desinfekce prošla významnou proměnou, konkrétně použitím nového desinfekčního činidla. Systém je zcela automatický, sledují se pouze koncentrace ClO_2 a Cl_2 a výkony čerpadel.

Chemické hospodářství zahrnuje veškeré chemikálie, jejichž použití se po rekonstrukci značně změnilo. Koagulant Prefloc již nebude používán, ale zůstane pro případ potřeby v záloze, manganistan draselný se dále dává v minimálním množství. Oxid chloričitý se vyrábí na místě spotřeby z chloritanu, nyní jsou na úpravně dva generátory, přičemž jeden je rezervní. Vápenné hospodářství bylo zautomatizováno. K tomu byly stanoveny parametry: kalibrace koncentrace Ca(OH)_2 , objem ředicí vody a výkon dávkovacího čerpadla.

3.1.1 Vyhodnocení aerace

3.1.1.1 Vyhodnocení účinnosti aerace

Surová voda

V rámci provozního pokusu [41] byla provzdušňována směsná voda z prameniště Bzenec III-sever+jih. Mezi měřenými parametry byl přítok vody na úpravnu, konkrétně 120 l.s^{-1} a 90 l.s^{-1} . Průtok vody na aerátor je omezen na max. 40 l.s^{-1} , při překročení hodnoty 30 l.s^{-1} je automaticky zapojen další aerátor; během pokusu byly v provozu všechny tři aerátory. Sledované průtoky tedy odpovídají maximálnímu (40 l.s^{-1}) a minimálnímu (30 l.s^{-1}) průtoku vody na aerátor. Směsná voda z prameniště Bzenec III obsahuje více než 8 mg.l^{-1} Fe a 2 mg.l^{-1} Mn. Při průtoku 40 l.s^{-1} měla surová voda pH 7,4 a zásadová neutralizační kapacita ($\text{ZNK}_{8,3}$)

byla 1,27, resp. 1,46 mmol.l⁻¹. Při průtoku 30 l.s⁻¹ bylo změřeno pH 7,23 a ZNK_{8,3} 1,42 mmol.l⁻¹.

Analytické metody

Ke stanovení byly použity běžné analytické metody. Ke stanovení pH přenosný pH metr kalibrovaný pro rozmezí hodnot 7-9. ZNK_{8,3} byla stanovena dle normy ČSN 757372 [42] elektrometricky k hodnotě 8,3, protože zákal vody vylučuje použití barevného indikátoru. Pro zvýšení citlivosti byl použit objem vzorku 200 ml, k titraci byl použit roztok NaOH o koncentraci 0,1 mol.l⁻¹. Ze spotřeby titračního roztoku do pH 8,3 se vypočítá ZNK_{8,3}.

Průtok vzduchu byl měřen z rychlosti proudění vzduchu v daném průřezu metodou výrobce aerátorů. Poměr voda:vzduch byl určen podle množství vzduchu, které se regulovalo nastavením frekvenčního měniče (FM), a množství vody, které je dáno přítokem na úpravnu.

Metodika práce

Nejprve byl odebrán vzorek surové vody, změřeno pH a stanovena ZNK_{8,3}. Následovalo nastavení parametrů. Proměnnou veličinou byl průtok vzduchu, který je ovládán frekvenčním měničem. Pro reprodukovatelnost výsledků jednotlivých nastavení byla měření opakována dvakrát. Čerpání surové vody bylo nejdříve 120 l.s⁻¹, druhá sada měření probíhala při výkonu 90 l.s⁻¹. V provozu byly všechny tři aerátory, přičemž provzdušněná voda ze všech aerátorů tvoří směs, takže existuje jen jedno odběrové místo. Výsledky lze v tomto případě označit za průměrné pro jeden aerátor. U každého vzorku bylo stanoveno pH a ZNK_{8,3}.

3.1.1.2 Vyhodnocení provozních podmínek aerátorů

Surová voda

Surová voda Bzenec I měla při pokusu pH 6,94 a ZNK_{8,3} 1,45 mmol.l⁻¹, přítok vody na úpravnu byl 60 l.s⁻¹. Surová voda Bzenec III měla pH 7,1 při ZNK_{8,3} 1,025 mmol.l⁻¹, přítok vody na úpravnu byl 70 l.s⁻¹. Vzhledem k tomu, že vody jsou na aerátory přiváděny zvlášť, budou také výsledky zhodnoceny pro prameniště Bzenec I a Bzenec III zvlášť.

Analytické metody

Pro stanovení pH byl použit přenosný pH metr s kalibrací na hodnoty 7-9. ZNK_{8,3} byla stanovena dle normy ČSN 757372 [42] elektrometricky k hodnotě 8,3. K titraci byl použit roztok NaOH o koncentraci 0,1 mol.l⁻¹, ze spotřeby titračního činidla do bodu ekvivalence 8,3 byla následně stanovena ZNK_{8,3}. Pro zvýšení citlivosti byl na každé stanovení použit objem vzorku 200 ml. Hodnoty tlaků na vstupu do aerátorů a hodinových provozů byly odečteny z řídicího systému, stejně jako jmenovité výkony jednotlivých aerátorů. Hodnoty v řídicím systému byly získány metodami, které zvolil výrobce zařízení.

Charakteristiky zařízení

Během pokusu byl výkon úpravy pouze 60 l.s⁻¹ (Bzenec I) a 70 l.s⁻¹ (Bzenec III). Automatický provoz aerátorů umožňuje maximální průtok na jeden aerátor 40 l.s⁻¹. Při překročení průtoku 30 l.s⁻¹ se automaticky připojuje další aerátor. Z uvedeného vyplývá, že při pokusu byly v provozu vždy dva aerátory v každé sekci. Bubly č. 1 a 2 pro vodu z prameniště Bzenec III a Bubly č. 10 a 11 pro vodu z prameniště Bzenec I. Aerátory č. 1-8 mají neměnnou frekvenci 50 Hz, aerátory č. 9-11 mohou výkon měnit dle nastavení

frekvenčního měniče. Podle vyhodnocení předešlého pokusu byla frekvence aerátoru nastavena na trvalých 37,5 Hz.

Pro vyhodnocení provozu jsou důležité údaje o tlaku na přívodu vody do aerátorů i samotná doba provozu. Zde je třeba přihlídnout ke skutečnosti, že doba provozu není limitující veličinou. Surová voda z prameniště Bzenec III obsahuje vysoké koncentrace železa, které tvoří velké množství usazenin ve formě oxidu železitého. Ten ucpává ventilátory a značně zvyšuje tlakovou ztrátu. Naproti tomu surová voda z prameniště Bzenec I s nízkým obsahem železa umožní i dvakrát delší provozní dobu pro dosažení stejné tlakové ztráty.

Metodika práce

Z označených odběrných míst byly odebrány vzorky surové a provzdušněné vody z prameniště Bzenec I a Bzenec III. Pro větší přesnost bylo odebráno vždy 200 ml vzorku. Bylo stanoveno pH přenosným pH metrem a potenciometrickou titrací 1 mol.l⁻¹ roztokem NaOH do bodu ekvivalence byla stanovena ZNK_{8,3}.

3.1.2 Vyhodnocení flokulace

3.1.2.1 Srovnání pádlových a hyperboloidních míchadel

Voda

Během provozního pokusu [43] byla do flokulace přiváděna směsná voda ze všech tří pramenišť Bzenec I, Bzenec III-sever a Bzenec III-jih. Surová voda je dlouhodobě neměnné kvality. Měnila se pouze čerpaná množství vody z jednotlivých pramenišť, čímž se měnilo složení směsné vody, zejména obsah železa a manganu. Účelem provozního pokusu bylo ovšem porovnání dvou typů míchadel ve flokulaci, pro zhodnocení tak nebyly směrodatné okamžité hodnoty koncentrací, ale jejich rozdíly.

Tab.5: Přítok surové vody na úpravnu od 26. 11. 2007 do 21. 12. 2007

datum	26.11.	27.11.	28.11.	29.11.	30.11.	3.12.	4.12.	5.12.	6.12.	7.12.	10.12.	11.12.	14.12.	18.12.	21.12.
výkon úpravny (l.s ⁻¹)	212	188	140	212	212	188	188	203	188	130	202	188	203	182	188

Analytické metody

Vybrané ukazatele jakosti odsazené vody byly stanovovány v akreditované laboratoři Bzenec-Přívaz v rámci programu jakosti vody.

- Železo bylo stanoveno fotometricky s 1,10-fenantrolinem dle normy ČSN ISO 6332 [44]
- Pro spektrofotometrické stanovení manganu byla použita norma ČSN ISO 6333 [45]
- Zákal byl stanoven dle normy ČSN EN ISO 7027 [46]
- Ke stanovení barvy byla použita norma ČSN EN ISO 7887 [47]
- Ke stanovení pH byla použita norma ČSN ISO 10523 [48]

Technologická zařízení

Dne 7. 8. 2007 byla do flokulace č. 4 nainstalována 4 vertikální míchadla Invent o průměru 1,5 m. Míchadla jsou umístěna po dvou na podélné lávky, kde má každé míchadlo motor s převodovkou o výkonu 0,55 kW a frekvenční měnič, kterým lze měnit otáčky míchadel. V předchozím pokusu byly stanoveny neúčinnější otáčky 10 ot.min^{-1} na všech čtyřech míchadlech, dané nastavení bylo použito i pro porovnání obou typů míchadel. V ostatních třech flokulačních nádržích byla ponechána horizontální pádlová míchadla, aby bylo možné porovnat obě varianty míchání. V každé nádrži jsou přitom umístěna jen dvě dvoububnová míchadla s neměnnými $2\text{--}4 \text{ ot.min}^{-1}$. Motor s převodovkou má výkon 3 kW. Pro hodnocení pokusu je vhodné porovnat výsledky zejména usazovacích nádrží č. 1 a 4, protože UN 2 nevykazovala konstantní zatížení.

Provozní pokus k porovnání účinností hyperboloidních a pádlových míchadel byl uskutečněn od 26. 11. 2007 do 21. 12. 2007. Z provozních parametrů byl měněn pouze přítok vody na úpravnu (viz. Tab. 9), čímž docházelo i ke změně složení surové vody. K porovnání účinnosti flokulace však bylo dostatečné porovnání složení vyčištěné vody z jednotlivých sedimentačních nádrží.

Metodika práce

Během měsíčního provozního pokusu byly potřebné provozní parametry nastaveny na konstantní hodnoty a z pravidelných rozborů vyčištěné vody byly posuzovány účinnosti jednotlivých flokulačních nádrží. Otáčky hyperboloidních míchadel byly nastaveny na 10 ot.min^{-1} na všech čtyřech míchadlech, pádlová míchadla mají neměnné otáčky $2\text{--}4 \text{ ot.min}^{-1}$. Laboratoř ÚV Bzenec-Přívoz přitom denně sleduje kvalitu vody v rámci celé technologie úpravy vody. Stanovovanými parametry byly železo, mangan, barva a zákal. Vyčištěná voda se odebírala z odtokových žlabů sedimentace. Vyhodnocení pokusu spočívalo ve zpracování zjištěných hodnot z laboratoře.

3.1.3 Vyhodnocení sedimentace

3.1.3.1 Optimalizace kalového hospodářství

Voda

Z usazovací nádrže je čerpána odsazená prací voda, jejíž kvalita je v provozu kontrolována zákalem na odtoku. Odsazená voda je přiváděna do potrubí před filtry, kde se smíchá s odsazenou vodou Bzenec III a provzdušněnou vodou Bzenec I. Prací voda se odsazuje 8 h, takže na filtry už je přiváděna poměrně čistá. Proto je důležité stanovit minimální hladinu v nádrži, která zaručí nízký zákal odsazené vody.

Analytické metody

Zákal byl měřen mobilní analýzou pomocí fotometru HACH DR 890. Při použití programu č. 95 byl měřen zákal nefelometricky v rozsahu $0\text{--}1000 \text{ ZF}_t$. Pro měření bylo použito 10 ml neředěného vzorku, přičemž se měřilo proti destilované vodě. Turbidimetr je nově umístěn na odtoku dvou sedimentačních nádrží. Zákal v jednotkách ZF_n je proto nepřetržitě k dispozici v řídicím systému.

Metodika práce

Při čerpání odsazené vody z usazovací nádrže byly pravidelně zaznamenávány okamžité hodnoty zákalu (ZF_n) z řídicího systému, přičemž souběžně byly odebírány vzorky odsazené vody ke stanovení zákalu mobilní analýzou (ZF_t).

3.1.4 Vyhodnocení vápenného hospodářství

3.1.4.1 Stanovení dávky $Ca(OH)_2$

Voda

K testu byla použita provzdušněná voda z pramenišť Bzenec III Sever + Jih. Směsná surová voda má vysoký obsah železa a manganu, při aeraci se železo částečně zoxiduje. Obsah železa v aerované vodě byl $8,1 \text{ mg.l}^{-1}$. Dávkování $Ca(OH)_2$ je řízeno podle výsledného pH v sedimentaci, neboť se jedná o limitující parametr oxidace železa. Sledovaným parametrem v odsazené vodě tedy bude koncentrace železa.

Analytické metody

Kvalita vyčištěné vody je u laboratorního pokusu hodnocena podle obsahu železa. Železo se stanoví podle normy ČSN ISO 6332 fotometrickou metodou s 1,10-fenantrolinem. [44] Při stanovení byly použity chemikálie: hydroxylaminhydrochlorid, octanový tlumivý roztok a 1,10-fenantrolin. Vzorky byly měřeny při 510 nm proti vodě na přístroji Specord 40.

Metodika práce

Laboratorní test byl zaměřen na dávkování vápenného mléka do provzdušněné vody. Aerovaná voda z pramenišť Bzenec III Sever+Jih byla použita v pěti kádinkách o objemu 1 l. Do každé nádoby byla postupně napipetována stanovená množství 1% $Ca(OH)_2$. Pokus přitom simuloval dvoustupňovou úpravu, vápenné mléko proto bylo do nádoby dávkováno během rychlého míchání. Po 10 vteřinách následovalo pomalé míchání po dobu 15 minut. Zbylých 15 minut se suspenze usazovala a následovala filtrace. V provozu se používá pískový filtr s oxidy manganu, které slouží k separaci i odmanganování. Při testu byl použit filtrační papír v rychlofiltrační nálevce, který plnil pouze separační funkci.

3.1.4.2 Nastavení koncentrace $Ca(OH)_2$

Vápenné mléko

Ke stanovení koncentrace vápenného mléka byla odebírána míchaná suspenze z rozpouštěcí nádrže. Vliv na stanovení $KNK_{4,5}$ mělo i vzorkování, neboť bylo prokázáno, že koncentrace $Ca(OH)_2$ nebyla ve sloupci konstantní.

Analytické metody

K určení koncentrace $Ca(OH)_2$ byla stanovena alkalita dle normy ČSN EN ISO 9963-1. [49] K titraci 10x ředěného vzorku se směsným indikátorem byl použit $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ roztok HCl. Při stanovení bylo třeba suspenzi řádně protřepat, aby byl použit reprezentativní vzorek.

Metodika práce

Z míchané rozpouštěcí nádrže byly odebírány vzorky vápenného mléka. Vzorkování bylo při stanovení koncentrace limitujícím krokem. Následně byla stanovena $\text{KNK}_{4,5}$ a vypočtena koncentrace $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Cílem projektu rekonstrukce a intenzifikace úpravy vody Bzenec-Přívoz je oprava zařízení, inovace vodárenských technologií, zvýšení účinnosti procesu úpravy vody a úspornější provoz úpravy po rekonstrukci. Ke splnění těchto požadavků je třeba nastavit provozní parametry jednotlivých technologických částí tak, aby byly dodrženy limitní hodnoty ukazatelů vyrobené pitné vody a zároveň aby byly sníženy provozní náklady při úpravě vody. Optimalizace jako matematická úloha směřuje k nalezení takových hodnot proměnných, pro které daná funkce nabývá minima nebo maxima. Různými matematickými modely tak lze určit provozní parametry, které zaručují efektivitu procesu a současně minimální provozní náklady.

Rekonstrukce ÚV Bzenec-Přívoz probíhala od dubna 2008 do dubna 2010, jednotlivé technologické celky tedy byly rekonstruovány postupně v rozmezí dvou let. Vzhledem k tomu, že rekonstrukce probíhala za provozu, je samozřejmé, že veškerá rekonstruovaná zařízení byla co nejdříve zapojena do výrobního procesu. Optimalizace provozních parametrů proto byla prvním požadavkem po rekonstrukci. Vycházela přitom z provozních pokusů, přičemž bylo přihlédnuto ke zkušenostem z dřívějšího provozu či jiných úpraven. Dodavatelé technologií byli po zapojení povinni provést provozní zkoušky, které zaručují funkčnost zařízení. Případné reklamace lze uplatnit ve zkušební době, která byla kvůli dlouhé době rekonstrukce zkrácena na tři měsíce od 1. 2. do 30. 4. 2010.

Tato práce se bude zabývat převážně nastavením parametrů zadávaných do řídicího systému, který bude v budoucnu zaručovat zcela automatický provoz úpravy. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.9, řídicí systém je složen z jednotlivých technologických operací. Každá část je přitom definována mnoha provozními parametry. Jedná se např. o hodnoty průtoků, výkony míchadel, zákal, časové údaje, výšky hladin, doby zdržení aj. Během tříměsíčního zkušebního provozu je třeba vyladit celé nastavení systému na optimální chod úpravy. Dále je žádoucí kontrola veškerých čidel pro měření zákalu, pH, ClO_2 , ORP či průtoků.

Optimalizace provozních parametrů byla brána v úvahu již v rámci návrhu intenzifikace úpravy. Nové technologie musely zaručovat efektivní, avšak úspornější technologii úpravy vody. Ke zhodnocení jejich využitelnosti sloužily pokusy, které umožnily srovnání účinnosti úpravy vody a ekonomické náročnosti procesu. K tomu byla zapotřebí i optimalizace provozních parametrů nových technologií. V rámci plánování se uvažovalo o použití plynného chloru na oxidaci železa a manganu. Plynný chlor se měl zavádět do aerované vody, čímž by se docílilo úspory vápenného mléka na alkalizaci. Chlor by byl také využitý pro desinfekci upravené vody. Další možná změna technologie spočívala v ozonizaci jako náhradě dekarbonizačního čiření. Oproti předchozímu případu by se ozonovala neaerovaná voda. Výsledky poloprovozních pokusů potvrdily účinnou oxidaci železa i manganu, nízkou produkci kalu i výhodné ekonomické aspekty provozu. Přes všechny klady bylo kvůli výrazným investičním nákladům od zavedení ozonizace upuštěno.

Výsledky rozboru upravené vody ze zkušebního provozu ukazují na vysokou účinnost rekonstruované technologie jako celku.

Tab. 6: Rozbor upravené vody od 4. 1. do 26. 3. 2010

KNK _{4,5} (mmol.l ⁻¹)	3,8-4,35	NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	1,4-7,7
ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)	0,05-0,1	Fe (mg.l ⁻¹)	<0,03-0
CHSK _{Mn} (mg.l ⁻¹)	0,38-0,86	Mn (mg.l ⁻¹)	<0,03-0
pH	7,71-8,22	Ca+Mg (mmol.l ⁻¹)	3,07-3,62

4.1 Vyhodnocení aerace

Během rekonstrukce ÚV Bzenec-Přívoz došlo ke kompletní výměně 14 aerátorů Inka za 11 nových aerátorů Bubla. Důvodem byla změna technologie úpravy vody, konkrétně oddělená aerace surové vody z prameniště Bzenec I a Bzenec III, a požadavky na vyšší účinnost aerace. Oddělená aerace vody souvisí se změnou v technologii úpravy vody z prameniště Bzenec I. Z aerace bude voda odváděna mimo rychlé míchání a sedimentaci, tudíž bude třeba přivádět vody zvlášť již na aerátory. Dalším požadavkem byla zvýšená účinnost aerace, kterou se budu dále zabývat.

Po instalaci byly nové aerátory napojeny do sítě technikem dodavatele. Výsledky provozních zkoušek umožnily stanovit následující jmenovité parametry elektromotorů ventilátorů: napětí 3x400 V, 50 Hz, výkon 11 kW, jmenovitý proud pod 22 A. Po vyhodnocení pokusů byly aerátory dodavatelem označeny za plně funkční a odpovídající projektovaným a požadovaným parametrům. Za stanovených podmínek elektromotorů odpovídá poměr vzduch:voda více než 70:1, což pro provzdušnění podzemní vody postačí. K nastavení konkrétních parametrů je třeba vyhodnocení dalších pokusů.

4.1.1 Optimalizace provozních parametrů aerace

Účinnost aerace byla technologem dodavatele pokusně vyhodnocena dne 22. 7. 2009. [42] Pokusně byla aerace provozně odzkoušena pouze na aerátorech Bubla č. 9, 10 a 11, které budou sloužit k provzdušnění vody z prameniště Bzenec I. Tyto jsou vybaveny frekvenčním měničem k regulaci otáček motoru, optimální nastavení aerátorů je proto nutné určit experimentálně. Naproti tomu aerátory č. 1-8 pro vodu z prameniště Bzenec III mají konstantní frekvenci 50 Hz.

V rámci pokusu na aerátorech č. 9, 10 a 11 byla provzdušňována voda z prameniště Bzenec III. Cílem pokusu bylo zhodnocení účinností různých průtoků vzduchu, přičemž účinnost aerace se posuzuje podle míry zvýšení pH a snížení acidity (ZNK_{8,3}), tedy obsahu kyselin (zejména CO₂) v aerované vodě.

Tab. 7: Parametry surové vody na nátok do aerace

průtok vody na aerátory (l.s ⁻¹)	pH	ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)
40	7,4	1,27 1,46
30	7,3	1,42

Tab. 8: Změřené hodnoty při průtoku vody 40 l.s⁻¹

FM (Hz)	Průtok vzduchu (l.s ⁻¹)	poměr vzduch:voda (l.l ⁻¹)	pH	ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)
0	-	-	7,4 / 7,4	1,27 / 1,46
52	2940	73,5	7,61	0,52
50	2880	70,7	7,83	0,50
48	2670	66,7	7,62	0,54
46	2500	62,5	7,56	0,61
44	2315	57,8	7,53	0,66

Ze získaných výsledků je patrné, že při průtoku vody 40 l.s⁻¹ s klesajícím průtokem vzduchu klesá i účinnost aerace, jež je hodnocena zvýšením ZNK_{8,3} a snížením pH. Použití frekvence 52 Hz není dostatečně efektivní, ani by nebylo trvale udržitelné. Nejvyšší účinnosti je dosaženo při frekvenci 50 Hz, což odpovídá poměru vzduch:voda 70,7. Pro zhodnocení efektivity je třeba brát v úvahu také spotřebu elektrické energie na provoz aerátorů a vápenného mléka k následné alkalizaci. Čím bude pH provzdušněné vody vyšší, tím méně vápenného mléka bude třeba ke zvýšení pH požadovaného na flokulaci.

Tab. 9: Změřené hodnoty při průtoku vody 30 l.s⁻¹

FM (Hz)	Průtok vzduchu (l.s ⁻¹)	poměr vzduch:voda (l.l ⁻¹)	pH	ZNK _{8,3} (mmol.l ⁻¹)
0	-	-	7,23	1,42
50	2880	96,0	7,57	0,54
48	2670	89,0	7,67	0,60
46	2500	83,3	7,69	0,52

Při průtoku vody 30 l.s⁻¹ nelze přesně stanovit optimální parametry, jak je zřejmé z výsledků. S nižším poměrem vzduch:voda pH roste, přestože by mělo vykazovat obrácený trend. Stejně tak hodnoty ZNK_{8,3} neodpovídají očekávanému vývoji. Frekvence 50 Hz, která odpovídá poměru vzduch:voda 96, je pro minimální průtok 30 l.s⁻¹ neefektivní, a tedy zbytečně vysoká. Bohužel se pokus nevztahoval na nižší výkon aerátorů, proto lze jen usuzovat na vhodný poměr vzduch:voda pod 80.

V pokusu k vyhodnocení účinnosti aerace se hodnotily aerátory Bubla č. 9, 10 a 11, které budou sloužit k provzdušnění vody z prameniště Bzenec I. Povolený odběr z prameniště je 100-125 l.s⁻¹, zpravidla se ovšem jedná o hodnoty kolem 60-70 l.s⁻¹. Při takovém přítoku jsou v provozu dva aerátory o minimálním výkonu, proto je žádoucí i nižší průtok vzduchu k dosažení optimálního poměru vzduch:voda. Požadovaný poměr vzduch:voda je obecně stanoven na 70:1, což odpovídá frekvenci asi 40 Hz při průtoku vody 30 l.s⁻¹. Vzhledem k energetické náročnosti provozu aerátorů byla frekvence nastavena na konstantních 37,5 Hz, což je zároveň minimální hodnota frekvence. Frekvenční měnič sice nebude využitý, ale cílem optimalizace je ekonomicky efektivní provoz aerátorů.

4.1.2 Vyhodnocení provozu aerátorů

Dne 9. 2. 2010 byl uskutečněn obdobný pokus k posouzení provozu aerátorů. Pokus se týkal jak aerátorů pro vodu z prameniště Bzenec I s frekvenčním měničem, tak aerátorů pro směsnou vodu z pramenišť Bzenec III. Při nižším výkonu úpravny, jako tomu bylo při pokusu, byly v provozu jen dva aerátory z každé sekce, konkrétně pro vodu z prameniště Bzenec III aerátory č. 1 a 2, pro vodu z prameniště Bzenec I aerátory č. 10 a 11.

Pokus k vyhodnocení provozních podmínek aerace byl zaměřen na stanovení doby provozu, resp. kritické hodnoty tlaku vzduchu pod mezidnem aerátorů. Při aeraci dochází k oxidaci železa a dekarbonizaci a právě usazeniny vzniklé při provzdušnění zanáší děrovaná mezidna aerátorů. Úsady zvyšují tlak proudícího vzduchu, čímž dochází ke změně poměru vzduch:voda, tím se snižuje účinnost aerace a požadovaných výsledků je dosaženo při neúměrné spotřebě elektrické energie. Snaha o udržení konstantní účinnosti aerace vyžaduje vyšší spotřebu elektrické energie, která může být z ekonomických důvodů regulovaná jen do určité míry. Cílem pokusu bylo stanovení nejvyššího přípustného tlaku na přívodu na aerátory. Po dosažení této hodnoty se aerátor automaticky odpojí a obsluha zajistí mechanické vyčištění úsad. Pokus byl vyhodnocen podle získaných dat po určité době provozu.

Dle známého složení surové vody z jednotlivých pramenišť je zřejmé, že při provzdušňování vody Bzenec I bude vytváření usazenin mnohem pomalejší proces než u vody z pramenišť Bzenec III. Pro určení mezních hodnot provozu aerátorů proto nebude možné vycházet z provozní doby, ale z již zmíněné hodnoty tlaku vzduchu. Účinná aerace je hodnocena zvýšením pH nad 7,8 a snížením $\text{ZNK}_{8,3}$ na cca $0,3 \text{ mmol.l}^{-1}$. Při posouzení níže uvedených výsledků (Tab. 8) je patrné, že aerace při tlaku vzduchu 24 kPa pro Bzenec I je výrazně účinnější než aerace vody Bzenec III při tlaku vzduchu 35, resp. 36 kPa.

Tab. 10: Změřené parametry surové a provzdušněné vody

Bzenec I	pH	$\text{ZNK}_{8,3}$ (mmol.l^{-1})	Bzenec III	pH	$\text{ZNK}_{8,3}$ (mmol.l^{-1})
surová	6,94	1,450	surová	7,10	1,025
provzdušněná	7,85	0,250	provzdušněná	7,82	0,325

Tab. 11: Tlakové ztráty aerátorů

Bubla č.	tlak (kPa)	provoz (h)
1	35	2 636
2	36	2 393
10	24	4 004
11	24	3 578

Stanovení kritické hodnoty tlaku vzduchu se však vztahuje nejen na spotřebu elektrické energie na provoz aerátorů, ale také na následnou alkalizaci vody vápenným mlékem. Není žádoucí energeticky náročný provoz aerace o nízké účinnosti a s tím spojená vysoká spotřeba vápenného mléka. Z tohoto důvodu byla zvolena kritická hodnota tlaku vzduchu nižší, při které je zaručeno potřebné zvýšení pH, jež nezvyšuje nároky na alkalizaci. Kritická hodnota

tlaku vzduchu byla určena na 30 kPa, po jejím dosažení se aerátor vypne a obsluha zajistí mechanické vyčištění od usazenin.

4.2 Vyhodnocení rychlého míchání

V nádrži rychlého míchání došlo pouze ke změně zaústění vápenného mléka, které zaručuje lepší homogenizaci v nádrži, a k výměně původního míchadla. Jediné vrtulové míchadlo s axiálním tokem směrem ke dnu je provozováno při 60 ot.min^{-1} a je nedostatečné pro daný objem nádrže. Vhodnější řešení by vyžadovalo náročné stavební úpravy, takže zadavatel od tohoto záměru upustil. K dispozici je však jedno rezervní míchadlo. Jediné míchadlo v nádrži navíc vytváří takové hydraulické podmínky, že není zajištěn rovnoměrný nátok do všech čtyř odtoků na flokulace. Vlivem této skutečnosti lze zaznamenat trvalé rozdíly hodnot pH v jednotlivých usazovacích nádržích, což svědčí o různém obsahu vápna v jednotlivých nádržích. Jedná se ovšem o rozdíly řádově v setinách pH, proto lze tento problém označit za nevýznamný. Zaústění vápenného mléka do nádrže rychlého míchání pod hladinu se ukázalo jako účelné, protože nedochází k usazování inkrustů v místě zaústění.

4.3 Vyhodnocení flokulace

Rekonstrukce flokulace byla zaměřena na výměnu původních horizontálních dvoububnových míchadel za vertikální hyperboloidní míchadla Invent. V každé ze čtyř flokulačních nádrží došlo k nahrazení dvou horizontálních míchadel čtyřmi vertikálními míchadly Invent. Hyperboloidní míchadla Invent jsou určena pro aktivační nádrže na čistírnách odpadních vod, v posledních letech se však začínají uplatňovat i při úpravě vody. První aplikace těchto míchadel ve vodárenství byly na ÚV Ostrožská Nová Ves, kde byla v roce 2006 zavedena dvě hyperboloidní míchadla a ÚV Kněžpole, kde v letech 2006-2007 byla instalována čtyři míchadla Invent. Největší zakázkou je právě ÚV Bzenec Přívoz, kde bylo instalováno 16 hyperboloidních míchadel Invent. Před tak výrazným krokem bylo žádoucí vyhodnotit účinnost nových míchadel Invent a srovnat ji s účinností původních pádlových míchadel, typických pro úpravu vody.

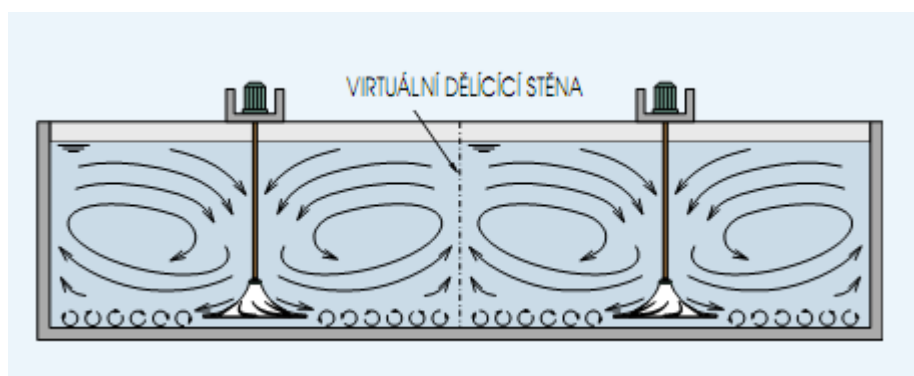
Kromě instalace nových míchadel, jejichž účinnost bude hodnocena níže, byly provedeny úpravy v samotných nádržích. Voda přitékající do flokulačních nádrží obsahuje vysoké koncentrace železa, které po alkalizaci vápnem vytváří oxid železitý. Ten se usazuje na míchadlech a ve slepých prostorách nádrže. Úsady na míchadlech jsou rozmístěny rovnoměrně, proto nepředstavují takový problém jako v prostoru nádrže, zejména pod míchadly. K zamezení usazování vloček pod míchadly byly do nádrží připevněny kovové doplňky tvaru jehlanu, po kterých budou úsady odplavovány zpod míchadel.

4.3.1 Optimalizace provozních parametrů flokulace

Přestože vertikální míchadla Invent byla v České republice již dvakrát v rámci intenzifikace úpraven vod použita, zapojení 16 kusů na ÚV Bzenec-Přívoz již vyžadovalo provozní odzkoušení k optimalizaci provozních parametrů a především ke srovnání účinnosti s pádlovými míchadly. [43] Účinnost flokulace je hodnocena podle vytvořených vloček.

Důležitými vlastnostmi jsou velikost, měrná hmotnost, odolnost proti rozbití hydraulickými silami a schopnost sedimentace. Již vznik vloček je ovlivněn jakostí upravované vody, použitým koagulantem, velikostí vloček a v neposlední řadě způsobem separace. [50]

Hyperboloidní míchadla Invent díky svému tvaru zamezují sedimentaci částic a udržují je ve vznosu. Míchání lze pozorovat v celém objemu nádrže, což zamezuje vzniku mrtvých zón a zkratového proudění. Tím, že míchání probíhá u dna nádrže rovnoběžně s ním, dochází k maximálnímu využití vkládané energie. Při míchání obdélníkových nádrží se instaluje více míchadel, přičemž každé další míchadlo má nastaveny opačné otáčky. Výsledkem je rozdělení míchaného objemu na samostatné celky. Mezi míchadly vznikne tzv. virtuální stěna, která zabraňuje vzniku zkratových proudů, snižuje hydraulické ztráty a ve výsledku tak minimalizuje potřebu instalace pevných dělicích stěn.



Obr. 17: Vytváření virtuální stěny při míchání hyperboloidními míchadly [40]

Jinou možností agregačního míchání jsou děrované norné stěny. Zde působí všechny otvory ve stěně jako malá míchadla. Za nornými stěnami tak vznikají obrovská množství turbulentních proudění. Hodnoty rychlostního gradientu přitom lineárně klesají v celém objemu vody a zaručují tak optimální velikost vloček, což bylo ověřeno i na ÚV Štítary a Ostrožská Nová Ves. [51] Dále je prokázána účinnost děrovaných norných stěn při minimalizaci zkratových a zpětných proudění. Více děrovaných stěn za sebou vytváří pravidelný míchací systém, který působí v celém objemu nádrže. Navíc dochází k rozdělení nádrže na jednotlivé sekce, které se projevují jako zcela autonomní. Každá stěna rovnoměrně rozděluje vodu v příčném profilu, což zaručuje také rovnoměrnou dobu zdržení vody v nádrži. První stěna přitom usměrňuje chaotické proudění vody na přítoku do flokulace. Poslední stěna zase zaručuje rovnoměrný nátok vody do usazovací nádrže. Dalším kladem míchání děrovanými stěnami je jejich schopnost přizpůsobit hodnoty rychlostního gradientu aktuálnímu průtoku vody. To je dáno závislostí rychlostního gradientu na průtoku vody. Při vyšším průtoku vody se tak zvýší rychlostní gradient a zároveň se sníží doba zdržení. [52]

Při provozním pokusu byla hodnocena funkce a účinnost hyperboloidních míchadel podle rozborů vyčiřené vody. Požadavkem je přitom snížení obsahu železa a manganu a zákalu. Jediným nastavovaným parametrem byly otáčky míchadel, které lze díky frekvenčnímu měniči měnit při každé změně průtoku vody. Vzhledem ke známé hydraulice míchadel byla v pokusu ověřena jejich funkce, mj. i existence virtuální dělicí stěny.

Během provozního pokusu bylo prokázáno, že při vyšších otáčkách míchadel (až 20 ot.min^{-1}) docházelo k velkému rozbíjení vloček, které následně špatně sedimentovaly, a tím k vyššímu zatížení filtrů železem, manganem a uhličitánem vápenatým. Optimální otáčky míchadel se pohybují v rozmezí $6\text{--}13 \text{ ot.min}^{-1}$ a mění se s výkonem úpravy. Při

vyšším průtokem se voda do značné míry nátokem míchá sama, proto se volí nižší otáčky, u nižšího průtoky je naopak třeba dodat větší množství energie, proto vyšší otáčky. Nejlepších výsledků přitom bylo dosaženo při otáčkách 10 ot.min⁻¹ na obou párech míchadel. Při nátoku zřejmě docházelo k promíchání, takže nebyly potřebné vyšší otáčky na předním páru míchadel. Stejně otáčky na všech čtyřech míchadlech přitom vykazovaly nejvyšší účinnost při nejrůznějších výkonech úpravy.

Dále bylo zjištěno, že virtuální dělicí stěna mezi dvěma páry míchadel nevznikne. Pravděpodobnou příčinou je vysoká rychlost nátoky vody do flokulace. Mezi přední a zadní pár míchadel tedy bylo třeba instalovat děrovanou nornou stěnu, aby nedocházelo k podélnému promíchávání nádrže. Použitím norné stěny bylo následně dosaženo zúžení distribuce stárí částic, což je pro tvorbu separovatelných vloček limitující faktor. Instalace norné stěny však ovlivnila hydraulické poměry ve flokulační nádrži, proto byly následně otáčky míchadel nastaveny na vyšší hodnoty pro přední pár a nižší pro zadní pár míchadel.

Ve zkušebním provozu byla porovnána intenzita míchání se zákalem odsazené vody. Mezi flokulační a sedimentační nádrží je umístěna stavitelná děrovaná stěna, která zaručuje rovnoměrný nátok suspenze z flokulace. Zákal odsazené vody závisí i na době zdržení, nicméně byl prokázán přímý vliv frekvence otáčení na zákal vody. Z tohoto pohledu je výhodnější použití nižších otáček.

Tab. 12: Zákal odsazené vody při různé frekvenci míchání

1. Sektor (ot.min ⁻¹)	20-16	18-15	17-14
2. Sektor (ot.min ⁻¹)	16-12	14-11	13-10
zákal (ZF _n)	20-25	13-20	6-10

Možný rozsah používaných otáček je přitom 10-20 ot.min⁻¹ a jak již bylo zmíněno, nastavení se automaticky mění podle výkonu úpravy, přesněji podle přítoku vody z prameniště Bzenec III S+J. Použití nejvyšších otáček je ovšem potřebné, a to k odplavení usazenin ve flokulačních nádržích. V tomto případě se jedenkrát denně po dobu 30 minut nastaví první pár míchadel na 20 ot.min⁻¹ a druhý pár míchadel na 18 ot.min⁻¹. I přes tato opatření dochází na míchadlech k usazování uhličitánu vápenatého, oxidů železa a manganu. Po 6 měsíčním provozu míchadel Invent byla na sklolaminátovém povrchu vytvořena rovnoměrná vrstva usazenin v tloušťce 3 mm, což nijak neomezuje jejich funkci. Usazování ovšem probíhá i z vnitřní strany míchadla, takže při čištění je třeba celé míchadlo odmontovat. Čištění potom probíhalo tlakovou vodou a mechanicky s kyselinou citronovou.

Provozní pokus dále ukázal, že po vypuštění flokulační nádrže docházelo k usazování kalu převážně pod míchadly Invent. Aby se zabránilo tomuto jevu, původní snahou bylo pravidelné navýšení otáček míchadel. Přestože byl úbytek sedimentů pod míchadly evidentní, bylo nalezeno vhodnější řešení. To spočívalo v instalaci malého kovového doplňku tvaru jehlanu pod míchadla. Sedající kal po něm bude sklouzávat do míchaného objemu, čímž se omezí usazování ve flokulační nádrži.

4.3.2 Srovnání pádlových a hyperboloidních míchadel

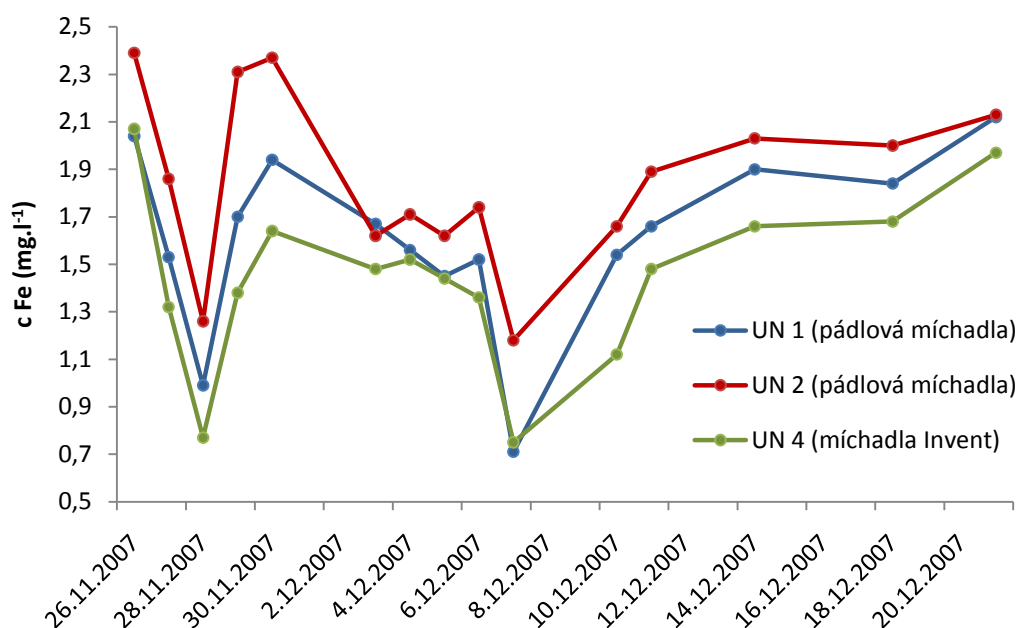
Rekonstrukce ÚV Bzenec-Přívoz zahrnuje výměnu pádlových míchadel za hyperboloidní, a to v dvojnásobném počtu. Cílem pokusu bylo zhodnotit účinnost hyperboloidních míchadel ve srovnání s původními míchadly. Vzhledem k tomu, že se jedná o výraznou investici, bylo snahou také vyčíslení úspor provozních nákladů. Nastavení otáček při provozním pokusu vycházelo z výše určených optimálních podmínek, tedy 10 ot.min^{-1} na všech čtyřech míchadlech. Tyto byly umístěny ve flokulační nádrži č. 4, v ostatních třech nádržích byla ponechána původní pádlová míchadla. Ukazatele odsazené vody byly stanoveny v akreditované laboratoři Chemické služby vodovodů (CHSV) Bzenec-Přívoz.

Pádlová míchadla, obvykle používaná jako úzké desky, při míchání vytvářejí značně nerovnoměrný rychlostní gradient v nádrži, což má vliv na charakter vložek i na celkovou účinnost procesu. Pádla jsou při míchání zdrojem turbulentního proudění, které se ovšem během otáčení pádel neustále přesouvá, proto nelze dosáhnout rovnoměrného rozložení proudění v celé nádrži. Další komplikace představují zkratová proudění, která ve výsledku zkracují dobu působení rychlostního gradientu. [52] Proudění se navzájem ovlivňují, což má za následek různé hodnoty rychlostního gradientu včetně rozdílných dob zdržení. To v praxi znamená špatně separovatelnou nehomogenní suspenzi. Z ekonomického hlediska je taková technologie málo účinná a klade vyšší nároky na separaci.

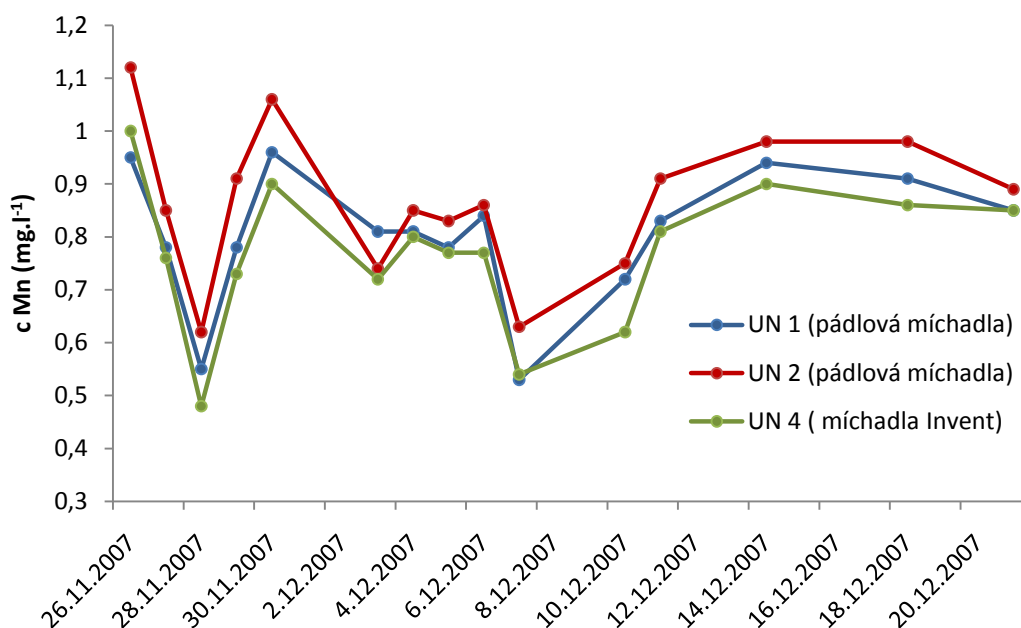
Hyperboloidní míchadla Invent, původně vyvinutá pro aktivaci na čistírnách odpadních vod, díky svému tvaru zamezují sedimentaci částic a udržují je ve vznosu. Míchání je patrné v celém objemu nádrže, nedochází tak ke vzniku mrtvých zón a zkratového proudění. Maximální využití vkládané energie spočívá v míchání u dna nádrže rovnoběžně s ním.

Tab. 13: Rozbor vyčerené vody z UN1, 2 (pádlová míchadla ve flokulaci) a UN 4(míchadla Invent ve flokulaci)

Datum odběru	UN 1 Pádlová míchadla		UN 2 Pádlová míchadla		UN 4 Míchadla Invent	
	železo [mg.l ⁻¹]	mangan [mg.l ⁻¹]	železo [mg.l ⁻¹]	mangan [mg.l ⁻¹]	železo [mg.l ⁻¹]	mangan [mg.l ⁻¹]
26.11.2007	2,04	0,95	2,39	1,12	2,07	1
27.11.2007	1,53	0,78	1,86	0,85	1,32	0,76
28.11.2007	0,99	0,55	1,26	0,62	0,77	0,48
29.11.2007	1,7	0,78	2,31	0,91	1,38	0,73
30.11.2007	1,94	0,96	2,37	1,06	1,64	0,9
3.12.2007	1,67	0,81	1,62	0,74	1,48	0,72
4.12.2007	1,56	0,81	1,71	0,85	1,52	0,8
5.12.2007	1,45	0,78	1,62	0,83	1,44	0,77
6.12.2007	1,52	0,84	1,74	0,86	1,36	0,77
7.12.2007	0,71	0,53	1,18	0,63	0,75	0,54
10.12.2007	1,54	0,72	1,66	0,75	1,12	0,62
11.12.2007	1,66	0,83	1,89	0,91	1,48	0,81
14.12.2007	1,9	0,94	2,03	0,98	1,66	0,9
18.12.2007	1,84	0,91	2	0,98	1,68	0,86
21.12.2007	2,12	0,85	2,13	0,89	1,97	0,85



Graf č. 1: Rozbory Fe_{celk} ve vyčerené vodě z UN1, 2 a 4



Graf č. 2: Rozbory Mn_{celk} ve vyčerené vodě z UN1, 2 a 4

Uvedené výsledky rozborů vyčerené vody z jednotlivých nádrží umožňují srovnání účinností pádlových a hyperboloidních míchadel. Míchadla Invent byla umístěna ve flokulační nádrži č. 4 a z výsledků je evidentní, že voda z UN 4 vykazovala po celou dobu měření nejnižší hodnoty sledovaných parametrů, tedy obsahu železa a manganu, barvy i zákalu. Ve flokulačních nádržích 1 a 2 byla shodně umístěna pádlová míchadla, vyčerená voda však byla rozdílné kvality. UN 2 se prokázala jako méně účinná, snad vlivem rozdílného hydraulického zatížení. Hodnoty pH ve všech flokulačních a sedimentačních nádržích byly srovnatelné.

Přesto výsledky jednoznačně poukazují na vyšší účinnost hyperboloidních míchadel. Pokud číselně vyjádříme rozdíl parametrů vyčerené vody, zjistíme, že pádlová míchadla zatěžují filtry až o $0,41 \text{ mg.l}^{-1}$ celkového železa a o $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ celkového manganu více než míchadla Invent. Ročně se potom jedná o rozdíl zatížení filtrů $2,1 \text{ t Fe}_{celk}$ a $0,54 \text{ t Mn}_{celk}$. Vyšší účinnost hyperboloidních míchadel spočívá i v odstranění zákalu a barvy, ve srovnání s pádlovými míchadly až o $8,44 \text{ ZF}_t$, resp. o $3,31 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt}$.

Výše uvedené poznatky potvrzují vyšší účinnost hyperboloidních míchadel, která je vyjádřena snížením obsahu železa a manganu. Další jejich výhodou je ovšem méně energeticky náročný provoz. Flokulace je v provozu nepřetržitě, spolu s aerací spotřebuje nejvíce elektrické energie. Snahou je úspora provozních nákladů bez snížení kvality upravené vody. Jak již bylo řečeno, konstrukce hyperboloidních míchadel zaručuje efektivní využití energie, navíc při výkonu motoru pouze $0,55 \text{ kW}$. Dalším záměrem je tak vyčíslení úspor při provozu hyperboloidních míchadel, a to při různém nastavení.

Tab. 14: Příkon motorů míchadel pádlových a Invent při různých otáčkách

míchadla	otáčky ot.min ⁻¹	Příkon (kW)	otáčky ot.min ⁻¹	Příkon (kW)	otáčky ot.min ⁻¹	Příkon (kW)	otáčky ot.min ⁻¹	Příkon (kW)
Invent	16/13	0,935	20/16	1,25	10/10	0,811	6/6	0,624
pádlová	2-4	4,6	2-4	4,6	2-4	4,6	2-4	4,6
úspora E (kW/rok)	128 596,8		117 384		136 656		139 459,2	

V tab. 14 jsou uvedeny vypočtené příkony motorů obou typů míchadel. Pádlová míchadla mají neměnné otáčky, proto i příkon bude konstantní. U míchadel Invent při každé změně otáček dojde ke změně příkonu, a to přímo úměrně. Již z těchto hodnot je patrné, že provoz míchadel Invent je výrazně méně energeticky náročný, než tomu bylo u pádlových míchadel. Otáčky míchadel Invent se budou automaticky měnit s výkonem úpravní, přesné úspory elektrické energie tedy stanovit nelze. Minimálně se však bude jednat o úspory ve výši 250 tis. Kč ročně.

4.4 Vyhodnocení sedimentace

V rámci rekonstrukce a intenzifikace ÚV Bzenec-Přívoz byla rekonstrukci podrobena také sedimentace. Jednalo se o výměnu odtokového žlabu, přelivného žlabu a odkalovacího potrubí včetně armatur, přičemž nová zařízení jsou z nerez. Do celkové automatizace systému byla navíc zapojena veškerá zařízení, a to mostový shrabovák kalu, kalové hospodářství včetně čerpadel a v neposlední řadě nově nainstalované zákaloměry na odtoku z usazovacích nádrží.

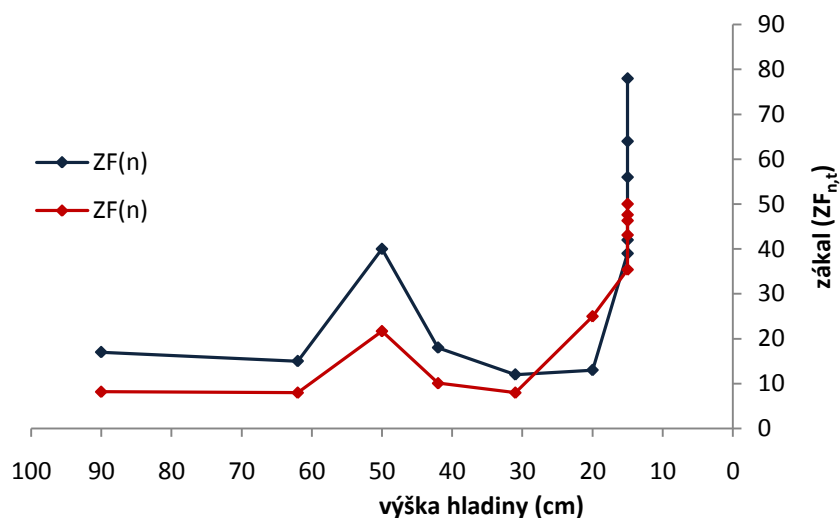
Do sedimentačních nádrží je přiváděna směsná voda z prameniště Bzenec III-sever a jih. Doba zdržení je závislá na výkonu úpravní, resp. na množství čerpané vody z prameniště Bzenec III. Při vysokém průtoku je doba zdržení krátká, což se může projevit na kvalitě odsazené vody. Ta je kontrolována zákaloměry, které jsou umístěny na odtoku dvou usazovacích nádrží. Změřené hodnoty jsou převáděny do řídicího systému, aby mohla obsluha ÚV reagovat na případné změny.

Výraznou změnou prošlo kalové hospodářství, jehož provoz je nyní zcela automatický. Frekvence shrabování kalu je 4x denně. Došlo ovšem ke snížení dávky vápenného mléka, a tím i produkce kalu, proto je v současnosti snahou snížení četnosti shrabování kalu. Při častějším shrabování navíc dochází ke zbytečnému rozvíření kalu.

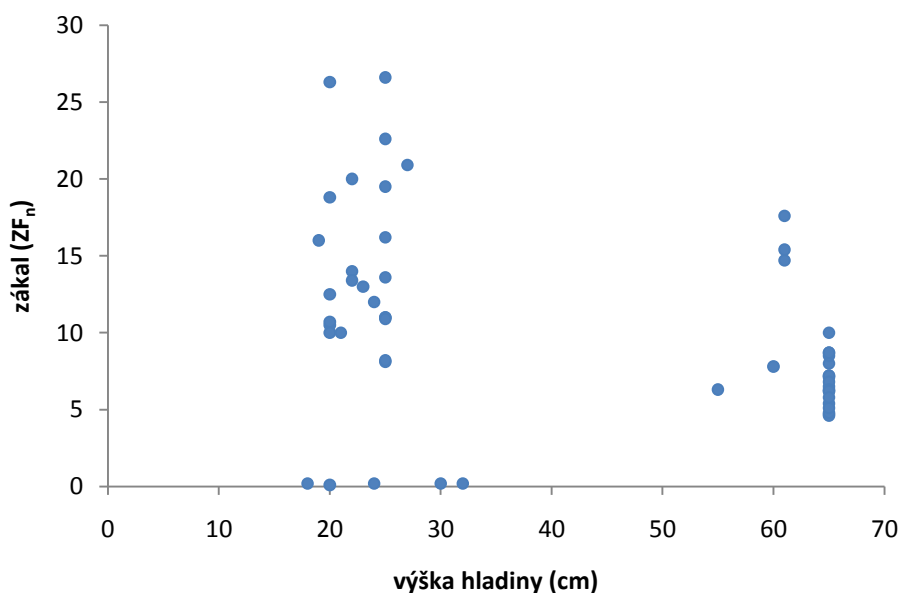
4.4.1 Optimalizace kalového hospodářství

K automatizaci kalového hospodářství bylo třeba do řídicího systému nastavit provozní hodnoty výšky hladin v usazovací nádrži při praní filtrů. Před praním filtru je nutné jednu nádrž o objemu 580 m³ vyprázdnit, aby do ní mohla být čerpána prací voda. Hlavním požadavkem je tedy stanovení výšky hladiny v usazovací nádrži po ukončení čerpání odsazené vody. Na dně usazovací nádrže je kal, který se při čerpání vody bude vířit.

Sledováním zákalu během čerpání odsazené vody lze stanovit minimální hladinu vody v usazovací nádrži.



Graf č. 3: Graf závislosti zákalu odsazené vody na výšce hladiny v nádrži



Graf č. 4: Graf závislosti zákalu odsazené vody na výšce hladiny v nádrži (15.1.-9.4.2010)

Z výsledků pokusu je patrné, že minimální výška hladiny v usazovací nádrži po ukončení čerpání odsazené vody musí být 20 cm. Při výšce pouze 15 cm již došlo ke skokovému nárůstu zákalu až na 50 ZF_n, který je u odsazené vody nepřipustný. Původně nastavených 20 cm však během zkušebního provozu vykazovalo značně rozdílné hodnoty zákalu odsazené vody, jak je patrné z grafu č. 4. Přestože bylo několikrát dosaženo téměř nulového zákalu, ostatní hodnoty vykazují výrazný rozptyl v rozmezí 5-30 ZF_n. Z těchto výsledků lze usuzovat, že výška hladiny 20 cm je již výrazně ovlivněna vířením kalu u dna nádrže. Stejný charakter měly i hodnoty zákalu pro výšku hladiny 25 cm.

Při výšce hladiny pod 60 cm byl pravidelně pozorován jednorázový nárůst zákalu, který pravděpodobně souvisí s rozvřením kalu při snížení hladiny. Proto byla dále během

zkušebního provozu odsazená voda čerpána jen do výšky hladiny 65 cm. Výsledky ukazují na stálé hodnoty zákalu, navíc v rozsahu pouze 5-10 ZF_n. Tím bude čerpána pouze voda o nízkém zákalu, který se bez problémů odstraní na filtrech.

4.5 Vyhodnocení filtrace

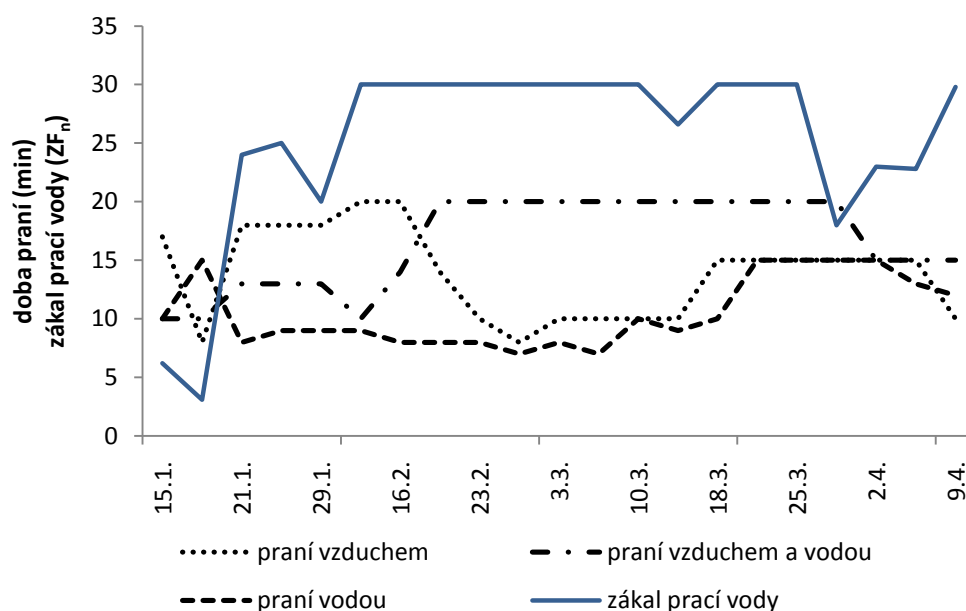
Rekonstrukce filtrace spočívala pouze ve výměně armatur s pneupohonem u filtrů, trubní rozvody zůstaly beze změny. Provoz a praní filtrů byly kompletně zautomatizovány, během zkušebního provozu bylo třeba optimalizovat provozní parametry: dobu trvání filtračního cyklu, tlakovou ztrátu filtrů, veškeré parametry praní filtrů, včetně zákalu prací vody a zafiltrování. K optimalizaci filtrace do značné míry sloužily provozní zkušenosti. Ke snadnému provozu přispěly také sondy ke stanovení pH, ORP a zákalu před a za filtry, jejichž okamžité hodnoty má obsluha ÚV k dispozici.

Odsazená voda z usazovacích nádrží se mísí s provzdušněnou vodou z prameniště Bzenec I, která má po aeraci nízký obsah železa, manganu i nižší pH oproti odsazené vodě. Optimální pH na filtrech je 7,8-8,0. Při nižších hodnotách může dojít k nežádoucímu rozpouštění burelu. Ani hodnoty pH nad 8 nejsou žádoucí, protože se v náplni mohou vytvořit pevné inkrusty. K takové situaci ovšem dojde při odstavení zdroje Bzenec I. Na filtry je tak vedena pouze odsazená voda s hodnotami pH nad 8 a k potřebnému naředění a snížení pH nedojde. V potrubí je zaústěno dávkování KMnO₄, který slouží k regeneraci oxidů manganu na filtrech. Při určení dávky se vychází zejména z provozních zkušeností. Dávkuje se 0,31% roztok KMnO₄ dle výkonu ÚV (viz kap. 5.7.2).

Provoz filtrů je automatický a v současné době jej ručně ukončuje obsluha ÚV po 72 h provozu. Délka filtračního cyklu se odvíjí od kvality filtrátu, v praxi se stanovuje analýzou průběhu tlakových ztrát. [53] Filtraci, odstavení a praní filtrů spouští ručně obsluha, přičemž řídicí systém celý proces dále ovládá. Praní probíhá automaticky s dvojitou intenzitou prací vody. Praní je rozděleno do tří částí, a to praní vzduchem, vzduchem a vodou a vodou. Během zkušebního provozu byly záměrně měněny provozní parametry, aby tak mohly být stanoveny optimální podmínky pro praní filtrů. Původní hodnoty, provozované před rekonstrukcí, vykazovaly vyšší spotřebu prací vody, která byla čerpána až k dosažení téměř nulového zákalu. To je pro prací vodu zbytečná kvalita, neboť ta je po 8 h odsazování vedena na filtry. Dále bylo snahou snížit dobu praní vodou, aby nedocházelo k velkým spotřebám. Požadavek na kvalitu prací vody byl snížen na zákal 25 ZF_n a dále až na 30 ZF_n. Tím se dosáhlo snížení spotřeby prací vody, přičemž vyšší zákal prací vody nesnížil účinnost praní filtrů.

Tab. 15: Zákal prací vody při různém nastavení praní filtrů

datum	17.1.2010	19.1.2010	25.1.2010	15.2.2010	31.3.2010	9.4.2010
praní vzduchem (min)	7	7	18	20	15	10
praní vzduchem a vodou (min)	8	10	13	14	15	15
praní vodou (min)	20	18	9	8	15	11
zákal prací vody (ZF_n)	0	1,6	25	30	30	29,8



Graf č. 5: Měněné parametry praní filtrů a konečný zákal prací vody

Výsledné nastavení praní filtrů je následovné: praní vzduchem 10 minut, vzduchem a vodou 15 minut a vodou do zákalu prací vody 30 ZF_n , což podle zanesení filtrů bývá kolem 12 minut. V řídicím systému je dále nastavena doba praní pro případ selhání turbidimetru na 30 minut. Tím je ošetřena skutečnost, že usazovací nádrže mají nedostatečný přepad, proto by v případě poruchy mohly přetéct. Průtoky pracích médií jsou uvedeny v Tab. 19. Z uvedených parametrů lze stanovit spotřebu prací vody na jeden filtr o ploše 35 m², která je v současné době přibližně 370 m³.

Tab. 16: Množství pracích médií při praní filtrů

Fáze praní filtrů	průtok ($\text{l.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$)
Vzduch	17 - 20
Vzduch + voda	
vzduch	10 - 12
voda	4 - 4,5
Voda	8 - 9

4.6 Vyhodnocení desinfekce

Kladné provozní zkušenosti s desinfekcí oxidem chloričitým z úpraven Koryčany a Moravská Nová Ves iniciovaly změnu desinfekčního činidla i na ÚV Bzenec-Přívoz. Dávkování oxidu chloričitého je ekonomicky výhodnější než původní chlorace plynným chlorem. Oxid chloričitý baktericidně působí na manganaté a železité bakterie, které se za dobu provozu úpravny mohly vyskytnout i ve vodovodní síti. Horší rozpustnost ClO_2 ve vodě navíc zaručuje delší desinfekční účinek, odpadá tak potřeba dochlorování na vodojemech. Oxid chloričitý se připravuje z plynného chloru, který je tak k dispozici a v případě potřeby jej lze využít k desinfekci (do 30 %) s ClO_2 nebo samotný. Během zkušebního provozu se z plynného chloru postupně přecházelo na chlordioxid. Vzhledem k možnému zanesení skupinového vodovodu inkrusty a biofilmem bylo třeba dávku ClO_2 zvyšovat velmi pozvolna, aby nedošlo k nárazovému uvolnění usazenin. Postupně ve 14 denních intervalech po dobu 6 měsíců byla obdobně zvyšována dávka ClO_2 na ÚV Nýrsko. [54] Harmonogram dávkování ClO_2 a Cl_2 do akumulace a výtlačků je uveden v Tab. 17.

Tab. 17: Harmonogram dávkování ClO₂ a Cl₂ do jednotlivých výtlačů

	mg/l	Akumulace	Výtlač Vracov	Výtlač Bzenec	Výtlač Dražky
4.1.	ClO ₂	0,05	0	0	0
	Cl ₂	0,2	0,25	15*	20*
28.1.	ClO ₂	0,05	0,05	0,02	0,03
	Cl ₂	0,18	0,22	13*	18*
11.2.	ClO ₂	0,1	0,05	0,02	0,03
	Cl ₂	0,1	0,2	13*	18*
25.2.	ClO ₂	0,15	0,05	0,02	0,03
	Cl ₂	0,05	0,2	11*	16*
11.3.	ClO ₂	0,2	0,05	0,02	0,03
	Cl ₂	-	0,18	10*	15*
10.4.	ClO ₂	0,25	0,05	0,02	0,03
	Cl ₂	-	0,15	8*	12*
10.5.	ClO ₂	0,3	0,05	0,02	0,03
	Cl ₂	-	0,1	5*	8*
24.5.	ClO ₂	0,3	0,1	0,05	0,05
	Cl ₂	-	-	-	-

*ruční nastavení dávkování [g/hod]

Dávkování ClO₂ do akumulace je zaústěno do potrubí za filtry. Po cca 5 m se potrubí rozděluje do dvou větví, každá vede do samostatné akumulární nádrže. Právě v místě, kde se potrubí rozděluje, se měří koncentrace ClO₂. Otázkou ovšem zůstává, zda je oxid chloričitý v daném objemu dokonale promíchán. Několik analýz potvrdilo, že v odběrném místě nelze změřit 100% dávku ClO₂. Při správném provozu dávkovacích čerpadel a za předpokladu, že oxid chloričitý se v tak krátkém časovém intervalu nemůže spotřebovat, je pravděpodobné, že dávka ClO₂ není dostatečně promíchána, což znamená nereprezentativní vzorek. Může se jednat o důsledek pulzního dávkování ClO₂. Přestože čerpadla dávkují správnou koncentraci, nedochází ke kontinuálnímu rozmíchání ClO₂ ve vodě. Proto by bylo vhodné umístit za dávkovací místo clonu, která by zaručila rovnoměrnou rozdělení dávky ClO₂ do obou akumulárních nádrží.

Po zavedení ClO₂ k desinfekci je třeba počítat i s výskytem vedlejších produktů - chloritanů, které jako potencionální karcinogeny mají vyhláškou č. 252/2004 Sb. obsah v pitné vodě limitovaný mezní hodnotou 0,2 mg.l⁻¹. Výsledkem je zvýšená kontrola zákalu, Cl₂, ClO₂ a ClO₂⁻ ve vytipovaných místech vodovodní sítě a úpravny vody. Koncentrace ClO₂ na úpravně se sleduje v potrubí za dávkováním do akumulace a na výtlaču Vracov, kde je používána nejvyšší dávka desinfekčního činidla, proto je zde umístěna i chloritanová sonda. Během zkušebního provozu bylo žádoucí veškeré sondy nakalibrovat, výrobce navíc

doporučuje jednou měsíčně výměnu elektrolytu. Životnost sondy ClO_2 je jeden rok, sondy ClO_2^- pouze 3-6 měsíců.

Kalibrace sond a obecně kontrola obsahu ClO_2 a Cl_2 je závislá na stanovení koncentrace oxidu chloričitého a chloritanů, ty se však stanovují výhradně mobilní analýzou. Oxid chloričitý lze stanovit pomocí fotometru HACH DR/890 dvojím způsobem.

Stanovení volného chloru

K 20 ml vzorku se přidají dvě dávky práškového DPD (N,N-diethyl-p-fenylendiamin) a po reakční době 1 min. se programem č. 9 změří koncentrace volného chloru v rozsahu 0-2 mg.l^{-1} . Koncentrace ClO_2 v mg.l^{-1} se vypočte vynásobením obsahu volného chloru koeficientem 0,19.

Stanovení oxidu chloričitého

Ke stanovení ClO_2 je do 25 ml odměrné baňky odměřen 1 ml amaranthu a zkoušenou vodou je doplněn objem po rysku. Po důkladném promíchání se 10 ml roztoku přelije do kyvety a programem č. 104 změří koncentrace ClO_2 v rozsahu 3-500 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

4.7 Vyhodnocení chemického hospodářství

Rekonstrukce úpravný znamenala změny i v chemickém hospodářství. Dávkování síranu železitého do rychlého míchání bylo zrušeno. Vápenné hospodářství bylo zautomatizováno, stejně tak dávkování KMnO_4 .

4.7.1 Vápenné hospodářství

Automatizace celého systému usnadnila kontrolu a nastavení vápenného hospodářství. Změna nastavení se týkala i objemu ředící vody. Dříve se k ředění práškového hydrátu používalo 6 $\text{m}^3.\text{hod}^{-1}$, dnes se používá konstantních 2,5 $\text{m}^3.\text{hod}^{-1}$. Ředící voda je dávkována pouze spolu s dávkováním práškového hydrátu 2-3x za hodinu po dobu 13 minut, tedy 32,5 minut za jednu hodinu. Rozdíl spotřeby ředící vody tak ročně činí 16607,5 m^3 .

Tab. 18: Spotřeba ředící vody před a po rekonstrukci

	dříve	nyní
m^3/hod	6	2,5
doba průtoku/hod (min)	32,5	
m^3/hod	3,25	1,35
m^3/den	78	32,5
m^3/rok	28470	11862,5
úspora m^3/rok	16607,5	

K dalším úsporám spotřeby vody došlo při odprašování hydrátu. Původně byla voda používána k vytvoření podtlaku v rozpouštěcí nádrži neustále spuštěna, po rekonstrukci došlo k redukci. Voda je pouštěna při dávkování hydrátu, tedy 2-3x za hodinu po dobu 15 minut a ještě 15 vteřin po ukončení dávkování. Celkem tedy 33,125 minut za hodinu. Při průtoku odprašovací vody $6,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ se jedná o konečnou hodnotu $0,22 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$. V ročním intervalu se tak ušetří $1541,76 \text{ m}^3$ vody.

Tab. 19: Spotřeba vody na odprašování

	dříve	nyní
doba průtoku/hod (min)	60	33,125
m^3/hod	0,396	0,22
m^3/den	9,504	5,28
m^3/rok	3468,96	1927,2
úspora m^3/rok	1541,76	

4.7.1.1 Stanovení dávky $\text{Ca}(\text{OH})_2$

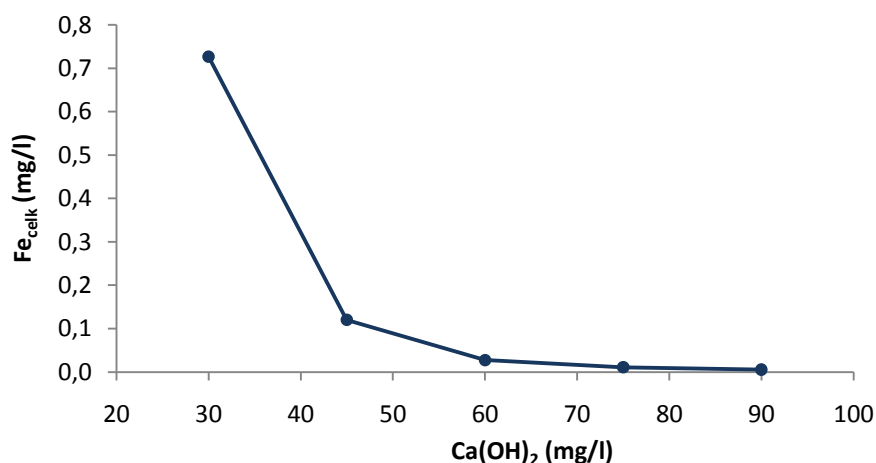
Důvodem dávkování vápenného mléka je neutralizace volného CO_2 a zvýšení pH nad 8,3. Při takových podmínkách se výrazně urychlí oxidace železa, účinky vápna se tak projeví i v kvalitě odsazené vody. První hledisko posouzení dávkování $\text{Ca}(\text{OH})_2$ spočívá v obsahu CO_2 , jenž se stanoví podle zásadotvorné neutralizační kapacity. Během zkušebního provozu byla průměrná ZNK_{8,3} provzdušněné vody $0,29 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Další spotřeba se odvíjí od obsahu železa a manganu v provzdušněné vodě. Pokud uvažujeme sumu $\text{Fe} + \text{Mn}$ v surové vodě $12,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, což je $0,22 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ $\text{Fe} + \text{Mn}$ [34], spotřeba $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bude $2 \times 0,22 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, celkem se tedy jedná o $0,73 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Tomu odpovídá dávka $54,02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tedy $60 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 90% hydrátu.

K určení optimální dávky $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bylo použito i laboratorního testu. Hodnocena byla koncentrace železa a tvorba vloček. Metodika pokusu se opírala o dvoustupňovou úpravu vody z pramenišť Bzenec III-sever a jih. Dávkování 1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, flokulace a sedimentace se blížily skutečnému stavu, v systému má ovšem nenahraditelnou pozici burel, na němž probíhá odmanganování. Filtrační papír použitý při pokusu sloužil pouze jako separační stupeň.

Cílem laboratorního testu bylo posouzení účinků dávky vápenného mléka na oxidaci železa a manganu v provzdušněné vodě. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zvyšuje pH, jež je limitujícím parametrem oxidace zmíněných kovů. Ke snadné oxidaci železa přitom stačí zvýšit pH nad 7-7,5, u manganu se jedná o hodnoty přes 9,5. K oxidaci manganu dochází zejména na filtrech, směrodatně tedy budou především výsledné koncentrace železa. Obsah železa ve filtrátu byl tím nižší, čím vyšší byla dávka vápna. Provzdušněná voda obsahovala $8,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ železa, již po přidání $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ byla ve filtrátu koncentrace železa $< 1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Podle vyhlášky 252/2004 Sb. je mezní hodnota železa v pitné vodě $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. K dosažení takové koncentrace by stačila dávka $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $43 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Zvyšování dávky nad $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ je neúčelné.

Tab. 20: Koncentrace železa při dávkách Ca(OH)_2

Ca(OH)_2 (mg.l^{-1})	30	45	60	75	90
Fe_{celk} (mg.l^{-1})	0,727	0,120	0,027	0,011	0,005



Graf č. 6: Graf závislosti koncentrace železa na dávce Ca(OH)_2

Před rekonstrukcí úpravny se k alkalizaci provzdušněné vody ze všech tří pramenišť, tedy o nižší koncentraci Fe a Mn než v současné době, dávalo 80 mg.l^{-1} Ca(OH)_2 . Po rekonstrukci a změně technologie byla dávka snížena na 65 mg.l^{-1} . Vápno se dává pouze do provzdušněné vody z pramenišť Bzenec III-sever a jih. Vyšší účinnost aerátorů navíc zaručuje vyšší pH provzdušněné vody, a tím menší potřebu alkalizace. V současné době se dává 50 mg.l^{-1} Ca(OH)_2 . Množství vápna je určeno hodnotou pH v jednotlivých sedimentačních nádržích, přičemž požadovaná hodnota je 8,6. Při předávkování dochází ke zvýšení pH, jež zhoršuje sedimentační vlastnosti suspenze, a vysoké pH není příznivé ani pro filtry. Současným požadavkem je spolehlivý automatizovaný provoz vápenného hospodářství.

4.7.1.2 Nastavení koncentrace Ca(OH)_2

Dalším významným provozním parametrem je koncentrace vápenného mléka. Dávkování suspenze ani samotnou přípravu roztoku z práškového hydrátu nebylo možné před automatizací dostatečně kontrolovat. Na případné provozní problémy tak obsluha nemohla reagovat a ve výsledku mohlo dojít např. k předávkování vápnem. Automatizace vápenného hospodářství umožnila nepřetržitou kontrolu přípravy vápenného mléka i dávkování do nádrže rychlého míchání.

Kromě dávky Ca(OH)_2 tak lze přes řídicí systém nastavit i koncentraci suspenze. Ta se pohybuje od 0,5 do 2 % podle aktuálního výkonu úpravny. Nastavená hodnota však nemusí být směrodatná. Významnou roli při dávkování práškového hydrátu hraje vlhkost, která se

mění nejen s ročním obdobím. Při přípravě mléka tak může vzniknout rozdíl až 20 % dávky hydrátu. Na koncentraci Ca(OH)_2 má také vliv doba rozpouštění. Vzhledem k tomu, že dávkování Ca(OH)_2 závisí na výkonu úpravny, může se stát, že při nárazovém zvýšení výkonu se vápno v rozpouštěcí nádrži nestihne dostatečně rozpustit.

Automatizace umožnila propojení jednotlivých zařízení přes řídicí systém, což značně zjednodušilo provoz. V řídicím systému tak stačilo nastavit otáčky dávkovacího šneku hydrátu (%) a odpovídající koncentraci suspenze (%). Přesné nastavení systému trvalo po celý zkušební provoz, snad i kvůli výraznému vlivu vzorkování. Ve sloupci rozpouštěcí nádrže totiž není koncentrace Ca(OH)_2 konstantní. Konečné nastavení otáček čerpadla a koncentrace vápenného mléka je uvedeno v Tab.23. Koncentrace vápenného mléka se volí podle aktuálního výkonu úpravny. V současné době je tedy možné plynule regulovat koncentraci vápenného mléka přes řídicí systém (ŘS).

Tab. 21: Kalibrace koncentrace Ca(OH)_2 v ŘS

c Ca(OH)_2 (%)	Otáčky šneku (%)
0,5	8,8
2	50

4.7.2 Vyhodnocení dávkování KMnO_4

Manganistan draselný se dávkuje do společného potrubí pro odsazenou vodu Bzenec III a provzdušněnou vodu Bzenec I. Odmanganování probíhá účinně na filtrech s preparovaným burelem. Není tedy potřebné dávkovat teoretickou dávku KMnO_4 k oxidaci manganu, ale pouze minimální dávku k regeneraci burelu. Zde se vychází z provozních zkušeností, proto bylo dávkování 0,31% roztoku KMnO_4 nastaveno dle Tab. 22. Automatizace provozu umožnila kontrolu obsahu KMnO_4 podle hodnot redoxního potenciálu a pH.

Tab. 22: Dávka 0,31% KMnO_4 při výkonu ÚV

Výkon ÚV (l.s^{-1})	Dávka KMnO_4 (l.hod^{-1})
100	4,15
200	8,30
300	12,45

5 ZÁVĚR

Úpravna vody Bzenec Přívoz využívá jako zdroj podzemní vodu z údolní nivy řeky Moravy. Surová voda obsahuje vysoké koncentrace železa, manganu a agresivního oxidu uhličitého. Technologická linka vychází z charakteru surové vody, jedná se tedy o dvoustupňovou úpravu s předřazenou aerací, odželezováním a odmanganováním. Zastaralá technologická zařízení dostatečně neplnila svou funkci, proto byla v letech 2008-2010 úpravna zrekonstruována. Po rekonstrukci je úpravna dimenzována na maximální výkon 400 l.s^{-1} .

Zásadním krokem bylo rozdělení technologie pro jednotlivé zdroje vody na jednostupňovou a dvoustupňovou úpravu. Surová voda z prameniště Bzenec III Sever a Jih s vysokým obsahem železa ($6,6$, resp. $12,5 \text{ mg.l}^{-1}$) a manganu ($1,8$, resp. 3 mg.l^{-1}) je provzdušněna, poté následuje alkalizační čiření. Kvalitní surová voda z prameniště Bzenec I (Moravský Písek) je po rekonstrukci pouze provzdušněna a po smíchání s odsazenou vodou Bzenec III vedena na filtry. Do společného potrubí se dávkuje manganistan draselný k regeneraci preparace na filtrech. Takto upravená voda je hygienicky zabezpečena nově oxidem chloričitým.

Rekonstrukce se kromě výměny čerpadel, trubních rozvodů a armatur týkala výměny aerátorů a pádlových míchadel ve flokulaci. Aerátory a míchadla kvůli nepřetržitému provozu představují nejvýznamnější spotřebitele elektrické energie v procesu úpravy vody. Důvodem výměny původních zařízení je snaha o snížení provozních nákladů při zachování kvality upravené vody. Aerátory Bubla nahradily zastaralé Inky, jejichž provoz byl energeticky náročný. Podobně byla pádlová míchadla nahrazena hyperboloidními míchadly Invent, která díky své konstrukci účinně brání usazování suspenze ve flokulačních nádržích, a to při maximálním využití vkládané energie.

Snaha o snížení provozních nákladů se projevila i ve změně desinfekčního činidla. Namísto plynného chloru je nově dávkován oxid chloričitý. Jeho výhodou je jistě kromě výborných oxidačních a baktericidních účinků i ekonomicky výhodnější provoz.

Součástí projektu byla i celková automatizace procesu. Nově byly nainstalovány průtokoměry, zákaloměry, sondy pro měření pH, oxidačně-redukčního potenciálu či oxidu chloričitého, jejichž okamžité hodnoty jsou zaznamenány v řídicím systému. Parametrizace chodu zařízení umožňuje automatický provoz jednotlivých zařízení i snadnou kontrolu celé technologické linky. Kromě jednoduššího provozu je tím eliminován vliv lidského faktoru.

Během zkušebního provozu v době únor až duben 2010 byly optimalizovány parametry jednotlivých technologických operací a následně ověřena jejich účinnost. Technologie úpravy vody se prokázala jako účinná, o čemž svědčí i kvalita upravené vody po rekonstrukci.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Pitter, P.: *Hydrochemie*. 3. vyd., VŠCHT Praha, 1999, 568 s., ISBN 80-7080-340-1
- [2] Water Protocol 2006. Online. Dostupné z:
<http://www.euro.who.int/document/wsn/WaterProtocol_2006upd_web.pdf>, [cit. 20. 11. 2009]
- [3] Žáček, L.: *Technologie úpravy vody*. Vutium, Brno 1998, 65 s., ISBN 80-214-1257-7
- [4] Stendahl, K.: *Příručka pro čištění a úpravu vody*. Přerov Kemifloc, 1996, 133 s.
- [5] Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Sbírka zákonů, ročník 2004, částka 82
- [6] Strnadová, N., Janda, V.: *Technologie vody I*. 2. vyd., VŠCHT Praha, 1999, 226 s., ISBN 80-7080-348-7
- [7] Zábranská, J. a kol.: *Laboratorní metody v technologii vody*. 1. vyd. VŠCHT Praha, 1997, 168 s., ISBN 80-7080-282-3
- [8] Malý, J., Malá, J.: *Chemie technologie vody*. 1. vyd., NOEL 2000 s.r.o., 1996, Brno, ISBN: 80-86020-13-4
- [9] Ambrožová, J.: *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. 1. vyd., VŠCHT Praha, 2001, 226 s., ISBN 80-7080-463-7
- [10] Roccaro, P., Barone, C., Mancini, G., Vagliasindi, F.G.A.: Removal of manganese from water supplies intended for human consumption: a case study. *Desalination*, 2007, vol. 210, no. 1-3, pp. 205-214, ISSN 0011-9164
- [11] R.Raveendran, B. Ashworth and B. Chatelier, Manganese removal in drinking water systems. *64th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference*, Bendigo, 5–6 September 2001, pp. 92–100
- [12] Pushkareva, G. I., Skiter, N. A.: Possibility of manganese ore use in water treatment. *Journal of mining science*, 2002, vol. 38, no. 6, pp. 618-621, ISSN 1062-7391
- [13] Hendricks, D. W.: *Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical*. 2. vyd., Taylor & Francis Group, 2006, 1266 s. ISBN 0-8247-0695-1
- [14] Janda, V.: Použití manganistanu draselného v technologii vody. Sborník konference *Pitná voda 2006*. 1. Vyd., W&ET Team, České Budějovice, 2006, s. 135-140, ISBN 80-239-7113-1

- [15] Pacini, V.A., Ingallinella, A.M., Sanguinetti, G.: Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology. *Water Research*, 2005, vol. 39, no. 18, pp. 4463-4475, ISSN 0043-1354
- [16] Xu, J.Ch., Chen, G., Huang, X.F., Li, G.M., Liu, J., Yang, N., Gao, S.N.: Iron and manganese removal by using manganese ore constructed wetlands in the reclamation of steel wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, vol. 169, no. 1-3, pp. 309-317, ISSN 0304-3894
- [17] Štembal, T., Markić, M., Ribičić, N., Briški, F., Sipos, L.: Removal of ammonia, iron and manganese from ground waters of northern Croatia - pilot plant studies. *Process Biochemistry*, 2005, vol. 40, no. 1, pp. 327-335, ISSN 1359-5113
- [18] Katsoyiannis, I.A., Zouboulis, A.I.: Biological treatment of Mn(II) and Fe(II) containing groundwater: kinetic considerations and product characterization. *Water Research*, 2004, vol. 38, no. 7, pp. 1922-1932, ISSN 0043-1354
- [19] Janda, V.: Desinfekce pitné vody a její vedlejší produkty, *Sborník konference Pitná voda 2004*, 1. vyd., W&ET Team, České Budějovice, 2004, s. 81-88, ISBN 80-239-2936-4
- [20] Shi, Y., Cao, X., Tang, F., Du, H., Wang, Y., Qiu, X., Yu, H., Lu, B.: In vitro toxicity of surface water disinfected by different sequential treatments. *Water Research*, 2009, vol. 43, no. 1, pp. 218-228, ISSN 0043-1354
- [21] Navalon, S., Alvaro, M., Garcia, H.: Chlorine dioxide reaction with selected amino acids in water. *Journal of Hazardous materials*, 2009, vol. 164, no. 2-3, pp. 1089-1097, ISSN 0304-3894
- [22] Masschelein, W.: *Unit processes in drinking water treatment*. 2. vyd., Marcel Dekker, Inc., NY, 1992, ISBN 0-8247-8678-5 1
- [23] Gajdoš, L., Munka, K., Karacsonyova, M., Derco, J.: Application of the chlorine dioxide as disinfection agent for potable water treatment. *Chemické listy*, 2007, vol. 101, no. 6, pp. 480-485, ISSN 0009-2770
- [24] Korn, C., Andrews, R.C., Escobar, M.D.: Development of chlorine dioxide-related by-product models for drinking water treatment. *Water Research*, 2002, vol. 36, no. 1, pp. 330-342, ISSN 0043-1354
- [25] Dolejš, P., Dobiáš, P., Kalousková, N., Břízová, E., Peterová, I.: Rozklad oxidu chloričitého v upravené vodě. *Sborník konference Pitná voda 2006*, 1. vyd., W&ET Team, České Budějovice, 2006, s. 101-106, ISBN 80-239-7113-1
- [26] Veschetti, E., Cittadini, B., Citti, G., Ottaviani, M.: Inorganic by-products in waters disinfected with chlorine dioxide. *Microchemical journal*, 2005, vol. 79, no. 1-2, pp. 165-170, ISSN 0026-265X

- [27] Hofmann, R., Andrews, R.C., Ranger, G.: Water quality and disinfection impact of ClO₂ contamination by free chlorine: A case study. *Journal of environmental engineering and science*, 2004, vol. 3, no. 2, pp. 75-80, ISSN 1496-2551
- [28] Bogatu, C., Pode, V., Vlaicu, J., Leonte, E., Marsavina, D.: Municipal Effluents treatment using chlorine dioxide and chlorine. *Revista de Chimie*, 2009, vol. 60, no. 7, pp. 735-739, ISSN 0034-7752
- [29] Meunier, L., Canonica, S., von Gunten, U.: Implications of sequential use of UV and ozone for drinking water quality. *Water Research*, 2006, vol. 40, no. 9, pp. 1864-1876, ISSN 0043-1354
- [30] Xu, P., Janex, M.L., Savoye, P., Cockx, A., Lazarova, V.: Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design. *Water Research*, 2002, vol. 36, no. 4, pp. 1043-1055, ISSN 0043-1354
- [31] Guay, C., Rodriguez, M., Sérodes, J.: Using ozonation and chloramination to reduce the formation of trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water. *Desalination*, 2005, vol. 176, no. 1-3, pp. 229-240, ISSN 0011-9164
- [32] Chin, A., Bérubé, P.R.: Removal of disinfection by-product precursors with ozone-UV advanced oxidation process. *Water Research*, 2005, vol. 39, no. 10, pp. 2136-2144, ISSN 0043-1354
- [33] Adler, P.: Střední Pomoraví/Hodonínsko, Projekt č. 7 Bzenec – Rekonstrukce a intenzifikace úpravny vod, rekonstrukce prameniště, provozní řád pro zkušební provoz. A-1. Všeobecná část. Voding Hranice, 2009
- [34] Darmovzal, O.: Střední Pomoraví/Hodonínsko, Projekt č. 7 Bzenec – Rekonstrukce a intenzifikace úpravny vod, rekonstrukce prameniště, provozní řád pro zkušební provoz. A-2. Chemickotechnologická část. Voding Hranice, spol. s r.o., 2009
- [35] Cagaš, Z.: Střední Pomoraví/Hodonínsko, Projekt č. 7 Bzenec – Rekonstrukce a intenzifikace úpravny vod, rekonstrukce prameniště, provozní řád pro zkušební provoz. A-3. Strojnětechnologická část. Voding Hranice, spol. s r.o., 2009
- [36] Štefela, F.: Monitorování a řízení centrální úpravny vody v Plzni. *Automatizace*, 2004, roč. 24, č. 10, s. 629-630, ISSN 0005-125X
- [37] Dolejš, P.: Úloha předprojektové přípravy pro technologicky kvalitní a ekonomicky racionální rekonstrukce úpraven. Sborník konference *Rekonstrukce a doplnění technologie úpraven vod s opatřeními ve zdrojích*, VAS Brno, 1999 s. 21-25
- [38] Hudec, P.: Hyperboloidní míchadla INVENT – aplikace ve vodárenství. *Vodárenské kapky*, VAS, a.s., 2010, roč. XIV, č. 1, s. 15-20

- [39] Mikeš, M., Fiala, J., Darmovzal, O.: Poznatky z míchání flokulačních nádrží pomocí hyperboloidních míchadel. Sborník konference *Voda Zlín 2008*. Moravská vodárenská, a. s., Zlín, březen 2008, ISBN 978-80-254-1348-7
- [40] Centropjekt: Míchací a provzdušňovací systémy Invent. [online], 2007, [cit. 31.3.2010], dostupné z : <<http://www.centropjekt.cz/prospekt-invent.pdf>>
- [41] Darmovzal, O.: ÚV Bzenec-Přívaz: vyhodnocení účinnosti aerace – dílčí zpráva 1. etapy. Voding Hranice, 2009
- [42] ČSN 757372 Jakost vod. Stanovení zásadové (neutralizační) kapacity (ZNK). Praha: Český normalizační institut, 2001, 12 s.
- [43] Fiala, J.: ÚV Bzenec-Přívaz: Provozní test – porovnání dvoububnových horizontálních pádlových míchadel s vertikálními míchadly Invent. VaK Hodonín, 2008
- [44] ČSN ISO 6332: Jakost vod. Stanovení železa. Fotometrická metoda s 1,10-fenantrolinem. Praha: Český normalizační institut, 1995, 8 s.
- [45] ČSN ISO 6333: Jakost vod. Stanovení manganu. Spektrofotometrická metoda s formaldoximem. Praha: Český normalizační institut, 1996, 12 s.
- [46] ČSN EN ISO 7027: Jakost vod. Stanovení zákalu. Praha: Český normalizační institut, 2000, 16 s.
- [47] ČSN EN ISO 7887: Jakost vod. Stanovení barvy. Praha: Český normalizační institut, 1996, 12 s.
- [48] ČSN ISO 10523: Jakost vod. Stanovení pH. Praha: Český normalizační institut, 2010, 20 s.
- [49] ČSN EN ISO 9963-1 Jakost vod. Stanovení kyselinové neutralizační kapacity (KNK). Část 1.: Stanovení KNK_{4,5} a KNK_{8,3}. Praha: Český normalizační institut, 1996, 12 s.
- [50] Halámek, B.: Optimalizace agregačního míchání. [online], cit. [12.4.2010] Dostupný z: <<http://www.smv.cz/res/data/013/001559.pdf>>
- [51] Látal, M.: Rekonstrukce prvních separačních stupňů úpraven vod. Sborník konference *Pitná voda 2004*, 1. vyd., W&ET Team, České Budějovice, 2004, s. 89-94, ISBN 80-239-2936-4
- [52] Halámek, B.: Hydraulické rozdíly mezi agregačním mícháním pádly a jejich technologické a provozní důsledky. Sborník konference *Voda Zlín 2009*. Moravská vodárenská, a. s., Zlín, březen 2009, s. 197-202, ISBN 978-80-254-3935-7

[53] Dolejš, P.: Provozní optimalizace a vývojové trendy vodárenské filtrace. *Vodní hospodářství*, 2009, roč. 59, č. 2, s. 37-39, ISSN 0322-8916

[54] Gubric, M.: Desinfekce pitné vody oxidem chloričitým na úpravně vody v Nýrsku. Sborník konference *Pitná voda 2008*. 1. Vyd., W&ET Team, České Budějovice, 2008, s. 165-170, ISBN 80-239-2936-4

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- WHO:** World Health Organization – Světová zdravotnická organizace
- CHSK:** chemická spotřeba kyslíku – hmotnostní koncentrace kyslíku, která je ekvivalentní hmotnosti silného oxidačního činidla spotřebovaného, za přesně vymezených reakčních podmínek zpracování vzorku vody, na oxidaci oxidovatelných látek obsažených v 1 litru vody
- ZF_n:** nefelometrická formazinová jednotka zákalu
- ZF_t:** turbidimetrická formazinová jednotka zákalu
- ČSN:** Česká technická norma
- PAC:** polyaluminium chlorid
- GAU:** granulované aktivní uhlí
- ORP:** oxidačně-redukční potenciál – standardní oxidačně-redukční potenciál daného oxidačně-redukčního systému pro jednotkovou aktivitu oxidované a redukované formy vztažený ke standardní vodíkové elektrodě (V)
- THM:** trihalogenmethany – organické halogenderiváty
- HAA:** haloctové kyseliny – organické halogenderiváty
- DNA:** deoxyribonukleová kyselina
- ÚV:** úprava vody
- ZNK:** zásadová neutralizační kapacita – látkové množství silné jednosytné zásady v mmol, které spotřebuje 1 litr vody k dosažení určité hodnoty pH
- KNK:** kyselinová neutralizační kapacita – látkové množství silné jednosytné kyseliny v mmol, které spotřebuje 1 litr vody k dosažení určité hodnoty pH
- VDJ:** vodojem
- ČS:** čerpací stanice
- CHSV:** chemická služba vodovodů
- UN:** usazovací nádrž
- DPD:** N, N-diethyl-p-fenylendiamin – činidlo ke stanovení chloru kolorimetrickou metodou
- ŘS:** řídicí systém
- FM:** frekvenční měnič

8 SEZNAM PŘÍLOH

1. Projekt Střední Pomoraví/Hodonínsko, 29. 4. 2010
2. Rekonstrukce pískových filtrů, [cit. 19. 11. 2009] dostupné z: <http://www.vak-strednipomoravihodoninsko.cz/cz/fotogalerie/params/galery_show/15.html>

9 PŘÍLOHY

Střední Pomoraví/Hodonínsko
Projekt 2005/CZ/16/C/PE/001
Období realizace: 04/2008–04/2010

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a napomáhá ke snižování ekonomických a sociálních rozdílů mezi obcany Evropské unie.



Řídící orgán:	Ministerstvo pro místní rozvoj
Zprostředkující subjekt:	Ministerstvo životního prostředí
Realizační orgán:	Státní fond životního prostředí ČR
Konečný příjemce:	Vodovody a kanalizace Hodonín, a.s.

Financování projektu:

Celkové náklady:	35 062 000	EUR
Celkové způsobilé náklady:	23 963 300	EUR
Dotace z Fondu soudržnosti:	17 732 842	EUR

Zhotovitel – část D:
Sdružení firem
IMOS Zlín s.r.o.
KUNST, spol. s r. o.

Správce stavby:
Sdružení firem
JANČÁLEK s.r.o.
CENTROPROJEKT a.s.
iC consulenten ZT GmbH

Projektant:
Pöyry Environment a.s.
Botanická 834/56
602 00 Brno-Veveří



1. Projekt Střední Pomoraví/Hodonínsko



2. Rekonstrukce pískových filtrů