

REKONSTRUKCE ÚPRAVNÍ VODY PODHRADÍ A PŘEDPROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA OZONIZACE

Ing. Michal Chromík, Ing. Marek Bereiter

SmVaK Ostrava a.s., 28. října 1235/169, Mariánské Hory, 709 00 Ostrava;
michal.chromik@smvak.cz, marek.bereiter@smvak.cz

Úvod

Výstavba úpravní vody Podhradí byla zahájena v roce 1954 po schválení usnesení vlády ČSR z 13. března 1954 o vybudování skupinového vodovodu z přehrady u obce Kružberk. Úpravní vody v Podhradí byla uvedena do provozu v prosinci 1958. V té době se jednalo o největší úpravní vody v Československu. Svým původním výkonem 2000 l.s^{-1} přesahovala výkony jiných úpravny vody pro pitné účely. V sedmdesátých letech byly vybudovány nové filtrační jednotky na přístavbách hal filtrů což umožnilo zvýšení výkonu úpravní na kapacitu 2700 l.s^{-1} .

Zdrojem surové vody pro úpravní je vodárenská nádrž Kružberk na řece Moravici. Úprava vody je technologicky realizována jako jednostupňová koagulační filtrace, kdy hlavním úpravárenským stupněm jsou otevřené pískové rychlofiltry evropského typu WABAG. Jako koagulant je využíván síran hlinitý. Alkalizace upravené vody se provádí aplikací hydrátu vápenatého, ve formě vápenné vody do akumulčních nádrží za filtry. Dezinfekce je pak zajišťována dávkováním směsi oxidu chloričitého a plynného chlóru.

Úpravní vody Podhradí je v provozu 57 let. Stávající technologie úpravy vody koagulační filtrace se osvědčila. Po dobu dlouhé existence došlo k určitým rozšířením a dílčím rekonstrukcím, ale generální rekonstrukcí a modernizací úpravní dosud neprošla.

Rozhodnutí SmVaK Ostrava a. s. o potřebě rozsáhlé rekonstrukce úpravní vody bylo přijato již před několika léty. Záměr rekonstrukce vycházel jak z provozních zkušeností, tak i z řady provedených modelových průzkumů, studií a expertiz. Po ukončení předprojektových příprav bylo zadáno zpracování projektové dokumentace komplexní rekonstrukce úpravní vody. Zpracovatelem projektu byla projekční organizace Voding Hranice spol. s. r. o. Projekt byl dokončen v roce 2011. V roce 2014 byl vybrán zhotovitel rekonstrukce úpravní vody v Podhradí, sdružení firem Kunst spol. s.r.o. a ARKO TECHNOLOGY, a.s.

Rekonstrukce strojně-technologického zařízení úpravní vody Podhradí

Rekonstrukce strojně-technologického i elektrotechnického zařízení začala v roce 2015 a předpoklad ukončení rekonstrukčních prací je na konci roku 2016. Rekonstrukce spočívá zejména ve:

- Výměně potrubních rozvodů levého i pravého přítokového traktu úpravní, včetně instalace statických míchadel
- Výstavbě zdrojů technických plynů kyslíku a dusíku
- Výstavbě technologické linky ozonizace
- Komplexní rekonstrukci vápenného hospodářství

- Rekonstrukci zařízení pro výrobu a dávkování chloru a oxidu chloričitého, sloužící k před oxidaci a dezinfekci vody
- Výměně čerpacích soustrojí pro čerpání do VDJ Vítkov v napěťové soustavě 400 V
- Výměně čerpadel pro regeneraci pískové náplně ve filtračních jednotkách s ovládáním frekvenčními měniči v napěťové soustavě 400 V
- Instalaci nového systému automatického řízení
- Instalaci nové odtokové regulace na pískových rychlofiltrech

Předprojektová příprava a kvalita surové vody

Před zahájením projektování rekonstrukce ÚV Podhradí byla zhodnocena kvalita surové vody, se zaměřením na biologické oživení surové vody.

Vodním zdrojem pro ÚV Podhradí je vodárenská nádrž Kružberk. Před vodárenskou nádrží Kružberk byla na toku Moravice v roce 1997 vybudována údolní nádrž Slezská Harta (napouštění začalo již roku 1996 a přehrada se zásadní měrou zasadila o zmírnění povodňové vlny z roku 1997). Předřazením nádrže nad vodárenskou nádrž Kružberk se dosáhlo zkapacitnění a jakostní zkvalitnění tohoto stávajícího zdroje, zejména došlo k odstranění extrémních výkyvů v kvalitě surové vody, a to hlavně v období vyšších srážkových úhrnů. Období zvýšeného biologického oživení vody odtékající ze Slezské Harty vesměs kopíruje období zvýšeného výskytu fytoplanktonu na Kružberku, ale hodnoty celkového biologického oživení jsou několikanásobně nižší. To znamená, že nárůst fytoplanktonu se odehrává přímo v nádrži Kružberk.

Na pravém břehu vodárenské nádrže Kružberk, zhruba 2,5 km vzdušnou čarou od hráze, je vyústěný tok Lobník. Tento recipient (a jeho přítoky) protéká oblastí ovlivněnou zemědělskou činností a zejména v období vysokých srážek dochází k výraznému zhoršení jakosti tohoto přítoku. Zákal dosahuje hodnot přes 20 NTU a zejména kvůli zamezení zanášení Kružberku nerozpuštěnými látkami, byla cca 900 m od zaústění toku směrem k přehradní nádrži vybudována hráz, oddělující vodárenskou nádrž Kružberk a zmíněný tok Lobník. V této protiplaveninové nádrži dochází k masivnímu rozvoji biologického oživení, dosahujícího hodnot až 20 000 org./ml. Voda z Lobníku přetéká do Kružberku přepadem přes boční přelivnou hranu hráze.

Na kružberské nádrži jsou vodárenská odběrová okna umístěna v hloubce 11 a 23,5 m pod maximální hladinou v nádrži. Hodnota biologického oživení je na horním odběrovém okně zpravidla vyšší, než na dolním odběrovém okně a celkově vykazují vyšší rozkolísanost i v průběhu několika dní. Z tohoto důvodu je větší část rokovyžívaný dolní odběrový horizont.

V surové vodě z vodárenské nádrže Kružberk dominují centrické a penátní rozsivky rodu *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Aulacoseira*, *Asterionella formosa*. V menší míře jsou v surové vodě přítomny zlativky rodu *Chrysococcus* a *Kephyrion* a zelené řasy rodu *Tetraedron*, *Oocystis* a *Chlamydomonas*. Bezbarví bičíkovci, spájivky skrytěnky, obrněnky a sinice jsou v surové vodě zastoupeny v minimálních počtech.

Celkové počty biosestonu, v období zhoršené kvality vody, dosahují zpravidla hodnoty 3 000 org./ml, v extrémních případech (rok 2010) i přes 10 000 org./ml. Vzhledem k velikosti většiny rozsivek a zlativek (velikost buněk okolo 30 – 100 µm) se jedná o velmi špatně separovatelné organismy. Problematické mohou být i vláknité a jehlicovité

rozsivky (*Aulacoseira*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*), které tvoří v surové vodě kolonie, které se v průběhu úpravy rozpadají na jednotlivé fragmenty a navyšují celkové počty na výstupu z úpravy vody.

Z důvodů opakujícího se zvýšeného počtu biologického oživení v surové vodě jsme přistoupili v rámci předprojektové přípravy k provedení poloprovozní zkoušky pro ověření vlivu dávkování ozonu na biologické oživení ve vodě.

Poloprovozní zkoušky

V průběhu projekčních prací byly na ÚV Podhradí provedeny poloprovozní ozonizační zkoušky, při kterých byl sledován vliv dávkování ozónu s následnou filtrací na snížení celkového biologického oživení. Poloprovozní ozonizační zkoušky byly provedeny s využitím ozonizátoru „Ozon GSO 10“ firmy DISA v.o.s. o maximálním výkonu 4,31 mg O₃/l, vyrábějící ozon z kyslíku. Součástí sestavy bylo čerpadlo surové vody, směšovací injektor, statický mísič, sytící nádrž a odběrná nádoba.

V době provádění poloprovozních ozonizačních zkoušek (1. – 3. 4. 2011) se celkové počty mikroskopického obrazu v surové vodě vyskytovaly v počtech od 2860 org./ml do 3840 org./ml, CHSK_{Mn} surové vody byla 3,68 – 3,84 mg/l.

Ozonizovaná surová voda s konkrétní dávkou ozonu byla odebírána do laboratorní kádinky, do které byl nadávkován síran hlinitý (běžně požívaný na ÚV Podhradí), byla provedena simulace tvorby vloček suspenze na laboratorním míchacím zařízení a po nezbytné době sedimentování byly odebírány vzorky k laboratorní analýze. Pro srovnání byly koagulační zkoušky ozonizované vody prováděny také s jiným typem koagulantu PAX 18. Postupně byly navyšovány dávky ozonu za současného posuzování vlivu dávky ozonu na biologické oživení a chemickou spotřebu kyslíkem. První den zkoušek jsme se z dávky 1,25 mg/l ozonu dostali až na dávku 1,93 mg/l, kdy úbytek živých organismů dosahoval nejvyšších hodnot (24 – 28 org./ml), viz. tabulka 1.

Tabulka 1. Kvalita vody po dávkování ozonu 1. 4. 2011

1. 4. 2011	dávka O₃ (mg/l)	konc. O₃ po 3 min. (mg/l)	pH	CHSK_{Mn} (mg/l)	Al (mg/l)	živé org. (org./ml)
surová voda	-	-	7,24	3,68	0,00	2 980
surová + 15 mg/l SH	1,93	0,50	6,93	3,12	1,25	24
surová + 15 mg/l PAX 18			7,08	3,20	1,21	28

Druhý den zkoušek jsme pokračovali v postupném navyšování dávky ozonu do surové vody. Navýšili jsme dávku až na 2,61 mg/l ozonu, aniž bychom zaznamenali další úbytek počtu živých organismů. Třetí den zkoušek jsme věnovali ověření vlivu maximálně využitelné dávky ozonizátoru. Ani dávka 4,31 mg/l ozonu nepřinesla další snížení počtu živých organismů, jak je patrné z tabulky 2.

Tabulka 2. Kvalita vody po dávkování ozonu 2. – 3. 4. 2011

2. - 3. 4. 2011	dávka O₃ (mg/l)	konc. O₃ po 3 min. (mg/l)	pH	CHSK_{Mn} (mg/l)	Al (mg/l)	živé org. (org./ml)
surová voda	-	-	7,23	3,84	0,00	790 - 2 980
surová + 17,5 mg/l SH	2,61	0,35	6,86	2,72	1,33	24
surová + 20,0 mg/l SH	4,31	0,54	-	-	-	32

V druhé části poloprovozních zkoušek jsme se zaměřili na skutečné podmínky ÚV Podhradí. Surová voda přitékající na úpravnu je po rozdělení na levou a pravou přítokovou větev nadávkovaná síranem hlinitým (po realizaci ozonizace bude za dávkování síranu hlinitého zaústěno dávkování ozonu) a je přiváděna do uzavřené nádrže rychlého míchání, které je tvořeno dvěma nádržemi obdélníkového půdorysu pro levou i pravou přítokovou větev. Promíchávání vody je zajištěno systémem přelivných a norných stěn uvnitř nádrží. Užitečný objem obou nádrží rychlého míchání je 432 m³ a při uvažované průměrné výrobě 1100 l/s je doba zdržení nadávkované vody v nádrži zhruba 6 minut. Z nádrží rychlého míchání je voda vedena do otevřených nádrží pomalého míchání. V případě výskytu ozonu v nádrži pomalého míchání by mohlo docházet k úniku ozonu do ovzduší a mohly by být dosaženy přípustné expoziční limity, nebo nejvyšší přípustné koncentrace. To znamená, že doba 6 minut je potřebná k vytvoření reakce mezi ozonem a organickými látkami v surové vodě a po této době by již ve vodě nadávkované ozonem měla být koncentrace ozonu nulová, nebo blízka nule.

Pro ověření rychlosti reakce ozonu v surové vodě byla provedena poloprovozní zkouška, při které byl do surové vody dávkován ozón a tato voda byla přivedena do IBC kontejneru o objemu 1m³, ve kterém byla nasimulována potřebná doba zdržení. Následně byla změřena koncentrace rozpuštěného ozonu ve vodě nadávkované ozónem ihned po dávkování a po 6 minutách reakce. Výsledky měření ozónu v nadávkované vodě jsou uvedeny v tabulce 3. Bylo zjištěno, že většina ozonu se ihned po nadávkování spotřebuje na reakci s organickými látkami ve vodě. Tímto pokusem byly potvrzeny výsledky ze sklenicových testů a dávku 1,93 mg O₃/l byla stanovena jako maximálně možná pro další projektování ozonizace.

Tabulka 3. Vliv dávky ozónu na zbytkový ozón po šesti minutové reakční době

dávka O₃ (mg/l)	O₃ ve vodě na přítoku (mg/l)	O₃ ve vodě na odtoku (mg/l)	CHSK_{Mn} (mg/l)
1,25	0,09	0,00	2,96
1,59	0,18	0,00	3,20
1,93	0,25	0,08	2,80

Vliv ozonizace na biologickou stabilitu vody

V průběhu poloprovozních zkoušek byly současně odebírány vzorky ozonizované vody pro analýzy množství různých forem organického uhlíku v surové vodě. Ozonizace snižuje hodnotu organického znečištění v surové vodě, ale zároveň tyto organické látky činí dostupnějšími pro metabolizaci organotrofními organismy. Vzorky nadávkované vody byly analyzovány pro ukazatele celkový organický uhlík (TOC), rozpuštěný organický uhlík (DOC), biologicky rozložitelný organický uhlík (BDOC) a asimilovatelný organický uhlík (AOC). Z výsledků v tabulce 4 je patrný úbytek organického znečištění vyjádřený jako $CHSK_{Mn}$ a DOC, ale zároveň dochází k nárůstu celkového organického uhlíku. Potvrdil se nárůst hodnoty BDOC po ozonizaci z 1,0 mg/l v surové vodě až na 1,58 mg/l při dávce 1,93 mg O_3 /l, tzn. surová voda je po ozonizaci méně biologicky stabilní. Dále se potvrdil předpoklad nárůstu asimilovatelného organického uhlíku v ozonizované vodě.

Tabulka 4. Vliv ozonizace na organický uhlík v surové vodě

	$CHSK_{Mn}$ (mg/l)	TOC_0 (mg/l)	DOC_0 (mg/l)	BDOC (mg/l)	AOC (μ g/l)
surová voda	3,68	3,62	3,24	1,0	61,97
pitná voda	1,84	2,35	1,62	0,64	2,48
dávka O_3 1,25 mg/l	2,96	4,03	2,89	1,48	67,38
dávka O_3 1,59 mg/l	3,20	3,99	2,83	1,53	64,91
dávka O_3 1,93 mg/l	2,80	3,66	2,91	1,58	83,13

Technické řešení ozonizace

Navržený systém ozonizace na úpravně vody Podhradí je založen na využití jednoho generátoru Wedeco SMOevo 710 výkonu 8 kg O_3 /h, vyrábějící ozon z kyslíku. Vyrobená plynná směs kyslíku a ozonu bude plynule distribuována do dvou samostatných větví potrubí surové vody, pomocí dvou systémů Wedeco GDA. Vyrobená směs kyslíku a ozonu bude dávkována na základě zvolené dávky ozonu pro každou z linek a signálu o průtoku surové vody jednotlivými linkami a úprava dávkovaného množství ozonu bude probíhat v závislosti na koncentraci zbytkového ozonu ve vodě za reakčními nádržemi (rekonstruované nádrže rychlého míchání) pomocí signálů z analyzátorů. Směs plynů vystupující z generátoru ozonu s přetlakem cca 1 bar bude přiváděna nerezovým potrubím do systému GDA, který reguluje průtok plynu k injektorům, které jsou součástí systému na rozpouštění plynů GDS firmy Statiflo.

Voda s nasátou plynnou směsí bude systémem mísičů, ve kterých dochází k vytvoření optimálních podmínek pro rozpouštění ozonu ve vodě, rovnoměrně zavedena do dvojice nátokových potrubí před reakční nádrže. Do těchto nátokových potrubí před nově osazený statický mísič budou z důvodu zajištění kvalitní homogenizace zaústěny také dávkovací potrubí síranu hlinitého, chloru a oxidu chloričitého. S ohledem na aplikovaný ozon bude nutné podrobit nadávkovanou vodu časové reakci. K tomuto účelu budou sloužit reakční nádrže, které vzniknou rekonstrukcí stávajících nádrží rychlého míchání. Reakční nádrže budou plynotěsně upraveny, u přelivů reakčních

nádrží budou osazeny nové přepadové žlaby s nornou stěnou a vodním uzávěrem pro zamezení pronikání ozonu do odpadního žlabu. Odtoková část reakčních nádrží bude vystrojena destruktory zbytkového plynného ozonu s katalytickým předehřevem pro likvidaci ozonu nad hladinami v reakčních nádržích.

V suterénu úpravní vody, místnosti u generátoru ozonu, dávkování a reakčních nádrží bude nad podlahou osazeno plastové vzduchotechnické potrubí s odtahem do venkovního prostoru pro zajištění odvětrání při výskytu ozonu ve vzduchu. Generátor ozonu má svůj senzor úniku ozonu instalovaný přímo na rámu generátoru s výstupním signálem pro vypnutí, přivedeným přímo do PLC generátoru. Systém je doplněn o dalších pět senzorů úniku ozonu napojených na vyhodnocovací centrálu, jejíž výstupní signál je zaveden do PLC generátoru ozonu. Systém ozonizace jako celek je řízen pomocí PLC generátoru ozonu.

Zdrojem kyslíku potřebného pro provoz ozonizační stanice bude odpařovací stanice kapalného kyslíku. Skladování kyslíku pro výrobu ozonu je řešeno pomocí kryogenního zásobníku VT 31/18 o objemu 32 290 litrů. Odpařovací stanice je vystrojena 2 ks vzduchových odpařovačů SG 70HF a redukční stanice včetně připojení zdroje dusíku. K ozonizátoru bude směs kyslíku a dusíku přivedena z redukční stanice nerezovým potrubím DN 32.

Závěr

Technologie ozonizace bude na pravé lince surové vody uvedena do zkušebního provozu v dubnu 2016, po ukončení technologických prací na levé lince úpravní vody bude ozonizace na konci roku 2016 zprovozněna pro celou úpravní vody v Podhradí. Po zprovoznění ozonizace bude s ohledem na proměnlivou kvalitu surové vody v průběhu roku nastavována optimální dávka ozonu a bude monitorován vliv ozonizace na biologickou stabilitu vody.

Nová technologie ozonizace zvýší účinnost oxidace organických látek v surové vodě, sníží tvorbu chloroformů a zároveň zlepší organoleptické vlastnosti upravené pitné vody.