

# PŘEDPROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA REKONSTRUKCE PRVNÍHO SEPARAČNÍHO STUPNĚ NA ÚV HRADEC KRÁLOVÉ

**doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.<sup>1,2)</sup>, Ing. Pavel Dobiáš<sup>1)</sup>,  
Ing. Klára Jelínková, Ph.D.<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> W&ET Team, Písecká 2, 370 11 České Budějovice  
a <sup>2)</sup> FCh VUT, Brno

petr.dolejs@wet-team.cz, pavel.dobias@wet-team.cz, klara.jelinkova@wet-team.cz

## ÚVOD

Cílem poloprovozních pokusů bylo zjistit dosažitelnou separační účinnost a určit návrhové parametry prvního separačního stupně. Jako vhodná technologie byla zvolena flotace rozpuštěným vzduchem, která měla nahradit původní první separační stupeň - čířiče. Pro správné určení návrhových parametrů bylo nezbytné posoudit vliv kvality surové vody v zimním i letním období. Surová voda v řece Orlici, která je v tomto případě zdrojem pro úpravnu, je jak v průběhu celého roku tak i v dílčích ročních obdobích velmi proměnné kvality. Tento příspěvek zařazujeme jako úvodní informaci k přednášce o zkušebním provozu realizované flotace na ÚV Hradec Králové. Podrobnější informace o našich poloprovozních experimentech jsme již publikovali v příspěvku [1].

## METODIKA

Modelové experimenty byly prováděny na poloprovozním modelovém flotačním zařízení, které bylo umístěno v hale čerpací stanice surové vody na ÚV Hradec Králové (obr. 1). Plán experimentálních prací byl koncipován tak, aby byl co nejvíce pokryt sezónní rozptyl v kvalitě surové vody. Pro orientaci uvádíme základní hodnoty kvality surové vody za období našich experimentů v zimním i letním období (tabulka 1).

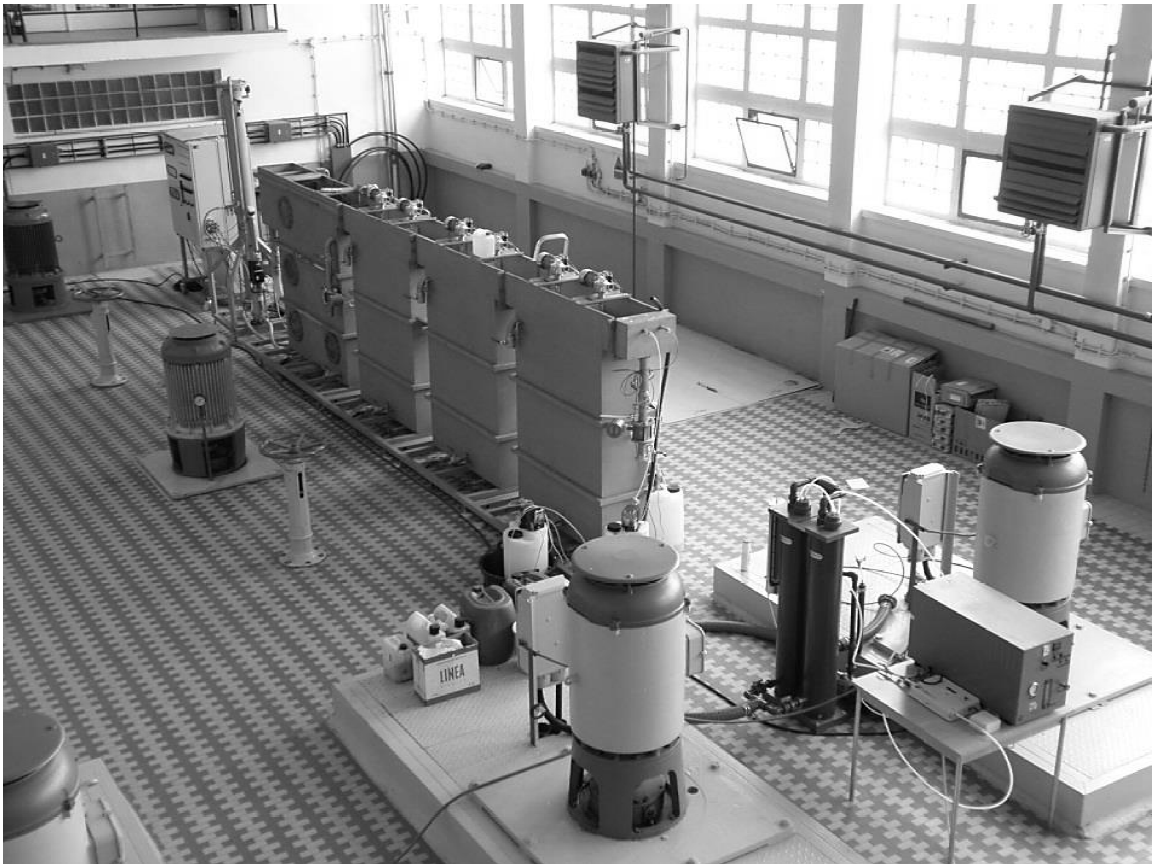
**Tabulka 1. Kvalita surové vody v období poloprovozních experimentů**

Ukazatel	Zima 2010	Léto 2010
<b>CHSK<sub>Mn</sub> [mg/l]</b>	3,0 – 8,9	2,9 – 5,0
<b>pH</b>	7,3 – 7,6	7,05 – 7,89
<b>KNK<sub>4,5</sub> [mmol/l]</b>	1,1 – 1,7	2,1 – 2,6
<b>Teplota [°C]</b>	1,9 – 7,0	13 – 23
<b>Zákal [NTU]</b>	13 – 35	14,4 – 21,1
<b>Barva [mg/l Pt]</b>	15 – 60	20 – 32
<b>Organismy [j/ml]</b>	160 – 480	40 - 1400

Poloprovozní experimenty byly vedeny tak, aby bylo možné ověřit míru vlivu použití různých typů koagulantů (síran železitý, síran hlinitý, předpolymerované hlinité koagulanty Flokor) na separační účinnost flotace rozpuštěným vzduchem. Dávka koagulantu byla průběžně (minimálně jednou denně) optimalizována v závislosti na kvalitě surové vody, případně bylo záměrně pracováno s dávkou mimo optimum, aby byla zjištěna odezva flotace na mírné poddávkování. Proto jsou některé výsledky výrazně horší než by bylo možné očekávat od provozní flotace, která by pracovala za

optimalizovaných podmínek. Tyto výsledky však přispívají k poznání, jak se tento separační proces chová za okrajových podmínek a na jejich základě také získáváme vhodné návrhové parametry pro provozní flotaci [2].

Na modelové flotaci byl ověřován i vliv fyzikálních faktorů, které významně ovlivňují separační účinnost flotace a to povrchové zatížení flotace (10–25 m/h), doba zdržení v agregačních reaktorech a nastavení středního rychlostního gradientu u mechanických míchadel. Pro agregaci suspenze před flotací bylo možné použít až šest míchaných reaktorů modelového zařízení, ve kterých je při povrchovém zatížení 10 m/h doba zdržení celkem 45 minut.



**Obr. 1. Umístění modelu flotace v hale čerpadel surové vody na ÚV Hradec Králové (v popředí je umístěna předozonizace)**

V projektu rekonstrukce úpravy vody Hradec Králové bylo počítáno i s aplikací předřazené ozonizace před flotací rozpuštěným vzduchem, stejně jako tomu bylo v původní koncepci technologické linky, kdy bylo ozonizováno před čističi. Proto byla poloprovazně ověřena jak míra vlivu předozonizace, tak alternativní oxidace manganistanem draselným na separační účinnost flotace a to především u ukazatele počtu organismů.

Ke komplexnímu vyhodnocení separační účinnosti flotace rozpuštěným vzduchem byl ještě testován vliv použití polymerního flokulantu a také zhodnocení vlivu ozonizace na organické látky sledováním koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) po předozonizaci a podél celé technologické linky. Tyto výsledky jsou v [1].

V průběhu měření byly odebírány vzorky surové i upravené vody a v nich analyzovány absorbance při 254 a 387 nm, barva, zbytková koncentrace železa a hliníku. Zároveň

byl provoz kontinuálně sledován analyzátozem částic ARTI WPC-22 (Hach–Lange). Nejdůležitější vzorky byly také analyzovány akreditovanou laboratoří KHP, a.s. a rozšířily sledování zejména o parametry  $CHSK_{Mn}$ , mangan a počty organismů.

## VÝSLEDKY

V průběhu poloprovozních experimentů jsme testovali a porovnávali separační účinnost flotace při aplikaci různých typů koagulantů, různé doby zdržení v agregačních reaktorech předřazených před flotaci a také to, jak ovlivní separaci vzniklé suspenze flotací intenzita míchání při tvorbě vloček případně předřazená ozonizace nebo oxidace manganistanem draselným.

### *Vyhodnocení vlivu typu a dávky koagulantu*

Pro rozšíření spektra testovaných alternativních koagulantů jsme zajistili vzorky předpolymerovaných koagulantů od výrobce Dempol-Eco z Opole v Polsku. Předběžně jsme je vyhodnotili koagulačními testy a ty prokázaly, že by pro úpravu vody z Orlice mohly být velmi vhodné. Výsledky poloprovozních testů čtyř druhů těchto koagulantů jsou v tabulce 2.

**Tabulka 2. Kvalita upravené vody na odtoku z flotace při koagulaci hlinitými koagulanty Flokor (Dempol-Eco, Polsko)**

Dávka Al [ $\mu\text{mol/l}$ ]	A254 [1 cm]	Barva [mg/l Pt]	Zákal [NTU]	Al [mg/l]	MO [j/ml]	$CHSK_{Mn}$ [mg/l]	pH
<b>FLOKOR 1 A</b>							
160	0,068	12,8	1,6	0,039	0	1,32	7,75
<b>FLOKOR 1 ASW</b>							
75	0,059	11,7	1,6	0,099	0	1,55	7,79
<b>FLOKOR D 15</b>							
75	0,060	12,0	1,6	0,148	0	1,61	7,80
<b>FLOKOR 1,2 A</b>							
165	0,047	7,7	0,9	0,085	0	1,38	7,66
75	0,055	10,5	1,1	0,112	0	1,61	7,76
45	0,066	13,5	1,6	0,102	40	1,72	7,75

Dalším velmi významným rysem koagulace s předpolymerovanými koagulanty Flokor je jejich relativně velmi nízká molární dávka ve srovnání jak se síranem hlinitým, tak se síranem železitým. Již při dávce 75  $\mu\text{mol/l}$  hliníku dosahovaly koagulanty Flokor velmi dobrých výsledků a to jak v parametrech zbytkového hliníku, tak  $CHSK_{Mn}$ , počet organismů či A254.

Při srovnatelných podmínkách se síranem hlinitým (co do povrchového zatížení a dalších provozních parametrů nastavení flotace), bylo s koagulanty Flokor dosaženo vždy 100% odstranění organismů po flotaci a to i při dávkách 75  $\mu\text{mol/l}$ , které by odpovídaly dávce pouhých 25 mg/l síranu hlinitého ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ). U síranu hlinitého jsme koagulačním testem našli optimální dávku zhruba dvojnásobnou (55 mg/l).

Jako nejlepší se jevil koagulant Flokor 1,2 A, proto jsme s ním ještě provedli testy, které měly ukázat možnosti flotace při zvýšených hodnotách povrchového zatížení. I při dvojnásobku povrchového zatížení (po zvýšení z 10 na 20 m/h) se proces flotace vody z Orlice choval velmi dobře a bylo dokonce dosaženo v polovině vzorků opět 100% separace organismů.

### ***Vyhodnocení vlivu předozonizace na separační účinnost flotace***

Velmi důležitým úkolem při měření v letním období bylo také posouzení vlivu předozonizace na upravitelnost vody flotací. Výsledky vlivu předozonizace při koagulaci síranem železitým a síranem hlinitým jsou v tabulkách 3 a 4.

Z výsledků pro síran železitý (tabulka 3) je vidět, že ozonizace ovlivňuje pouze hodnotu A254 a barvy, protože ozónem dochází k ataku těch částí molekul organických látek, které vykazují absorpci v UV a viditelné oblasti. Vliv na zákal a zbytkové železo není průkazný a znamená to, že ozonizace nezlepšuje separační vlastnosti vzhledem k těmto dvěma parametrům.

**Tabulka 3. Kvalita upravené vody na odtoku z flotace při koagulaci síranem železitým při ověřování vlivu předozonizace (doba zdržení 15 min)**

dávka Fe [μmol/l]	dávka O <sub>3</sub> [mg/l]	Polymer [μg/l]	A254 [1 cm]	Barva [mg/l Pt]	Zákal [ZF]	Fe [mg/l]	pH
205	-	-	0,18	58,4	4,1	2,27	6,95
205	0,1	-	0,163	46,4	3,2	1,88	6,95
205	0,1	60	0,184	59,9	5,9	3,12	6,95
205	0,2	-	0,154	43,1	2,9	1,67	6,95
205	0,5	60	0,165	54,8	4,5	2,79	6,93
205	1,12	-	0,127	42,1	3,6	2,19	6,91

**Tabulka 4. Kvalita upravené vody na odtoku z flotace při koagulaci síranem hlinitým při ověřování vlivu předozonizace (doba zdržení 15 min)**

dávka Al [μmol/l]	dávka O <sub>3</sub> [mg/l]	A254 [1 cm]	Barva [mg/l Pt]	Zákal [ZF]	Al [mg/l]	MO [j/ml]	CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	pH
195	-	0,057	11,5	2,0	0,55			6,80
195	-	0,056	11,2	1,8	0,55	0	0,82	6,80
195	-	0,056	12,2	1,8	0,46	0	1,81	6,80
195	-	0,059	12,0	1,8	0,51	40	1,75	6,80
195	-	0,056	11,7	1,8	0,41	120	1,81	6,80
195	0,1	0,049	8,9	1,6	0,52	0	0,95	6,78
195	0,2	0,040	6,6	1,1	0,43	0	1,75	6,78
195	0,5	0,042	7,9	2,3	0,53	80	<0,5	6,77
195	0,5	0,043	8,9	2,7	0,53	40	1,75	6,77
195	0,5	0,047	9,9	2,7	0,63	40	1,75	6,77
195	1,0	0,034	7,7	2,0	0,53	0	1,64	6,75

Při koagulaci síranem hlinitým (tabulka 4) jsou vidět prakticky stejné výsledky jako u síranu železitého. Ozonizací sice dochází k mírnému snížení A254 a barvy, ale zbytkový zákal a hliník se ozonizací spíše zvyšují. Vliv na počty organismů je rozkolísaný a stejně tak i vliv na zbytkovou  $CHSK_{Mn}$ .

Je tedy možné prohlásit, že předozonizace nemá v případě flotace jako prvního separačního stupně žádný jasně identifikovatelný pozitivní vliv. Flotace bez předozonizace pracuje naprosto spolehlivě a předozonizací může spíše docházet k mírnému zhoršení separovatelnosti nečistot ze surové vody z řeky Orlice.

### ***Sledování koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky úpravní a po předozonizaci surové vody***

Již řadu let je známo, že silná oxidační činidla (například ozón či chlor) transformují ve vodě přítomné organické látky (například přirozené organické látky, tzv. huminové látky) na látky biologicky dobře rozložitelné, které slouží jako substrát pro sekundární růst heterotrofních organismů v distribuční síti [3,4]. Znamená to, že při navrhování oxidačních procesů do technologické linky je vždy nezbytné zjistit, jak tyto procesy ovlivní kvalitu upravované vody z hlediska tvorby biologicky snadno rozložitelných organických látek.

Protože jsme i v našich podmínkách zjištění zahraničních autorů opakovaně potvrdili vlastními experimenty [5], zaměřili jsme se v měření na ÚV Hradec Králové jednak na stanovení, jaká je tvorba asimilovatelného organického uhlíku (AOC) v současné technologické lince a také jsme zjišťovali, jaké koncentrace AOC vzniknou při předozonizaci třemi různými dávkami ozónu v našem modelovém zařízení. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.

**Tabulka 6. Koncentrace AOC ve vzorcích vody z technologické linky ÚV Hradec Králové a vzorků surové vody po předozonizaci surové vody různými dávkami ozónu (dávkou  $O_3$  v závorkách jsou provozní odhad)**

odběrné místo	dávka $O_3$ [mg/l]	AOC [ $\mu$ g/l]
ÚV – surová voda	-	91
ÚV – po předozonizaci	(1,2)	214
ÚV – za pískovými filtry	-	98
ÚV – odtok z postozonizace	(0,5)	66
ÚV – po filtraci aktivním uhlím	-	13
Ozonizovaná surová voda – model	0,2	145
Ozonizovaná surová voda – model	0,5	142
Ozonizovaná surová voda – model	1,0	172

Z výsledků sledování koncentrace AOC podél technologické linky současné úpravní vyplývá, že koncentrace 91  $\mu$ g/l AOC v surové vodě se po provozní předozonizaci zvýší téměř 2,4 krát na 214  $\mu$ g/l. Následný průchod upravované vody přes koagulaci a dva separační stupně sníží koncentraci AOC zhruba na hodnoty v surové vodě (98  $\mu$ g/l). Zajímavé je, že následná ozonizace filtrátu koncentraci AOC snížila na 66  $\mu$ g/l a výrazné snížení je pak dosaženo sorpcí na aktivním uhlí, které snižuje hodnotu AOC až na pouhých 13  $\mu$ g/l. To potvrzuje, že aktivní uhlí je ještě v dobrém stavu alespoň co do

sorpce (či biologického rozkladu) snadno rozložitelných organických látek. Nicméně to také ukazuje na neopominutelný význam tohoto technologického stupně úpravy pitné vody. Analýzy AOC prováděla RNDr. Dana Baudišová, Ph.D. z VÚV Praha.

Na modelovém zařízení jsme provedli také ozonizaci surové vody třemi dávkami ozónu. Vidíme, že nejvyšší použitá dávka (1 mg/l) se blíží produkci AOC téměř koncentraci zjištěné v provozu úpravny mírně vyšší dávkou ozónu (pravděpodobně 1,2 mg/l).

## ZÁVĚRY

Na základě získaných poznatků jsme doporučili, aby byl pro flotaci zvážěn jako koagulant Flokor 1,2 A, který vykazoval při poloprovozním testování nejlepší výsledky. Pokud by volba předpolymerovaného koagulantu byla ekonomicky neschůdná, doporučili jsme v provozu ověřit síran hlinitý, který v poloprovozních experimentech poskytoval lepší výsledky než síran železitý.

Bylo experimentálně ověřeno, že při úvahách o realizaci flotace jako prvního separačního stupně na ÚV Hradec Králové je možné počítat obecně s velmi vysokou separační účinností a to v zimním i letním období. Na odtoku z flotace byl v pěti ze šesti vzorků nalezen nulový počet organismů. Jediný vzorek s nálezem 40 jedinců záměrně simuloval situaci při poddávkování koagulantu.

Při modelových experimentech s flotací se neprokázala potřebnost ani vhodnost zařazení předozonizace do rekonstruované linky úpravny vody Hradec Králové (Orlice). Separační účinnost flotace nebyla předozonizací nijak prokazatelně zvýšena, naopak bylo spíše pozorováno mírné zhoršení zejména v ukazateli mikroorganismy a zákal.

## LITERATURA

1. Dolejš P., Dobiáš P., Jelínková K.: ÚV Hradec Králové – poloprovozní experimenty s flotací rozpuštěným vzduchem, Zborník prednášok z XV. konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA, s. 103-110, VodaTím s.r.o., Bratislava 2013.
2. Dolejš P.: Význam auditu technologických procesů pro optimalizaci provozu a přípravu rekonstrukcí úpraven pitné vody. *Vodní hospodářství* **62**, č. 4, s. 122-125 (2012).
3. Polanska M., Huysman K., van Keer Ch.: Investigation of assimilable organic carbon (AOC) in Flemish drinking water. *Water Research* **39**, 2259–2266 (2005).
4. Prévost M. a kol.: Biodegradable organic matter in drinking water treatment and distribution. AWWA, Denver, CO 2005.
5. Dolejš P., Dobiáš P., Baudišová D.: Změny koncentrace asimilovatelného organického uhlíku (AOC) podél technologické linky úpravny s ozonizací a filtrací aktivním uhlím. Sborník konference „Pitná voda 2008“, s. 107-112. W&ET Team, České Budějovice 2008.