

GARANČNÍ ZKOUŠKY FLOTAČNÍ JEDNOTKY NA ÚV HRADEC KRÁLOVÉ

Ing. Pavel Král, Ph.D.¹⁾, Ing. Pavel Dobiáš²⁾

¹⁾ Královéhradecká provozní a.s., Víta Nejedlého 893, 500 03 Hradec Králové,
pavel.kral@khp.cz

²⁾ W&ET Team, Písecká 2, BOX 27, 370 11 České Budějovice,
pavel.dobias@wet-team.cz

Úvod

Úpravná vody Hradec Králové Orlice prochází komplexní rekonstrukcí. Rekonstrukce je realizována sdružením společností KUNST s.r.o. a VCES a.s. Práce na rekonstrukci byly zahájeny v srpnu 2012 a plánované ukončení prací je v listopadu 2014, přičemž objem prací převyšuje 100 mil. Kč. Projektantem rekonstrukce úpravny vody je společnost VODING Hranice s.r.o.

V rámci rekonstrukce byla provedena výměna nevyhovujících galeriových čířičů za flotační jednotku firmy Leopold. Dodavatelem této flotační jednotky byla firma ENVI-PUR s.r.o. Investor (VAK Hradec Králové a.s.) požadoval před nákupem tohoto zařízení od dodavatele garance, že zařízení bude plnit výsledky, které slibovalo poloprovozní testování flotace rozpuštěným vzduchem (DAF), které v Hradci Králové proběhlo v roce 2010 [1], [2]. Na základě toho byla vytvořena garanční procedura spočívající v provozu jednotky v zimním období po dobu 2 týdnů a v letním období po dobu 4 týdnů.

Tento příspěvek popisuje postup rekonstrukce a průběh garančních testů v zimním období roku 2014 a získané provozní zkušenosti a výsledky. Zimní garanční období proběhlo úspěšně a flotační jednotka splnila garantované parametry. Jako doplnění jsou přidány výsledky z května 2013, kdy došlo k prvnímu provoznímu spuštění jednotky. Letní garanční období teprve proběhne – a to v květnu a červnu 2014.

Stručný popis rekonstrukce úpravny pitné vody Hradec Králové Orlice

Úpravná vody Hradec Králové byla uvedena do provozu v roce 1963. Zdrojem surové vody je řeka Orlice, přičemž úpravná vody je situována na jejím pravém břehu, v její bezprostřední blízkosti. Původní projektovaný a realizovaný výkon úpravny vody byl 300 l.s^{-1} . V průběhu let jejího provozování výkon úpravny postupně klesal. Po vybudování vodního zdroje Litá a vodárenského soustavy Východní Čechy byl povolený odběr vody z řeky Orlice snížen na 150 l.s^{-1} a úpravná pitné vody Orlice se stala záložním vodárenským zdrojem pro případ sucha a nedostatku vody z podzemních zdrojů. Na výkon 150 l.s^{-1} je také prováděna současná rekonstrukce a modernizace úpravny a v budoucnu se počítá s trvalým užíváním této úpravny.

Surová voda je odebírána odběrným objektem přímo z řeky Orlice a vede se přes dvoje česle (hrubé a jemné) do jímky surové vody, odkud se čerpá do úpravny vody. Technologická část ÚV se skládá z předozonizace, po níž následuje dávkování koagulantu a případná alkalizace a dávkování polymerního flokulantu (využívání se na základě poloprovozních testů spíše nepředpokládá [1]). První separační stupeň úpravy je koncipován jako dvoj-linka flokulace a flotace a druhý separační stupeň úpravy byl

navržen jako filtrace na otevřených filtrech s drenážním systémem Triton a náplní Filtralite Mono-Multi, a ozonizace, za níž je zařazen sorpční stupeň tvořený tlakovými filtry s granulovaným aktivním uhlím. Úprava vody je zakončena dezinfekcí vody plynným Cl₂ a čerpáním do sítě.

Kvalita surové vody v řece Orlici podléhá značným výkyvům a to zejména s ohledem na biologické a mikrobiologické ukazatele, teplotu a organické zatížení, přičemž platí, že s narůstající teplotou se kvalita surové vody spíše zhoršuje. Druhým problémem kvality surové vody jsou poměrně časté okalové stavy. To vše klade vysoké nároky zejména na první separační stupeň úpravy.

Předprojektová příprava pro instalaci flotační jednotky – modelové testy

V roce 2009 byla zahájena předprojektová příprava rekonstrukce této úpravny vody. Investor se rozhodl provést poloprovozní testování flotace rozpuštěným vzduchem. První etapa poloprovozních experimentů byla provedena v jarním období roku 2010 (březen – duben), kdy je kvalita vody v řece Orlici nejvíce nestabilní, zejména v ukazateli počtu organismů [1]. Druhá část poloprovozní testů pak následovala v červenci 2010, kdy naopak vrcholilo období růstu organismů v surové vodě [2]. V průběhu poloprovozního testování byly zkoušeny různé typy koagulantů, vliv doby zdržení ve flokulaci, vliv povrchového zatížení i vliv předúpravy ozonizací na separační účinnost flotace (pouze v letním období). Pro investora poloprovozní měření zajišťovala firma W&ET Team Doc. ing. Petra Dolejše, CSc. Výsledky tohoto měření byly významným podkladem pro projekt rekonstrukce úpravny vody Hradec Králové.

Závěrem poloprovozního měření flotace v zimním období bylo, že při použití síranu železitého bylo flotací dosahováno až 100% separace organismů, až 96% účinnosti separace železa, 65% účinnosti separace barvy a téměř 50% separace CHSK_{Mn}. Separační účinnost DAF bylo možné významně ovlivnit koagulací při optimální dávce koagulantu, intenzitou míchání a dostatečně dlouhou dobou zdržení v agregačních reaktorech. Snížení hodnoty pH bylo zhruba jen o 0,5 jednotky pH v závislosti na typu a dávce koagulantu. Velmi podobných účinností bylo také dosahováno při provozu se síranem hlinitým. Jeho optimální dávky v molárním vyjádření byly mírně nižší než u železa. Bylo experimentálně ověřeno, že při úvahách o realizaci flotace jako prvního separačního stupně na ÚV Hradec Králové nebude pravděpodobně nutné užití organického flokulantu [1].

Při poloprovozním testu v letním období se pak potvrdily podobné účinnosti jako v zimním období s tím, že velmi nadějných výsledků bylo dosaženo s užitím předpolymerovaných hlinitých organických flokulantů. Velmi zajímavých výsledků bylo dosaženo při poloprovozním ověření vlivu předúpravy ozonizací na separační účinnost flotace. Ukázalo se, že předozonizace nemá významně pozitivní vliv na kvalitu vody za flotací a naopak při dávkách ozonu nad 0,5 g/m³ surové vody se ukázal negativní vliv této předúpravy [2].

Projekce flotační jednotky na ÚV Hradec Králové

Na základě výsledků poloprovozního měření bylo rozhodnuto o využití flotace jako prvního separačního stupně při rekonstrukci úpravny vody Hradec Králové. Tento technologický prvek byl zapracován do projektu rekonstrukce úpravny vody Hradec Králové, kterou zpracovala firma VODING Hranice, s.r.o. Pro umístění flokulace a flotace byl využit prostor původních čířičů jedné linky úpravny vody Hradec Králové.

Garanční test flotační jednotky

Protože bylo zjištěno, že první separační stupeň je v rámci rekonstrukce úpravní vody Hradec Králové velmi důležitým faktorem, v zadávací dokumentaci výběrového řízení na dodavatele rekonstrukce úpravní vody byly stanoveny velmi přísné požadavky na budoucího dodavatele flotace.

Koncem roku 2010 bylo vypsáno výběrové řízení na dodavatele rekonstrukce úpravní vody Hradec Králové, ve kterém zvítězilo sdružení Úpravna Hradec, reprezentované společnostmi KUNST, spol. s r.o., VCES a.s. a Královopolská Ria a.s. V zadávacích podmínkách bylo mimo jiné přesně stanovené jaké parametry a jakým způsobem musí zhotovitel v rámci zkušebního provozu prokázat, že první separační stupeň splňuje garantovanou účinnost odstranění u vybraných kvalitativních ukazatelů. Na flotaci rozpuštěným vzduchem jako prvním separačním stupni byly v soutěžních podmínkách definovány požadavky na separační účinnost při kvalitě surové vody rozdělené do čtyř kategorií podle míry znečištění a teploty vody. Jedná se o kategorie: typická voda v období kampaně květen-červenec; okalový stav, letní oživená voda a zimní voda. Pro každou kategorii byly smluvně zakotveny garantované účinnosti odstranění $CHSK_{Mn}$, koagulantu, organismů a zákalu – viz. údaje v tabulce 1.

Tabulka 1. ÚV Hradec Králové – garantovaná separační účinnost DAF

Garantovaná separační účinnost	
Ukazatel	účinnost [%]
zákal*	80
$CHSK_{Mn}$	60
zbytkový koagulant (Al, Fe)	90/85**
celkový počet organismů	95/90**

*Separační účinnost 80% platí pouze při okalovém stavu, **Platí v zimním období

Smluvně bylo stanoveno, že garanční test bude probíhat v zimním období po dobu dvou týdnů a v letním období po dobu čtyř týdnů, přičemž v každém týdnu budou odebrány 3 páry garančních vzorků. Celkem tedy bude v zimním období odebráno 6 párů garančních vzorků a v letním období 12 párů garančních vzorků. Nevyhovět garancím může jeden pár v zimním období a dva páry v období letním.

První spuštění flotační linky – květen 2013

V rámci uvedení flotační jednotky do provozu byly 13. 5. – 16. 5. 2013 provedeny dodavatelem flotace, firmou ENVI-PUR, s.r.o., komplexní zkoušky strojů a zařízení. V průběhu komplexních zkoušek byly provedeny i koagulační testy za účelem výběru nejvhodnějšího koagulačního činidla, jehož použití by přispělo k co nejlepší separační účinnosti flotace rozpuštěným vzduchem. Jako nejvhodnější koagulant byl vybrán PAX XL 19 a jako alternativa pak síran hlinitý. Komplexní zkoušky prováděla firma ENVI-PUR s.r.o. ve spolupráci s technologem provozovatele KHP a.s. a tyto zkoušky byly využity i pro testovací vyladění provozu flotace rozpuštěným vzduchem před zahájením garančních zkoušek.

Následně měla být zahájena první etapa garančních zkoušek flotace rozpuštěným vzduchem v letním období. Garanční zkoušky byly však v průběhu první etapy předčasně ukončeny z důvodu nezpůsobilosti dalšího separačního stupně (filtrace) technologické linky k pokračování ve výrobě pitné vody, jež by mohla být dodávána do distribuční sítě. Jednalo se o nevyhovující stav na dosud nerekonstruované filtraci a její interakci s následnou ozonizací. Podrobné výsledky z provozu flotace v tomto období

byly publikovány v příspěvku [3], zde uvádíme pouze některé zajímavé výsledky. Tabulka č. 2 obsahuje ukazatele průměrné kvality surové vody v květnu 2013.

Tabulka 2. ÚV Hradec Králové – průměrné vybrané ukazatele kvality surové vody v průběhu zkoušek flotace rozpuštěným vzduchem květen 2013

CHSK_{Mn} [mg/l]	Zákal [NTU]	pH [-]	Al [mg/l]	MO_{celk.} [j/ml]
5,01	10,9	7,1	<0,07	6650

V tabulce 3 jsou uvedeny účinnosti flotační jednotky vypočtené na základě odběru vzorku surové vody a za flotaci během komplexních testů a při nepovedeném startu testů garančních. Již tyto separační účinnosti naznačují, že splnění garantovaných parametrů by neměl být problém.

Tabulka 3. ÚV Hradec Králové – separační účinnost flotace rozpuštěným vzduchem v průběhu komplexních zkoušek a startu flotace v květnu 2013

Datum	Q [l/s]	D_{Al} [μmol/l]	Separací účinnost [%]			
			zákal	CHSK_{Mn}	Al	MO
14.5.2013 *	90	100	85	46	100	99
15.5.2013	90	180	87	66	93	99
15.5.2013 **	120	250	82	68	90	99
16.5.2013	90	270	88	72	100	99
23.5.2013	90	240	85	69	92	100
24.5.2013	90	200	86	72	98	100
29.5.2013	90	170	87	63	92	96%

*dávka koagulantu mimo optimum, **předozone - 0,2 mg/l O₃

Zimní garanční zkoušky flotační jednotky – leden 2014

V lednu 2014 bylo vše připraveno pro zimní garanční zkoušky flotační jednotky. Během dvou týdnů byla provozována flotace a vyrobená voda byla využita pro zprovoznění nově instalovaných otevřených filtrů, na kterých byly prováděny první provozní testy a ladění systému řízení prací cyklů. Úpravna nevyráběla vodu do sítě, ale do kanalizace. To umožnilo se plně soustředit na provoz 1. stupně separace.

Garanční test prováděl technolog provozovatele (KHP a.s.) společně s technologem dodavatele (ENVI-PUR s.r.o.). Jako vhodný koagulant pro provedení zimního garančního testu byl vybrán PAX XL 19. Žádná další chemikálie na úpravu pitné vody dávkována nebyla.

Surová voda v řece Orlici měla po dobu testu teplotu v rozmezí 3–6 °C a byla poměrně čistá. Nicméně v závěru garančního testu byl po větších srážkách v Orlických horách zaznamenán začínající okalový stav. Potýkali jsme se zhoršující se kvalitou surové vody (zejména v parametru zákal), která si vyžádala větší dávky koagulantu. Vývoj kvality surové vody je v tabulce 4.

Tabulka 4. Vývoj kvality surové vody v Orlici během garančního testu (leden 2014)

Datum	Teplota [°C]	CHSK _{Mn} [mg/l]	Zákal [NTU]	pH [-]	Al [mg/l]	MO _{celk.} [j/ml]
14.1.2014	3,1	4,45	1,33	<0,07	7,5	880
15.1.2014	3,0	3,42	2,68	0,123	7,6	260
16.1.2014	3,5	3,41	1,98	0,123	6,4	935
20.1.2014	5,5	5,99	2,81	0,123	7,2	915
21.1.2014	6,0	4,51	2,80	0,123	7,6	1001
22.1.2014	5,3	9,34	2,89	0,123	7,5	1163

Tabulka 5 pak ukazuje vypočtené separační účinnosti flotace, které byly vypočteny na základě vzorků odebraných za flotačními linkami. Průtok byl po celou dobu zimního garančního testu konstantní – dvojicí flotačních linek protékalo 90 l/s.

Tabulka 5. Výsledné separační účinnosti během zimního garančního testu ÚV Hradec Králové (leden 2014)

Datum	Místo odběru	D _{Al} [µmol/l]	Separační účinnost [%]			
			zákal	CHSK _{Mn}	Al	MO počet
14.1.2014	flotace 1	200	56	62	92,8	95,5
14.1.2014	flotace 2		45	62	91,1	90,5
15.1.2014	flotace 1	195	66	67	85,0	97,7
15.1.2014	flotace 2		56	77	85,0	97,7
16.1.2014	flotace 1	185	79	75	89,1	95,7
16.1.2014	flotace 2		75	73	88,3	94,4
20.1.2014	flotace 1	150	75	73	88,2	94,8
20.1.2014	flotace 2		79	68	87,6	93,2
21.1.2014	flotace 1	220	67	68	88,1	93,6
21.1.2014	flotace 2		73	61	86,8	93,4
22.1.2014	flotace 1	230	82	74	90,2	96,0
22.1.2014	flotace 2		83	68	89,5	94,5

Jak vyplývá z tabulky 5, tak garantovaným parametrům vyhovělo všech 6 dvojic garančních vzorků a garanční testy v zimním období tak byly úspěšně ukončeny. Letní garanční testy jsou plánovány na květen a červen 2014.

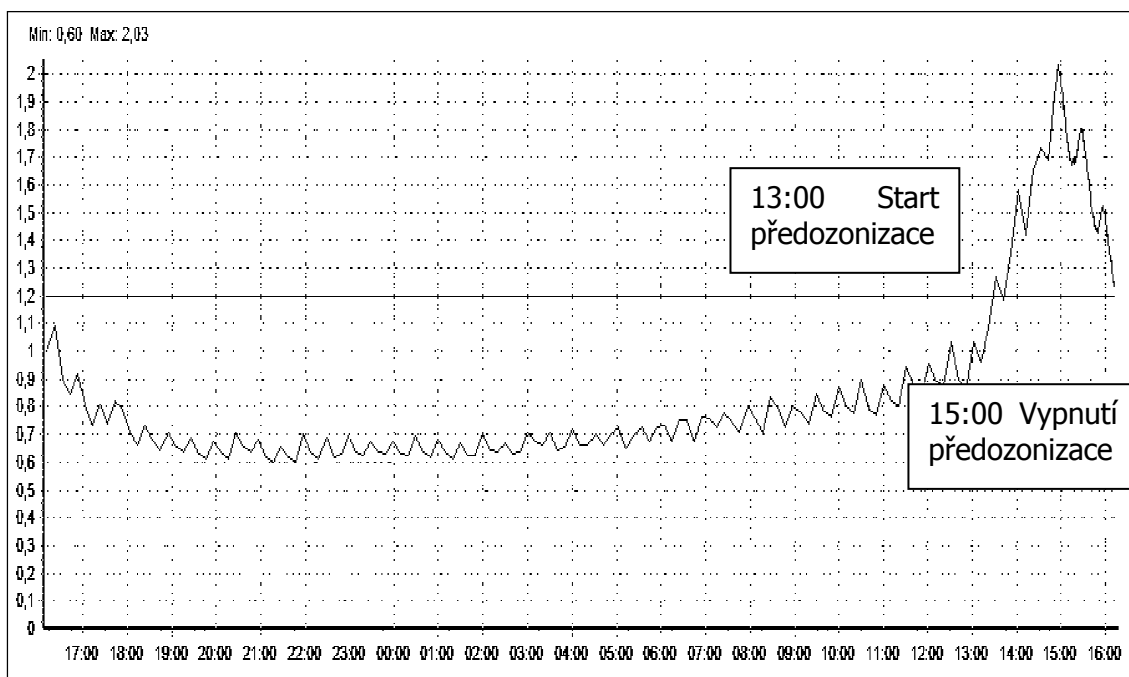
Závislost separační účinnosti flotace na předozonizaci surové vody

Dne 20. 1. 2014 byly prováděny testy spouštění ozonizační jednotky. Bylo provozně nutné vyzkoušet plný výkon ozonizátoru do předozonizace a po dobu asi dvou hodin se dávkovalo 1 g/m³ O₃ do surové vody. Krátkodobě byl výkon dokonce dvojnásobný - 2 g/m³ O₃ do surové vody.

Provozní chování flotace zcela potvrdilo závěry z poloprovozního testu flotační jednotky v letním období [2], kdy podobné dávky negativně ovlivňovaly účinnost flotace. Na obrázku 1 je vidět průběh měření zákalu za jednou z linek flotace. Analogický průběh mělo i měření zákalu za druhou linkou a výstup z čítače částic.

Tento test potvrdil, že předúprava surové vody ozonizací již při výkonu 1 g/m^3 ozonu významně zhoršuje separační účinnost flotace. Jak se provozně ukázalo během provozu v květnu, možné snad budou bez větších problémů dávky kolem $0,2 \text{ g/m}^3$ ozonu [3].

Vzhledem k vysoké separační účinnosti flotace na odstranění mikroorganismů se však domníváme, že proces předozonizace nebude tak klíčový, jako byl u původních galeriových čističů.



Obr. 1. Průběh online měření zákalu za flotační linkou – vliv spuštění předozonizace

Závěr

Rekonstrukce úpravní pitné vody Hradec Králové Orlice se blíží ke svému konci. Nově instalovaná flotační jednotka má za sebou úspěšně komplexní zkoušky a zimní garanční test. Výsledky ukazují, že technologie plní garantované parametry, a jsou příslibem bezproblémového chodu úpravní. Provozní test potvrdil, že předúprava vody ozonizací při dávkách 1 g/m^3 ozonu a vyšších má negativní vliv na separační účinnost flotace.

Literatura

- [1] Dolejš P., Štrausová K.: ÚV Hradec Králové - modelové ověření flotace v zimním období, W&ET Team – výzkumná zpráva z testů, 2010.
- [2] Dolejš P., Štrausová K., Dobiáš P.: ÚV Hradec Králové - modelové ověření flotace v letním období, W&ET Team – výzkumná zpráva z testů, 2010.
- [3] Drda M., Dobiáš P.: Projektování a realizace flotace na úpravní vody Hradec Králové, Zborník prednášok z konferencie s medzinárodnou účasťou Pitná voda 2013, Trenčianské Teplice, s. 111 – 118, VodaTím s.r.o, 2013, ISBN 978-80-971272-1-3.