

Problémy při aplikaci hydraulického agregačního míchání a způsoby jejich řešení (I): usazování kalu ve vločkovacích nádržích

RNDr. Bohumír Halámek

TZÚV – Brno, 602 00 Brno, Preslova č.50, tel./fax.: 05 / 43 24 52 66

V současné době přibývá úpraven vody, jejichž technologická zařízení překročila zenit své životnosti anebo se k němu rychle blíží, jak pro technické opotřebení tak i pro morální zastarání. Technologickým stupněm úpraven vod s chemickým čiřením a jednostupňovou nebo dvoustupňovou separací suspenze, jehož se toto konstatování nejvíce týká, jsou zařízení na přípravu suspenze agregačním mícháním. To se v těchto zařízeních – vločkovacích nádržích – dosud provádělo převážně pádlovými míchadly různých konstrukcí. Právě tato míchadla čas poznamenal nejvýrazněji, takže spíše než jejich oprava přichází na pořad dne jejich náhrada jiným zařízením, účinnějším, provozně hospodárnějším a s delší životností. Takovými zařízeními jsou děrované norné stěny resp. děrované přepážky^{x)} s konstantní nebo nastavitelnou průtočnou plochou, s nimiž byly v poslední době získány vesměs pozitivní zkušenosti v řadě převážně velkých úpraven vod [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Nejvýznamnějším poznatkem z aplikace děrovaných přepážek s nastavitelnou průtočnou plochou je, že náhrada agregačního míchání pádlovými míchadly agregačním mícháním děrovanými přepážkami není zdaleka tak jednoduchou záležitostí jak by se na první pohled mohlo zdát. Tento poznatek lze teoreticky zdůvodnit rozdílným charakterem obou zmíněných způsobů agregačního míchání. Charakter agregačního míchání pádlovými míchadly je dán nehomogenním rozložením hodnot rychlostního gradientu v upravované vodě, neschopností zajistit její rovnoměrné proudění (a tedy i zdržení) ve vločkovacích nádržích a velmi omezenými možnostmi přizpůsobit jeho parametry konkrétním podmínkám úpravy vody, což jsou jeho nedostatky, ale také schopností rušit sedimentaci vloček vytvořených ve vločkovacích nádržích nebo do nich připlavených a udržovat je ve vzhledu, což je vlastnost, která může být za určitých okolností velmi žádoucí. Naproti tomu jsou pro agregační míchání děrovanými přepážkami charakteristické velmi homogenní rozdělení hodnot rychlostního gradientu v upravované vodě, dále schopnost zajistit velmi účinně rovnoměrné proudění a tím i zdržení upravované vody ve vločkovacích nádržích a také – použijí-li se děrované přepážky s nastavitelnou průtočnou plochou – možnost přizpůsobit v poměrně širokém rozmezí jeho parametry podmínkám úpravy vody, což jsou jeho přednosti, ale i neschopností zamezit usazování kalu ve vločkovacích nádržích, což je skutečnost, která vyžaduje zajistit efektivní odkalování těchto nádrží [4].

^{x)} Termínem „norná stěna“ se rozumí stěna nebo deska zpravidla zavěšená do průtočného profilu nádrže případně toku, děrovaná i neděrovaná, s nedefinovanými mezerami mezi ní a stěnami a dnem nádrže. Dosud používané označení pro zařízení na hydraulické agregační míchání „norné stěny“ je nepřesné, neboť ve skutečnosti se jedná o přepážky zapuštěné do stěn a dna nádrže, resp. se šterbinou definované šířky mezi nimi a dnem nádrže. V této přednášce používám terminologicky správnější označení „přepážky“.

Poznatky a zkušenosti z aplikace hydraulického agregačního míchání děrovanými přepážkami umožňují poukázat na tři problémy, jimž je třeba při náhradě pádlových míchadel těmito přepážkami věnovat pozornost, aby se namísto očekávaného přínosu nedostavilo zklamání. Jedná se o tyto problémy :

- a/ usazování kalu již ve vložkovacích nádržích mezi děrovanými přepážkami ,
- b/ zdržení upravované vody v závislosti na rychlosti agregace vloček a
- c/ parametry hydraulického míchání dané hodnotami rychlostního gradientu .

Problémy vyplývající z těchto otázek spolu souvisejí a vzájemně se více či méně ovlivňují. Jejich úspěšné vyřešení podmiňuje úspěch optimalizace vložkování při náhradě pádlových míchadel děrovanými přepážkami. Vzhledem k tomu, že se jedná o problematiku novou, o níž jsou zatím k dispozici jen dílčí poznatky, jeví se jako nezbytné, aby každé připravované akci předcházel dostatečně kvalifikovaný technologický průzkum opírající se nikoli jen o laboratorní, nýbrž i o poloprovozní případně i provozní pokusy [např. 7, 8, 9] .

Tato přednáška je věnována prvnímu z uvedených problémů - usazování kalu ve vložkovacích nádržích. Tento kal je možné nechat usazovat a následně ho odstranit odkalováním, které se provádí za provozu vložkovacích nádrží, nebo naopak jeho usazování ve vložkovacích nádržích zabránit případně ho alespoň omezit na provozně přijatelnou míru. Třetí možnost – nepřiměřeně časté čištění vložkovacích nádrží po jejich odstavení z provozu a vypuštění – je z provozních a ekonomických důvodů těžko přijatelná .

Odkalování vložkovacích nádrží s děrovanými přepážkami se dosud řešilo dvěma způsoby, jichž však lze využít spíše při projektování nových než při rekonstrukci starších nádrží. Prvním z nich je vytvoření štěrbin pod děrovanými přepážkami jejich osazením v malých výškách nade dny vložkovacích nádrží a sešikmení den těchto nádrží v příkrém sklonu k odkalovacím potrubím nebo jímkám [např. 10, 11], druhým pak provedení den vložkovacích nádrží jako více koryt s příkře sešikmenými stěnami, v nichž jsou uložena děrovaná odkalovací potrubí [např. 12]. Oba tyto způsoby řeší odkalování vložkovacích nádrží periodicky, tj. v určitých časových intervalech. Nevýhodou prvního řešení je, že řídký kal, který se vytváří z usazujících se vloček, nemusí protékat rovnoměrně celou šířkou štěrbin pod děrovanými přepážkami, ale může se zde na některých místech usazovat a vytvářet postupně narůstající kalové vrstvy, které lze z vložkovacích nádrží odstranit pouze jejich úplným vyčištěním po jejich odstavení z provozu. Nevýhodou druhého řešení je, že řeší odstraňování kalu již usazeného (a tedy i více či méně zhutněného) hydraulicky, tj. způsobem, jehož účinnost je problematická, neboť sací účinek ovorů v odkalovacím potrubí mnohdy vytvoří v usazeném kalu kanálky, jimiž odtéká kalová voda, ale kolem nichž zůstává neodstraněný kal .

Usazování kalu ve vložkovacích nádržích lze účinně omezit případně mu i zcela zabránit zavedením řízeného proudění upravované vody v nich. Řízeným prouděním se rozumí uměle vyvolané a kontrolované zkratové proudění upravované vody, které pozůstává ze dvou složek. Prvou z nich je zkratové proudění v horních horizontech vstupních částí vložkovacích nádrží a ve spodních horizontech jejich výstupních částí a druhou složkou je zkratové proudění při dnech těchto nádrží. Zkratové proudění upravované vody klesající z horních horizontů ve vstupních částech vložkovacích nádrží

do spodních horizontů v jejich výstupních částech lze zajistit navrtáním většího počtu otvorů do horních částí děrovaných přepážek instalovaných ve vstupních částech vločkovacích nádrží a navrtáním většího počtu otvorů do spodních částí děrovaných přepážek instalovaných v jejich výstupních částech. Zkratové proudění při dnech vločkovacích nádrží zajišťují přiměřené šířky štěrbin pod děrovanými přepážkami. Kontrolu intenzity těchto zkratových proudění, zejména druhého z nich, lze zajistit nastavitelností průtočných ploch příslušných otvorů nebo štěrbin pod děrovanými přepážkami. Toto řešení bylo ověřováno ve vločkovacích nádržích s děrovanými přepážkami v úpravně vody Štítary .

Úpravna vody Štítary upravuje vodu z vranovské vodárenské nádrže. Charakteristickými vlastnostmi této vody jsou její kyselinová neutralizační kapacita $KNK_{4,5}$ (průměrná $1,5 \text{ mmol.l}^{-1}$, minimální $0,9 \text{ mmol.l}^{-1}$ a maximální až $1,9 \text{ mmol.l}^{-1}$) a pH (běžně 7,5 – 8, někdy až 9). Technologickým postupem je chemické čiření železitým koagulantem /Preflok, dávka $35 - 50 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ / a dvoustupňovou separací suspenze usazováním a rychlou filtrací. Na přípravu a první stupeň separace suspenze slouží čtyři sdružené vločkovací a usazovací nádrže uspořádané do dvojic (I. a II. etapa). Vločkovací nádrže byly původně vybaveny pádlovými míchadly s podélnými pádly (tj. pádly orientovanými ve směru průtoku upravované vody). Tato míchadla byla v letech 2000 a 2001 nahrazena děrovanými přepážkami s nastavitelnou průtočnou plochou .

Projektovaná kapacita úpravy vody Štítary je 240 l.s^{-1} , ale její v současnosti využívaný průměrný výkon je 120 l.s^{-1} , tj. cca 50 % její projektované kapacity. Velký rozdíl mezi projektovanou kapacitou a využívaným výkonem vytváří nepříznivé podmínky pro hydraulické agregační míchání, neboť nízké průtočné rychlosti přispívají k usazování vloček již ve vločkovacích nádržích. Stejně nepříznivý účinek má i mimořádně rychlá agregace vloček, která se rovněž podílí na usazování vloček již ve vločkovacích nádržích, a jejíž příčinou je jakost upravované vody. Proto bylo provozovateli úpravy vody v nabídce děrovaných přepážek doporučeno, aby po dobu, po kterou bude úpravna využívána jen na polovinu své projektované kapacity, provozoval pouze dvě vločkovací a usazovací nádrže, zbývající dvě odstavil z provozu a rekonstrukci míchacího systému realizoval ve dvou etapách .

Do vločkovacích nádrží byly instalovány děrované přepážky s nastavitelnou průtočnou plochou ve standardním provedení, které se osvědčily v řadě jiných převážně velkých úpravěn vody [např. 2, 3, 4, 6]. V každé nádrži o délce 6,6 m je šest těchto přepážek uspořádaných tak, že vzdálenosti mezi nimi se ve směru průtoku upravované vody zvětšují. Po zahájení zkušebního provozu došlo k masivnímu usazování kalu po celé délce vločkovacích nádrží včetně sekcí před prvními děrovanými přepážkami, jimiž protékala upravovaná voda, která ještě neprotekla žádnou děrovanou přepážkou a nebyla tudíž podrobena agregačnímu míchání těmito přepážkami. Ze snadno pochopitelných důvodů se kal nejdříve usazoval před šestými přepážkami a výšky jeho vrstev ubývalo ve směru proti průtoku upravované vody .

Ve snaze změnit tento stav byla hledána jeho příčina a navrženy a ověřovány způsoby, jimiž by se mu dalo zabránit či alespoň omezit jeho rozsah na provozně přijatelnou míru. Při studiu průběhu agregace vloček nejen ve vločkovacích nádržích ale zejména před nimi (tj. v přírodních potrubích upravované vody k nim) byla důsledně využívána metoda stanovení podílů částic agregovaných do různého stupně agregace

(sedimentometrická analýza [13]), již byly podrobeny zejména suspenze vstupující do vločkovacích nádrží. Následně byla prováděna a ověřována opatření, jimiž se reagovalo na zjištěné skutečnosti, a která spočívala v posouvání místa zaústění koagulantu do surové vody směrem k vločkovacím nádržím a v úpravách děrovaných přepážek .

Koagulant byl původně zaústěn do přívodního potrubí DN 500 společného pro obě etapy nedaleko za jeho vstupem do budovy technologie a to bez jakékoli homogenizace. Přívodní potrubí upravované vody k vločkovacím nádržím pozůstávají z cca 100 m potrubí DN 500, DN 400 a DN 300, v nichž je instalováno celkem 17 ks tvarovek (kolen 90° a T-kusů) a v potrubí DN 500 ve vzdálenosti 32 m za původním zaústěním koagulantu též tři statorové mísiče. V těchto potrubích dochází k nekontrolovanému míchání upravované vody a agregaci vloček, jejímž výsledkem jsou suspenze vstupující do vločkovacích nádrží. Vzhledem k tomu, že vzorky těchto suspenzí odebrané na vstupech do vločkovacích nádrží vykazovaly vysoký stupeň agregace vloček, bylo místo zaústění koagulantu postupně posouváno směrem k vločkovacím nádržím, a to nejprve před koleno 90° v potrubí DN 400 před vločkovacími nádržemi I. etapy a poté před šoupátka ovládající přítoky upravované vody do tří vločkovacích nádrží a v jednom případě přímo před vstup do vločkovací nádrže. Homogenizace koagulantu byla zajišťována v prvním případě průtokem upravované vody kolenem 90°, ve druhém přiškrcením šoupátek, a ve třetím přiblížením deflektoru na přívodním potrubí upravované vody na malou vzdálenost k jeho ústí. Výškové ztráty ve druhém a třetím případě byly 50 – 60 cm. Sedimentometrické složení příslušných suspenzí je uvedeno v tabulce č.1. V ní uvedené časové údaje znamenají doby zdržení nadávkované vody v jejich přívodních potrubích do vločkovacích nádrží při výkonu úpravy vody 120 l.s⁻¹.

Tabulka č.1

Sedimentometrické složení suspenzí vstupujících do vločkovacích nádrží

Zdržení [min – s]	Podíly částic v suspenzích [%] :			
	< makročástice	mikročástice	primární částice	> neagregované částice
<u>2,1 min</u>	30,5	49,6	18,0	1,9
<u>8,7 s</u>	32,0	36,1	29,8	2,1
<u>4,3 s</u>	26,0	38,3	33,8	1,9
<u>2,9 s</u>	3,9	32,7	62,2	1,2
<u>0,4 s</u>	4,6	10,7	82,8	1,9

Vysoký stupeň agregace vloček zjištěný v suspenzích krátce po nadávkování surové vody koagulantem a při absenci obvyklého agregacího míchání svědčí o tom, že paralelně s agregací destabilizovaných částic, která probíhá v delším čase (v odborné literatuře a projektové praxi se na ni počítá se zdržením 10 – 30 min [např. 12, 14, 15]), zde probíhá další proces, jehož průběh je okamžitý, a jímž s největší pravděpodobností je chemické srážení vyvolané přechodem ve vodě rozpuštěných hydrogenuhličitanů na nerozpustné uhličitany. S touto hypotézou je v souladu nejen charakter vytvořených vloček, které rychle sedimentují, ale i charakter z nich vytvořeného kalu, který se velmi

rychle zhutňuje a je velmi obtížně odkalitelný. Mechanizmu vložkování vod s vysokými hodnotami kyselinové neutralizační kapacity a pH se bude podrobněji věnovat samostatná práce, která bude publikována později .

Souběžně se studiem sedimentometrického složení suspenzí vstupujících do vložkovacích nádrží byla provedena měření, jejichž cílem bylo zjistit průběh zahušťování suspenzí při jejich průtoku vložkovacími nádržemi a realizovány úpravy děrovaných přepážek tak, aby se jejich parametry přizpůsobily vlastnostem jimi protékajících suspenzí. Jak se mění koncentrace suspenzí protékajících vložkovacími nádržemi je zřejmé z výsledků stanovení jejich koncentrace v různých horizontech vložkovací nádrže, které jsou uvedeny v tabulce č.2 .

Tabulka č.2

Koncentrace suspenze v různých horizontech vložkovací nádrže

Výška horizontu nade dnem [cm]	Koncentrace suspenze [Fe mg.l ⁻¹] před přepážkami		
	č.1	č.3	č.6
350	8,2	2,4	2,2
235	8,8	3,6	3,4
120	10,0	8,8	12,8
60	11,5	9,2	1 000
5	10,5	600	3 460

Stanovením sušiny dvou kalů bylo zjištěno, že kal o koncentraci 4 000 mg.l⁻¹ Fe obsahuje 0,8 % sušiny a kal o koncentraci 1 200 mg.l⁻¹ Fe obsahuje 0,2 % sušiny .

Údaje uvedené v tabulce č.2 vypovídají o průběhu agregace vloček ve vložkovacích nádržích v této úpravě vody. Skutečnost, že jimi protékající suspenze sedimentují z horních horizontů jejich vstupních částí pomaleji, zatímco ve spodních horizontech jejich výstupních částí se usazovací rychlost vloček i jejich koncentrace v suspenzi zvyšují výrazně rychleji, lze vysvětlit mnohonásobným agregačním účinkem vyvolaným mimořádně velkým počtem vzájemných kolísí sedimentujících vloček. Usazování kalu začíná před šestými přepážkami a pokračuje proti směru průtoku upravované vody. Jeho nejzávažnějším důsledkem je to, že narůstající vrstvy usazeného kalu postupně překrývají otvory děrovaných přepážek a tím nežádoucím způsobem mění jejich hydraulické parametry. Pozorováním vypouštěné vložkovací nádrže bylo zjištěno, že kal usazený před děrovanou přepážkou vytváří svah stoupající poměrně strmě (v úhlu cca 45°) směrem k ní. Pod klesající hladinou vody se tento svah postupně sesouvá směrem od děrované přepážky až po úplném odtečení vody vytvoří vrstvu, jejíž výška je v celé sekci před děrovanou přepážkou stejná .

Na základě zjištěných skutečností byly provedeny úpravy děrovaných přepážek, které spočívaly v dovtření dalších otvorů do horních částí prvních a druhých přepážek, do celé plochy třetích a čtvrtých přepážek a do spodních částí pátých a šestých

přepážek. Spodní konce všech těchto přepážek byly odřezány a překryty přišroubovanými deskami. Tyto desky lze po povolení šroubů posouvat nahoru nebo dolů a tím vhodně nastavovat šířky štěrbin pod děrovanými přepážkami. Uvedené úpravy byly prováděny postupně, takže lze rozlišit výchozí stav (děrované přepážky ve standartním provedení bez úprav), stav po provedení prvních úprav (dovrtání otvorů a vytvoření a nastavení štěrbin pod těmito přepážkami) a stav po provedení druhých úprav (dovrtání dalších otvorů a změna nastavení štěrbin). O tom, jak se tím omezovalo usazování kalu ve vložkovacích nádržích, názorně vypovídá tabulka č.3 .

Tabulka č.3

Omezování usazování kalu ve vložkovacích nádržích zavedením řízeného proudění upravované vody

Provedení normých stěn	Doba provozu [dny]	Výšky vrstev kalu [cm] před přepážkami					
		č.1	č.2	č.3	č.4	č.5	č.6
Standartní	Výchozí stav	0	0	0	0	0	0
	9	33	20	20	-	35	48
	16	35	38	35	23	53	58
	23	40	40	55	48	80	93
	30	48	45	45	-	100	115
Po prvních úpravách	Výchozí stav	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	23
	26	0	0	0	0	0	73

Pro objektivní hodnocení uvedených výsledků je třeba uvést, že po dobu provozu děrovaných přepážek ve standartním provedení byly 9 dnů provozovány dvě a 21 dnů všechny čtyři vložkovací nádrže, zatímco po dobu provozu těchto přepážek po provedení prvních úprav byly celých 26 dnů provozovány pouze dvě vložkovací nádrže.

Hodnoty uvedené v tabulce č.3 odpovídají děrovaným přepážkám v jejich standartním provedení a po provedení prvních úprav, kdy sedimentometrické složení suspenzí na vstupu do vložkovacích nádrží bylo > 25 % makročástic a > 40 % mikročástic. Stav popsáný ve druhé části tabulky č.3 se podstatně nezměnil ani po provedení druhých úprav děrovaných přepážek a další, tentokrát již výraznější změně sedimentometrického složení suspenzí na vstupu do vložkovacích nádrží, které nyní obsahovaly < 5 % makročástic a < 30 % mikročástic (tabulka č.1). Bylo proto třeba se zaměřit na další možnou příčinu – zdržení upravované vody ve vložkovacích nádržích. To činí při současně využívaném průměrném výkonu úpravní vody 120 l.s⁻¹ a provozu dvou vložkovacích nádrží cca 40 min v každé z nich a při provozu čtyř vložkovacích nádrží cca 80 min v každé z nich. Dalším opatřením k zamezení usazování kalu ve vložkovacích nádržích proto bylo zaústit koagulant až do nich a dosáhnout tím zkrácení zdržení upravované vody v těchto nádržích a posunu zahušťování suspenze a usazování kalu (tabulka č.2) ve směru průtoku upravované vody. Vzhledem k tomu, že v době vypracování přednášky nebyly ještě k dispozici výsledky tohoto opatření, bude pojednání o něm předmětem další práce, která bude publikována později .

Literatura a podklady

- [1] Halámek, B.: Hydraulické míchání při přípravě vodárenských suspenzí, sborník z konference „Aqua – Příbram '95“, Příbram, 1995, str. 139
- [2] Halámek, B.: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravně vody Meziboří, sborník z konference „Rekonstrukce úpraven vody“, Teplice, 1998, str. 157
- [3] Halámek, B. – Zínek, J.: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravně vody Hosov, sborník z konference „VODA Zlín 1999“, Zlín, 1999, str. 95
- [4] Halámek, B.: Optimalizace agregačního míchání, sborník z konference „VODA Zlín 2000“, Zlín, 2000, str. 95
- [5] Dolejš, P.: Technologické aspekty a předprojektová příprava rekonstrukce tvorby suspenze na ÚV Karolinka, sborník z konference „VODA Zlín 2000“, Zlín, 2000, str. 83
- [6] Halámek, B. – Rozkydálek, J.: Rekonstrukce vertikálního usazováku v úpravně vody Klíčava, sborník z konference „Pitná voda 2001“, Tábor, 2001, str. 145
- [7] Hereit, F.: Zkušenosti z přípravy a vyhodnocení nabídek výběrového řízení, sborník z konference „Rekonstrukce úpraven vody“, Teplice, 1998, str. 17
- [8] Hlaváč, J.: Rozhodující uzly v procesu zvyšování efektivnosti zásobování vodou, sborník z konference „Využití nových technologií na úpravkách vod“, Jihlava, 2001, str. 13
- [9] Žáček, L.: Modernizace a rekonstrukce úpraven vod, sborník z konference „Využití nových technologií na úpravkách vod“, Jihlava, 2001, str. 1
- [10] Vymer, J.: Usazovací nádrž, čs. patentový spis č. 137 163, Úřad pro patenty a vynálezy, Praha, 1968/1970
- [11] Vymer, J.: Zařízení pro úpravu vody, čs. patentový spis č. 138 913, Úřad pro patenty a vynálezy, Praha, 1967/1970
- [12] Úpravny vody – první stupeň separace suspenzí, 2.díl : podélné usazovací nádrže šířky 6 m, typový projekt, Hydroprojekt, Praha, 1981
- [13] Hereit, F. – Mutl, S. – Vágner, V.: Hodnocení provozu úpraven vody, Vodní hospodářství B, č.4, 1977, str. 80
- [14] Štícha, V. – Curev, A. a kol.: Vodárenství, SNTL, Praha, 1969, str. 260
- [15] Tesařík, I. a kol.: Vodárenství, SNTL, Praha, 1985, str. 146