OPTIMALIZACE AGREGAČNÍHO MÍCHÁNÍ

RNDr. Bohumír Halámek
TZÚV-Brno

Termínem „agregační míchání“ lze označit míchání chemicky upravované vody od okamžiku, kdy je v ní homogenizován koagulant, do chvíle, kdy opouští zařízení na přípravu suspenze a vstupuje do zařízení na její separaci. Agregačním mícháním se v upravované vodě vytvářejí hydraulické podmínky, které mají rozhodující vliv na separovatelnost připravovaných vloček danými způsoby separace a na jejich odolnost proti rozbití hydraulickými silami. Na toto konstatování logicky navazuje otázka jak a čím míchat. K dispozici jsou dvě principielně různá zařízení: pádlová míchadla různých konstrukcí a děrované norné stěny s neměnnou nebo měnitelnou průtočnou plochou. Rozhodnout se pro jedno z nich vyžaduje vyhodnotit je obě z technologického a ekonomického hlediska .

.

Technologické hledisko je důležitější, neboť vypovídá o tom, jak to které míchací zařízení zohledňuje současné znalosti o procesech, které probíhají při přípravě vodárenských suspenzí, a o podmínkách, které je pro ni třeba zajistit. Stručné shrnutí těchto poznatků je následující : Chemicky upravovaná voda se musí míchat, aby se částice vzniklé po hydrolyze koagulantu a menší vločky k sobě přiblížily na vzdálenosti, ve kterých se uplatní jejich adhezní síly, a spojily se, neboli agregovaly, ve větší až velké vločky. Rozhodujícím mechanizmem agregace je působení rychlostního gradientu, jehož přiměřené hodnoty napomáhají agregaci menších vloček ve větší až velké vločky, ale jehož příliš vysoké hodnoty naopak velké vločky rozbíjejí. Neurčité slůvko „přiměřený“ vyjadřuje nutnost přizpůsobit hodnoty rychlostního gradientu
takovým skutečnostem jako jsou jakost upravované vody, použitý koagulant případně i jiná chemická činidla, např. organický flokulant, velikost vloček v konkretním čase jejich agregace a způsob separace připravené suspenze. Důležitými vlastnostmi vloček jsou jejich velikost, měrná hmotnost a odolnost proti rozbití hydraulickými silami. Agregace vloček je časový proces, pro který je třeba zajistit rovnoměrné zdržení upravované vody v agregačním zařízení, nejčastěji ve vločkovací nádrži. Mezi hodnotou rychlostního gradientu a dobou zdržení upravované vody ve vločkovací nádrži platí, i když jen v omezené míře, Campův vztah, který definuje kriterium podmínek agregace, t.zv. Campovo číslo, jako součin rychlostního gradientu a doby zdržení upravované vody v nádrži .

Míchání pádlovými míchadly současné požadavky na agregační míchání nesplňuje. Pádla, obvykle úzké desky, vytvářejí při svém pohybu v upravované vodě rychlostní gradient v příliš širokém spektru hodnot a v jejím objemu rozložený velmi nerovnoměrně. Bezprostředně za pohybujícími se pádly se vytváří rychlostní gradient vysokých hodnot, zatímco ve směru od nich jeho hodnoty rychle klesají. Tuto nerovnoměrnost ještě zvýrazňují různé absolutní i relativní rychlosti pohybu pádel: pádla, která se nalézají ve větší vzdálenosti od osy otáčení míchadla, se pohybují rychleji než ta, která jsou od ní vzdálena méně, a pádla, která se pohybují proti směru průtoku upravované vody, se vzhledem k němu pohybují rychleji naž ta, jejichž směr pohybu je stejný jako směr jejího

průtoku. Pádla nelze ve vločkovací nádrži rozmístit tak, aby rovnoměrně zasahovala celý objem upravované vody v ní. Možnost přizpůsobit parametry míchání pádlovými míchadly konkretním podmínkám úpravy vody je omezena na případnou změnu rychlosti jejich otáčení, ovšem jen v tom případě, že motor míchadla je opatřen vhodným regulačním zařízením .

Ve vločkovací nádrži míchané pádlovými míchadly existují tři různá proudění upravované vody lišící se příčinami, které je vyvolávají. Prvním a základním je proudění vyvolávané průtokem upravované vody ve vločkovací nádrži. Druhým jsou zkratová a zpětná proudění upravované vody, jejichž příčiny jsou různé, např. její špatně utlumený přítok do vločkovací nádrže. Třetím jsou lokální proudění vyvolávaná pohybem pádel jednoho nebo i více míchadel. Tato proudění se navzájem nekontrolovatelně ovlivňují, což má za následek různé doby zdržení dílčích objemů upravované vody ve vločkovací nádrži a jejich různě dlouhou expozici působení rychlostního gradientu různých hodnot. Výsledkem agregace za těchto podmínek je nehomogenní suspenze, která vedle dostatečně agregovaných a přijatelně separovatelných vloček obsahuje i významné podíly menších a špatně separovatelných vloček, které vznikly buď rozbitím velkých vloček rychlostním gradientem vysokých hodnot nebo příliš krátkou agregací v dílčích objemech upravované vody, které její zkratová proudění rychle transportovala vločkovací nádrží do separačního zařízení. Taková suspenze se separuje hůře a s vyššími provozními náklady .

Míchání děrovanými nornými stěnami naopak splňuje současné požadavky na agregační míchání velmi dobře. V děrované norné stěně jsou malými míchadly všechny otvory. Vodní paprsky, které z nich vytékají do upravované vody za nornými stěnami, se zde postupně rozpadají na obrovské množství malých turbulentních proudění, která velmi účinně napomáhají agregaci vloček. Rozmezí hodnot rychlostního gradientu je úzké, převažují jeho přiměřené hodnoty a prakticky chybí jeho hodnoty vysoké. Sestava více děrovaných norných stěn vytváří ve vločkovací nádrži pravidelně uspořádaný míchací systém, jehož účinky zasahují rovnoměrně celý objem upravované vody v nádrži. Děrované norné stěny také rozdělují vločkovací nádrž na více za sebou zařazených sekcí, které jsou ve skutečnosti samostatnými reaktory. Jsou-li jednotlivé děrované norné stěny sestavy správně dimenzovány, působí v každé sekci rychlostní gradient, jehož hodnota odpovídá dosaženému stupni agregace vloček, které se v ní nacházejí .

Děrované norné stěny účinně potlačují zkratová a zpětná proudění upravované vody ve vločkovací nádrži a nevyvolávají žádná její lokální proudění. Zvláštní postavení v sestavě děrovaných norných stěn přitom má první norná stěna, která účinně tlumí chaotické proudění v sekci, do které je zaústěn přívod upravované vody. Každá děrovaná norná stěna rozděluje průtok upravované vody rovnoměrně po příčném profilu vločkovací nádrže, což zajišťuje velmi rovnoměrné zdržení upravované vody v nádrži. Je-li vločkovací nádrž sdružena s usazovací nádrží v jeden celek, zajišťují děrované norné stěny, zejména poslední z nich, i rovnoměrný přítok upravované vody z vločkovací do usazovací nádrže .

Míchání děrovanými nornými stěnami má ještě jednu zvláštní přednost, kterou je samovolné přizpůsobování se podmínek agregace změnám průtoku upravované vody, ke kterým více či méně často dochází v každé úpravně vody.

Tato přednost vyplývá z definice kriteria podmínek agregace, t.zv. Campova čísla, a skutečnosti, že hodnota rychlostního gradientu, který působí za děrovanou nornou stěnou, je přímo úměrná průtočné rychlosti upravované vody otvory v norné stěně. Zvýší-li se tedy průtok upravované vody vločkovací nádrží, zkrátí se doba jejího zdržení v ní, ale současně se zvýší i její průtočná rychlost otvory v děrovaných norných stěnách a v důsledku toho i hodnoty rychlostního gradientu za nimi, a naopak, sníží-li se průtok upravované vody vločkovací nádrží, prodlouží se doba jejího zdržení v ní, ale současně se sníží i hodnoty rychlostního gradientu za nornými stěnami .

V současné době jsou k dispozici dvě provedení děrovaných norných stěn: jednoduché děrované norné stěny s otvory s neměnnou průtočnou plochou a nastavitelné norné stěny s otvory s měnitelnou průtočnou plochou. Jednoduchá děrovaná norná stěna je vytvořena z pevných desek s navrtanými otvory. Nastavitelná norná stěna je sestavena z pevných a posuvných desek, do nichž jsou navrtány otvory, a které jsou uspořádány tak, že posouváním posuvných desek po pevných deskách pomocí jednoduchých nastavovacích zařízení lze průtočnou plochu této norné stěny v poměrně širokém rozmezí měnit. Výhodnější jsou nastavitelné norné stěny, neboť jejich parametry, t.j. i hodnoty rychlostního gradientu za nimi, lze maximálně přizpůsobit konkretním podmínkám úpravy vody /např. 4, 5/. Kriteriem správnosti nastavení nastavitelných norných stěn jsou technologické účinky úpravy vody a náklady na ni dosažené v provozních zařízeních úpravny vody /např. 7/. To zcela vylučuje chyby a nepřesnosti, k nimž běžně dochází při dimenzování všech jiných zařízení na agregační míchání včetně jednoduchých děrovaných norných stěn, které se provádí odborným odhadem (nejčastěji podle výsledků poloprovozních technologických zkoušek, někdy i bez toho, že by takové zkoušky byly provedeny) /10/ .

Při porovnání pádlových míchadel a děrovaných norných stěn z **ekonomického hlediska** se uvažují jejich investiční náklady a přímé i nepřímé provozní náklady. Přímými provozními náklady jsou náklady na energii, údržbu a opravy. Nepřímými provozními náklady jsou náklady na separaci suspenze, do nichž se nejvíce promítá technologický účinek agregačního míchání .

Investiční náklady pádlových míchadel a technologicky jim odpovídajících sestav děrovaných norných stěn jsou srovnatelné a rozdíly mezi nimi nejsou rozhodující. Podstatné rozdíly však jsou v jejich provozních nákladech. Přímé provozní náklady pádlových míchadel, jimiž jsou náklady na elektrickou energii spotřebovanou na jejich pohon a náklady na jejich údržbu a opravy, tvoří nezanedbatelnou položku v provozních nákladech na úpravu vody. Přímé provozní náklady děrovaných norných stěn jsou naopak prakticky nulové, neboť využívají gravitační energii, která je k dispozici zdarma, a nevyžadují ani údržbu ani opravy. Rozdíl v nepřímých provozních nákladech lze demonstrovat na provozních nákladech filtrace suspenzí vloček, které byly připraveny mícháním oběma porovnávanými zařízeními v úpravně vody s dvoustupňovou separací suspenze. Náklady na filtraci se snížily o cca 30 % poté, co byla pádlová míchadla ve vločkovací nádrži nahrazena správně nastavenými nastavitelnými nornými stěnami /7, 10/. Pro úplnost lze uvést i to, že životnost děrovaných norných stěn je podstatně vyšší než životnost pádlových míchadel .

Všechny uvedené skutečnosti vedou k závěru, že na agregační míchání chemicky upravované vody jsou z technologického i ekonomického hlediska výhodnější děrované norné stěny, zejména jejich novější provedení – nastavitelné norné stěny, a že pádlová míchadla se z týchž hledisek dnes jeví na toto použití jako technologicky zastaralá a energeticky příliš náročná. Vzhledem k tomu, že projektování a výstavba nových úpraven vody není v současné době příliš častou činností, lze tento závěr využít při rekonstrukcích stávajících úpraven vody k optimalizaci agregačního míchání. Ve vločkovacích nádržích, v nichž dosluhují pádlová míchadla, přichází na pořad dne jejich náhrada novým míchacím zařízením. Zde se naskýtá příležitost instalovat nastavitelné norné stěny a zajistit si tak výhody, které přináší jejich provozování. Lze předpokládat, že při rozhodování o tom, jaké míchací zařízení použít, dojde k diskuzi mezi zastánci starého a nového řešení, při čemž lze očekávat námitky obhájců pádlových míchadel .

Jednou takovou námitkou, kterou lze předvídat, je připomenutí zkušeností s děrovanými nornými stěnami z doby před dvaceti až třiceti lety, kdy se s nimi experimentovalo jako se zařízeními na zvýšení účinnosti usazování /např. 1/. Tehdy získané poznatky byly sice vesměs příznivé /např. 2/, avšak nikoli tak přesvědčivé, aby vedly k obecnému využívání děrovaných norných stěn jako zařízení na agregační míchání. Příčinou byla nepochybně skutečnost, že tehdejší autoři podcenili otázku dimenzování a s ním souvisejícího utěsnění děrovaných norných stěn. Výmluvným dokladem toho je typový projekt sdružených vločkovacích a usazovacích nádrží, v nichž je na agregační míchání navržena sestava devíti jednoduchých děrovaných norných stěn. Tento projekt obsahuje hydraulické výpočty, v nichž je jednou z výchozích veličin průtočná plocha otvorů v norných stěnách, a podrobně vypracované výkresy, ve kterých však chybí jakékoli těsnění norných stěn /3/. Přitom jedině dokonalé utěsnění děrovaných norných stěn (jak ve vločkovací nádrži, tak i jich samotných) může zajistit, že upravovaná voda bude protékat pouze otvory v norných stěnách a nikoli různými netěsnostmi, jejichž celková průtočná plocha může být řádově srovnatelná s průtočnou plochou těchto otvorů, případně i větší. Rovněž pro agregační míchání děrovanými nornými stěnami totiž platí, že na agregaci se do upravované vody musí dodat kinetická energie, jejímž zdrojem jsou v tomto případě rozdíly hladin upravované vody před a za nornými stěnami. Požadavek na těsnost splňují nastavitelné norné stěny, které byly jako zařízení na agregační míchání chemicky upravované vody realizovány od druhé poloviny osmdesátých let /4, 5, 6, 7, 10/. Pro úplnost je možné uvést, že hodnoty rychlostního gradientu pro jednotlivé norné stěny byly voleny pro projektované výkony úpraven vody s dvoustupňovou separací suspenze v rozmezí 100 – 10 s-1 (pokles ve směru průtoku upravované vody) a pro projektované výkony úpraven vody s jednostupňovou separací suspenze přímou filtrací cca 100 s-1 (za každou nornou stěnou), a že výškové ztráty sestav těchto norných stěn se pohybovaly řádově v desítkách cm /např. 4, 6/ .

Jiná předpokládaná námitka může vycházet z hodnocení podmínek agregace pomocí Campových čísel. Výpočtem Campových čísel pro tutéž vločkovací nádrž míchanou v prvém případě pádlovými míchadly a ve druhém děrovanými nornými stěnami se totiž získají dvě velmi rozdílné hodnoty, z nichž ta, která odpovídá míchání nornými stěnami, je řádově nižší než ta, která charakterizuje

podmínky agregace v nádrži míchané pádly /9/, i než Campova čísla doporučovaná ve starší československé i současné české odborné literatuře /např. 8/. To může vést k mylnému závěru, že míchání děrovanými nornými stěnami nebude dostatečně účinné. Ve skutečnosti však je tomu právě naopak, neboť byla prokázána výrazně vyšší účinnost agregace ve vločkovací nádrži, ve které byla dosloužívší pádlová míchadla nahrazena nastavitelnými nornými stěnami /7/. Tento rozpor má více příčin. Jednou z nich je skutečnost, že do vztahů, pomocí nichž se počítají Campova čísla, se promítají velmi odlišné podmínky agregace při míchání pádlovými míchadly a děrovanými nornými stěnami, které se týkají využití rychlostního gradientu i doby zdržení upravované vody ve vločkovací nádrži. Jinou příčinou je to, že při výpočtech hodnot rychlostního gradientu, z nichž se následně počítají Campova čísla, se vychází z různých veličin (při míchání pádly ze spotřebované elektrické energie, při míchání nornými stěnami z jejich výškových ztrát) a využívá se různých vztahů. Výsledkem těchto výpočtů pak jsou vzájemně neporovnatelná Campova čísla /9/ .

Vyšší účinnost agregace má i jeden nežádoucí účinek, jímž je usazování většího množství vloček již ve vločkovací nádrži. Ta se pak musí častěji odkalovat a čistit, aby se předešlo hygienickým závadám jakosti upravené vody, jejichž příčinou by bylo zahnívání kalu v této nádrži. Aby bylo možné odkalovat a čistit vločkovací nádrže, které jsou děrovanými nornými stěnami rozděleny na sekce, instalují se ve spodních částech těchto norných stěn odkalovací přepážky, které jsou obvykle zavěšeny na táhlech a lze je ovládat shora. Rovněž tyto přepážky musí být dokonale utěsněny. Plochá dna starších vločkovacích nádrží je vhodné při náhradě pádlových míchadel děrovanými nornými stěnami náležitě vyspádovat směrem k odkalovacím potrubím nebo ve sdružených nádržích směrem k odkalovací jímce usazovací nádrže /např. 7/ .

Děrované norné stěny (jejich novější provedení – nastavitelné norné stěny) byly jako zařízení na agregační míchání chemicky upravované vody dosud instalovány v následujících úpravnách vody (jedné na Slovensku a pěti v České republice – uvedeny jsou včetně jejich stručných charakteristik) :

Úpravna vody **Málinec** - úprava povrchové vody z nádrže železitým koagulantem, dvoustupňová separace suspenze usazováním a filtrací, projektovaná kapacita 280 l.s-1, čtyři sdružené vločkovací a usazovací nádrže, v každé vločkovací nádrži devět nastavitelných norných stěn o rozměrech 600 x 375 cm /4/ ,

úpravna vody **Hosov** – úprava povrchové vody z nádrže a rybníků železitým koagulantem, dvoustupňová separace suspenze usazováním a filtrací, projektovaná kapacita 240 l.s-1, využívaný výkon 70 – 240 l.s-1, jedna samostatná vločkovací nádrž, osm nastavitelných norných stěn o rozměrech 360 x 455 cm /7/ ,

úpravna vody **Klíčava** – úprava vody z nádrže železitým koagulantem, dvoustupňová separace suspenze usazováním v lamelách a filtrací, předpokládaný výkon 120 – 150 l.s-1, vločkovací nádrž délky 37,5 m ve tvaru dutého válce zabudovaná do rekonstruovaného vertikálního usazováku o průměru 15 m, dvanáct nastavitelných norných stěn o rozměrech 158 x 540 cm ,

úpravna vody **Štítary** – úprava povrchové vody železitým koagulantem, dvoustupňová separace suspenze usazováním a filtrací, projektovaná kapacita 240 l.s-1, čtyři sdružené vločkovací a usazovací nádrže, v každé vločkovací nádrži šest nastavitelných norných stěn o rozměrech 600 x 390 cm ,

úpravna vody **Meziboří** – úprava povrchové vody z nádrže hlinitým koagulantem, jednostupňová separace suspenze přímou filtrací, využívaný výkon 400 l.s-1, předpokládaný až 800 l.s-1, jedna samostatná vločkovací nádrž s vnitřním meandrem délky 81 m, jedenáct nastavitelných norných stěn o rozměrech 200 x 530 cm /6/ a

úpravna vody **Seč** – úprava povrchové vody z nádrže hlinitým koagulantem, jednostupňová separace suspenze přímou filtrací, využívaný výkon 30 l.s-1, předpokládaný až 45 l.s-1, jedna samostatná vločkovací nádrž z polypropylenových desek, pět nastavitelných norných stěn o rozměrech 220 x 160 cm .

Z uvedených úpraven vody jsou dlouhodobě provozovány úpravny vody Málinec, Hosov, Meziboří a Seč, úpravna vody Klíčava po nedávno provedené rekonstrukci nebyla zatím uvedena do provozu a rekonstrukce úpravny vody Štítary se v současné době provádí .

L i t e r a t u r a

/1/ VYMER, J.: Zařízení pro úpravu vody, čs. patentový spis č. 138913, 1967, Usazovací nádrž, čs. patentový spis č. 137163, 1968 , Úřad pro patenty a vynálezy, Praha

/2/ VÁGNER, V.: Optimalizace provozu podélných usazovacích nádrží, sborník ze semináře „Automatizace provozu úpraven vody – technologie úpravy pitné vody – zlepšovatelství“, Příbram, 1977

/3/ Úpravny vody – první stupeň separace suspenzí, 2.díl : podélné usazovací nádrže šířky 6 m, typový projekt, Hydroprojekt, Praha, 1981

/4/ HALÁMEK, B.: Hydraulické míchání při přípravě vodárenských suspenzí, sborník z konference „Aqua – Příbram ´95“, Příbram, 1995

/5/ HALÁMEK, B.: Nastavitelné norné stěny, sborník z konference „Pitná voda z údolních nádrží“, Tábor, 1995

/6/ HALÁMEK, B.: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravně vody Meziboří, sborník z konference „Rekonstrukce úpraven vody“, Teplice, 1998

/7/ HALÁMEK, B. – ZINEK, J. : Příprava suspenze hydraulickým mícháním úpravně vody Hosov, sborník z konference „VODA ZLÍN 1999“, Zlín, 1999

/8/ ŽÁČEK, L. : Chemické a technologické procesy úpravy vody, NOEL, Brno, 1999, (str. 64)

/9/ HALÁMEK, B. : Posuzování Campových čísel při přípravě suspenzí hydraulickým mícháním, sborník z konference „Pitná voda 1999“,Tábor, 1999

/10/ HALÁMEK, B.: Možnosti využitia nastaviteľných norných stien, sborník z konference „Pitná voda“, Trenčianske Teplice, 1999