

Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravárnách vod s jednostupňovou separací

RNDr. Bohumír Halámek

TZÚV – Brno, 602 00 Brno, Preslova č. 50, tel./fax: 543 245 266

Mezi významné nákladové položky úpravy vody patří též náklady na separaci suspenze. Ta může být buď dvoustupňová, obvykle usazováním a rychlou filtrací, nebo jednostupňová pouze rychlou filtrací. Pro dvoustupňovou separaci se lépe hodí suspenze s převažujícím podílem větších vloček, které se odsadí v usazovacích nádržích, zatímco pro jednostupňovou separaci jsou vhodnější suspenze menších vloček, které proniknou hluboko do filtračních náplní a využijí tak celou jejich kalovou kapacitu. Velikostní distribuci vloček v suspenzích rozhodujícím způsobem ovlivňují velikost a průběh hodnot rychlostního gradientu, který působí při jejich přípravě, a zdržení upravované vody ve vločkovacích nádržích. Součinem obou těchto veličin je Campovo číslo, které, přestože uvedený vztah platí jen omezeně, dosti názorně popisuje podmínky přípravy suspenze zejména ve vločkovacích nádržích s hydraulickým mícháním děrovanými přepážkami, jehož energetickým zdrojem jsou jimi způsobené výškové ztráty.

Specifickou vlastností hydraulického míchání děrovanými přepážkami je jeho přímá závislost na průtoku upravované vody. Tato vlastnost je příčinou jisté samo-regulační schopnosti tohoto způsobu hydraulického míchání ve smyslu Campova čísla, neboť zvýší-li se průtok upravované vody vločkovací nádrží, zvýší se i výškové ztráty způsobované jednotlivými děrovanými přepážkami i hodnoty rychlostního gradientu, který se jimi disipuje do upravované vody, ale současně se zkrátí její zdržení ve vločkovací nádrži, a naopak, sníží-li se průtok upravované vody, sníží se i výškové ztráty v jednotlivých děrovaných přepážkách i hodnoty jimi disipovaného rychlostního gradientu, ale současně se prodlouží zdržení upravované vody ve vločkovací nádrži. Hodnoty Campova čísla při vyšším i nižším průtoku upravované vody vločkovací nádrží budou v obou případech přibližně stejné.

V odborné literatuře z období posledních čtyřiceti let [např. 2 nebo 6] se na přípravu suspenze pro dvoustupňovou separaci opakovaně doporučují hodnoty rychlostního gradientu, které klesají ve směru průtoku upravované vody od 75 do 20 s^{-1} . Tyto hodnoty byly převzaty z prací T.R.Campa publikovaných ve čtyřicátých a padesátých letech minulého století [např. 1], tedy v době, kdy předmětem studia bylo míchání pádlovými míchadly. Uvedené hodnoty nelze proto nekriticky aplikovat na hydraulické míchání děrovanými přepážkami, neboť charakter obou těchto způsobů míchání je odlišný a odlišné jsou i postupy, jimiž se tyto hodnoty v obou případech zjišťují. Doporučené hodnoty rychlostního gradientu pro hydraulické míchání děrovanými přepážkami, které klesají ve směru průtoku upravované vody od 48 do 7 s^{-1} a využívají výškových ztrát ve vločkovací nádrži do 21 cm , jsou uvedeny v typovém projektu sdružených usazovacích a vločkovacích nádrží s děrovanými přepážkami [5]. Poznatky z aplikace hydraulického míchání děrovanými přepážkami při úpravě těžko upravitelných vod v úpravárnách vod s dvoustupňovou separací suspenze však naznačují, že účinné hodnoty rychlostního gradientu mohou být i podstatně vyšší, od 95 s^{-1} na začátku do 20 s^{-1} na konci vločkovacích nádrží, a že mnohem vyšší než 21 cm mohou být i využívané výškové ztráty [10].

Pro hydraulické míchání děrovanými přepážkami, jehož produktem má být suspenze vhodná pro jednostupňovou separaci rychlou filtrací, žádné doporučené hodnoty rychlostního gradientu k dispozici nejsou. Z povahy procesu [např. 3, 4] lze odvodit, že hodnoty rychlostního gradientu by v tomto případě měly být na úrovni jeho hodnot na začátku vložkovacích nádrží, v nichž se připravuje suspenze pro dvoustupňovou separaci, tj. 50 až 95 s⁻¹, a měly by působit po celou dobu přípravy suspenze, aby se zabránilo vytvoření velkých vloček nevhodných pro separaci rychlou filtrací. Kriticky přihlédnout lze přitom např. k poznatkům, které byly získány při studiu hydraulického míchání vznášenou vrstvou písku [např. 4], a které byly využity při projektování rychlých míšičů v úpravně vody Želivka 2. V těchto rychlých míšičích se suspenze pro jednostupňovou separaci připravovala při působení rychlostního gradientu o hodnotě 285 s⁻¹ [9, 10]. Opomenout nelze ani poznatky získané v úpravně vody Meziboří, ve které se při přípravě suspenze pro jednostupňovou separaci používají nastavitelné děrované přepážky¹⁾, jejichž průtočné plochy jsou nastaveny tak, aby při využití výškových ztrát do 140 cm disipovaly do upravované vody rychlostní gradient o hodnotách 100 s⁻¹ nebo 80 s⁻¹ resp. 90 s⁻¹ [7, 12].

Nedostatek směrodatných podkladů pro dimenzování děrovaných přepážek, které mají být použity při přípravě suspenze pro jednostupňovou separaci, mohou částečně nahradit výsledky modelových zkoušek, které je však třeba interpretovat velmi opatrně, neboť podobnost hydraulických dějů v modelu a v provozní vložkovací nádrži je relativně malá. Dimenzování děrovaných přepážek, tj. stanovení jejich průtočných ploch, komplikuje i skutečnost, že tyto průtočné plochy musí odpovídat projektovaným výkonům úpraven vod, tj. musí umožňovat, aby při využití výškové ztráty, která je k dispozici, propustily celý projektovaný průtok upravované vody. Snížení jejího průtoku má, jak již bylo uvedeno, za následek snížení využívané výškové ztráty a tedy i hodnot rychlostního gradientu disipovaného jednotlivými děrovanými přepážkami do upravované vody. Vzhledem k tomu, že v současnosti využívané výkony úpraven vod jsou a zřejmě ještě dlouho budou podstatně nižší než jejich projektované výkony, mělo by toto nepochybně správné dimenzování děrovaných přepážek odpovídající projektovaným výkonům úpraven vod za následek, že disponibilní výškové ztráty budou využívány jen částečně, takže do upravované vody se budou disipovat nižší hodnoty rychlostního gradientu, které mají obvykle i nižší technologický, tj. agregační účinek. Oba uvedené problémy řeší použití nastavitelných děrovaných přepážek, jejichž průtočné plochy lze kdykoli změnit a tím přizpůsobit konkrétním podmínkám úpravy vody včetně průtoku upravované vody [např. 8]. Přitom mohou nastat tyto dva případy:

1. Ve vložkovací nádrži je k dispozici potřebná výšková ztráta. Tento případ nastává převážně v úpravnách vod s dvoustupňovou separací suspenze, na jejíž přípravu jsou zapotřebí menší výškové ztráty. Průtočné plochy děrovaných přepážek se v tomto případě nastaví přiměřeně nejvyššímu využívanému výkonu úpravy vody případně jejímu nejčastěji využívanému výkonu, při čemž kritériem technologické účinnosti hydrau-

¹⁾ Termíny „nastavitelná děrovaná přepážka“ nebo i „děrovaná přepážka s nastavitelnou průtočnou plochou“ nahrazují dříve používané terminologicky nepřesné označení „nastavitelná norná stěna“ [např. 8, 10, 12, 13, 15]. Přepážka je deska dostatečně utěsněná vůči stěnám a dnu vložkovací nádrže, norná stěna je deska zavěšená do průtočného profilu nádrže a nijak v ní neutěsněná. Požadavek, aby upravovaná voda protékala pouze otvory a nikoli také netěsnostmi, má pro funkci zařízení rozhodující význam.

lického míchání budou obsah zbytkového koagulantu v upravené vodě a četnost praní filtrů. Nastavení bude buď sezónní v řádu měsíců, jímž se bude reagovat na různé podmínky úpravy vody např. v zimním a letním období, nebo dlouhodobé v řádu let, jímž se bude reagovat na podstatné a trvalé zvýšení využívaného výkonu úpravní vody. Technologické účinky menších změn průtoku upravované vody, k nimž dochází častěji, např. v důsledku nerovnoměrného odběru upravené vody do spotřebiště, se budou vyrovnávat samoregulační schopností hydraulického míchání děrovanými přepážkami ve smyslu Campova čísla .

2. Ve vložkovací nádrži je k dispozici menší než potřebná výšková ztráta. Tento případ nastává nejčastěji v úpravárnách vod s jednostupňovou separací suspenze, na jejichž přípravu jsou zapotřebí vyšší výškové ztráty. Tyto výškové ztráty je proto žádoucí využít co nejracionálněji, tj. celé i při nižších průtocích upravované vody. V praxi lze tento požadavek realizovat tak, že se průtočné plochy děrovaných přepážek budou přiměřeně měnit při každé, i malé změně průtoku upravované vody, tedy v řádu dnů, případně i hodin. Kriteřiem technologické účinnosti hydraulického míchání budou jako v prvním případě obsah zbytkového koagulantu v upravené vodě a četnost praní filtrů .

Podstatně vyšší četnost nastavování děrovaných přepážek vyžaduje přizpůsobit mu manipulaci s jejich posuvnými deskami, neboť dosud používaný způsob pomocí mnoha nastavovacích zařízení je poměrně zdoluhavý, takže v provozních podmínkách se příliš často provádět nedá ²⁾. Aby bylo možné nastavování děrovaných přepážek provádět častěji, bylo třeba zajistit současné posouvání všech posuvných desek každé nastavitelné děrované přepážky, a to buď ručně nebo lépe pomocí servopohonů. Tento způsob byl nedávno uplatněn ve vložkovací nádrži č. 2 úpravní vody Podhradí [18] .

Užitečnou metodou, kterou lze využít při uvádění do provozu nastavitelných děrovaných přepážek v úpravně vody, je agregační zkouška („test agregace“ – [3, 4]). Touto metodou lze stanovit velikostní distribuci vloček ve vzorcích upravované vody odebraných na kterémkoli místě její úpravy, např. na vstupu do vložkovací nádrže a na výstupu z ní, a tak přímo kontrolovat účinek hydraulického míchání na agregaci vloček .

Zatím jedinou úpravnou vody, v jejíž vložkovací nádrži je k dispozici dostatečná výšková ztráta 140 cm, je úpravna vody Meziboří v severních Čechách. Tato úpravna upravuje vodu z vodárenské nádrže Fláje čířením hlinitým koagulantem a separací suspenze v rychlých filtrech. Její charakteristické výkony jsou : projektovaný 650 l.s^{-1} , využívaný v současnosti do 400 l.s^{-1} a předpokládaný v budoucnosti až 800 l.s^{-1} . Při rekonstrukci, která byla provedena v letech 1993 – 1994, byla technologická zařízení této úpravní doplněna o tzv. reakční, ve skutečnosti vložkovací nádrž o vnitřních rozměrech $16,3 \times 11,2 \times 5,7 \text{ m}$ s hydraulickým mícháním nastavitelnými děrovanými přepážkami a průtokem upravované vody horizontálním meandrem [7, 12].

²⁾ Dosud používaná nastavovací zařízení pozůstávala ze šroubu se dvěma matkami spojeného s děrovanou posuvnou deskou a vloženého do pevné kulisy. Otáčením matek, které se provádělo pomocí klíče ručně, se posouvala posuvná děrovaná deska po pevné děrované desce děrované přepážky, čímž se měnila její průtočná plocha. Každá děrovaná přepážka – z konstrukčních důvodů vždy sestavená z několika polí – obsahovala více nastavovacích zařízení, obvykle čtyři, mnohdy i více. Při větším počtu děrovaných přepážek to představovalo úměrně tomu větší počet nastavovacích zařízení, s nimiž se muselo postupně a obvykle i opakovaně manipulovat [např. 8].

Tato reakční nádrž je uvnitř rozčleněna betonovými stěnami na 80,7 m dlouhý meandr o příčném profilu 2,0 x 5,7 m uspořádaný do šesti přímých sekcí, v nichž se nemění směr průtoku upravované vody, a pět lomených sekcí, ve kterých se směr průtoku upravované vody mění o 180° a v jednom případě o 90°. Podle původní představy mělo být v tomto meandru instalováno padesát pět průtočných přepážek, k jejichž uložení měly sloužit ocelové konstrukce, které se zde dodnes zachovaly. Tato představa byla později opuštěna a do meandru bylo podle návrhu autora této přednášky instalováno jedenáct nastavitelných děrovaných přepážek (tehdy ještě označovaných jako „nastavitelné norné stěny“). Disponibilní výšková ztráta 140 cm postačuje při vhodném nastavení průtočných ploch děrovaných přepážek k tomu, aby v rozmezí využívaných výkonů úpravní vody 600 – 800 l.s⁻¹ disipovaly do upravované vody rychlostní gradient o hodnotách 100 s⁻¹ (před přímými sekcemi) nebo 80 s⁻¹ resp. 90 s⁻¹ (před lomenými sekcemi se změnou směru průtoku upravované vody o 180° resp. 90°) [7, 12].

Rekonstrukce úpravní vody Meziboří, jejíž významnou součástí byla i optimalizace technologického postupu úpravy vody jeho doplněním o účinnou přípravu suspenze hydraulickým mícháním nastavitelnými děrovanými přepážkami, je považována za velmi zdařilou investiční akci, a její reakční nádrž se často uvádí jako referenční jednotka na přípravu suspenze s nastavitelnými děrovanými přepážkami [11, 13].

Další úpravnou vody s jednostupňovou separací suspenze, ve které bylo uplatněno hydraulické míchání děrovanými přepážkami, je úpravna vody Karolinka na východní Moravě. Tato úpravna upravuje vodu z vodárenské nádrže téhož jména čiřením hlinitým koagulantem a separací suspenze v rychlých filtrech. Její charakteristické výkony jsou : projektovaný 400 l.s⁻¹, využívaný v současnosti 150 – 200 l.s⁻¹ a předpokládaný v budoucnosti 600 l.s⁻¹. Na přípravu suspenze slouží dvě paralelně zařazené vložkové nádrže o vnitřních rozměrech 26,7 x 3,6 x 6,7 m. Každá z nich je uvnitř rozčleněna šesti betonovými přepážkami na sedm sekcí, které tvoří vertikálně protékající meandr. Každá je opatřena třemi uzavíratelnými odtoky (ze třetí, páté a sedmé sekce), které umožňují volit zdržení upravované vody. V každé byla původně instalována čtyři vertikální pádlová míchadla, která byla při prováděných rekonstrukcích odstraněna.

V průběhu let 1999 – 2002 se na úpravně vody uskutečnily dvě rekonstrukce. Při první, dílčí, byla zavedena účinnější homogenizace koagulantu, z vložkové nádrže č. 2 byla odstraněna pádlová míchadla a do ní bylo instalováno pět částečně nastavitelných děrovaných přepážek [13, 14]. Pro jejich dimenzování byla k dispozici výšková ztráta 55 cm, kterou však instalované děrované přepážky z důvodu neodborného provedení celou nevyužívají, takže skutečné jimi disipované hodnoty rychlostního gradientu jsou v průměru o 40 % nižší než projektované [13, 16].

Vložková nádrž č.1 byla rekonstruována později v rámci celkové rekonstrukce úpravní vody podle projektu Vodingu Hranice, která v současné době končí. Během ní byla i z této vložkové nádrže odstraněna pádlová míchadla a bylo do ní instalováno šest nastavitelných děrovaných přepážek rozestavěných mezi stávající betonové přepážky tak, aby se co nejlépe využilo obou způsobů hydraulického míchání – rozpadem vodních paprsků vytékajících z otvorů v děrovaných přepážkách a změnami směru průtoku upravované vody ve vertikálním meandru. Pro dimenzování nastavitelných děrovaných přepážek byla ve vložkové nádrži č.1 k dispozici výšková ztráta pouze 30 cm, neboť 25 cm z disponibilních 55 cm muselo být využito na zajištění přítoku upravo-

vané vody na rovněž rekonstruované rychlé filtry. Při využití výškové ztráty 30 cm a průtocích upravované vody vločkovací nádrží č. 1 $150 - 300 \text{ l.s}^{-1}$ vycházejí hodnoty rychlostního gradientu disipované vhodně nastavenými děrovanými přepážkami od $26,5$ do $51,5 \text{ s}^{-1}$ [16]. Ve skutečnosti však budou vyšší, neboť provedené výpočty nezohlednily všechny složky proudění upravované vody v této vločkovací nádrži.

Zatím poslední úpravnou vody s jednostupňovou separací suspenze, jejíž provozatel se rozhodl nahradit postupně se rozpadající pádlová míchadla děrovanými přepážkami, je úpravna vody Podhradí v západní části Slezska. Tato úpravna upravuje vodu z vodárenské nádrže Kružberk čiřením hlinitým koagulantem a separací suspenze v rychlých filtrech. Její charakteristické výkony jsou: projektovaný $2\,200 \text{ l.s}^{-1}$ a v současnosti využívaný $1\,100 \text{ l.s}^{-1}$. V úpravně vody jsou čtyři vločkovací nádrže, každá o vnitřních rozměrech $18,0 \times 7,3 \times 4,8 \text{ m}$, uspořádané do dvou hydraulicky samostatných dvojic. V každé z nich byla instalována dvě horizontální pádlová míchadla (ve třech dosud jsou), která jsou dnes již značně opotřebována. Tyto vločkovací nádrže nemají žádné vnitřní vestavby, jen jejich dna nejsou rovná, ale půlkulatá, tvarově přizpůsobená otáčení pádel. Koncem roku 2002 byla pádlová míchadla odstraněna z vločkovací nádrže č.2 a do nádrže byly ve stejných vzdálenostech za sebou instalovány čtyři nastavitelné děrované přepážky. Pro jejich dimenzování byla k dispozici výšková ztráta 55 cm, která při vhodném nastavení jejich průtočných ploch a průtocích upravované vody vločkovací nádrží $275 - 550 \text{ l.s}^{-1}$ umožňuje disipovat do upravované vody rychlostní gradient o hodnotách $52,5$ až $78,3 \text{ s}^{-1}$ [17].

Tyto děrované přepážky jsou opatřeny ovládacími systémy, které umožňují operativně měnit jejich průtočné plochy a tím zajišťovat, aby se při všech průtocích upravované vody využívala celá disponibilní výšková ztráta 55 cm. Ovládací systém každé děrované přepážky pozůstává z příčného nosníku, s nímž jsou spojeny všechny její posuvné děrované desky, a který je na obou svých koncích uložen do převodových zařízení se servopohony, jimiž lze příčný nosník pomalu zvedat nebo spouštět. Systém se uvádí do chodu stisknutím tlačítka na zvláštním rozvaděči a lze jím průtočné plochy děrovaných přepážek nastavit tak, aby se využila celá disponibilní výšková ztráta. Vyžaduje tedy spoluúčast obsluhy, nevylučuje však možnost jeho případné budoucí automatizace v závislosti na průtoku upravované vody. Tento rozvaděč obsahuje i počítač, který registruje signály o výškách hladin upravované vody před první a za čtvrtou děrovanou přepážkou, a který rozdělí zaregistrovanou výškovou ztrátu rovnoměrně na všechny čtyři děrované přepážky [18].

Literatura a podklady

- [1] Camp, T.R. – Stein, P.C.: Flocculation and Flocculation Basins, Proc. ASCE, 111, 1946, str. 895
- [2] Bouchal, A. – Novák, Z. – Tesařík, I.: Navrhování úpraven vody, SNTL, Praha, 1967, str. 70
- [3] Hereit, F. – Mutl, S. – Vágner, V.: Hodnocení provozu úpraven vody, Vodní hospodářství B, č.4, 1977, str. 80

- [4] Hereit, F. – Mutl, S. – Vágner, V.: Rychlé míchání při úpravě vody, sborník ze semináře z oboru technologie úpravy vody a zlepšovatelství ve vodním hospodářství, Příbram, 1979, str. 155
- [5] Úpravny vody – první stupeň separace suspenzí, 2. díl: podélné usazovací nádrže šířky 6 m, typový projekt, technická zpráva, Hydroprojekt, Praha, 1981
- [6] Tesařík, I. a kol.: Vodárenství, SNTL, Praha, 1985, str. 146
- [7] Meziboří – Střelná, vodovod a rozšíření úpravny vody – vystrojení reakční nádrže nastavitelnými nornými stěnami, technická zpráva a hydraulické výpočty, Halámek, TZÚV – Brno, 1994 (dokumentace pro investora – SeVaK Teplice)
- [8] Halámek, B.: Nastavitelné norné stěny, sborník z konference „Pitná voda z údolních nádrží 1995“, Tábor, 1995, str. 97
- [9] Mutl, S. – Knesl, B.: Porovnání technologie úpraven Želivka 1 a 2, sborník z konference „Pitná voda z údolních nádrží 1995“, Tábor, 1995, str. 249
- [10] Halámek, B.: Hydraulické míchání při přípravě vodárenských suspenzí, sborník z konference „Aqua – Příbram '95“, Příbram, 1995, str. 139
- [11] Micka, J. – Sládečková, A.: Úprava vody z nádrže Fláje – historie a současnost, sborník ze semináře „Aktuální otázky vodárenské biologie, Praha, 1998, str. 64
- [12] Halámek, B.: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravně vody Meziboří, sborník z konference „Rekonstrukce úpraven vody“, Teplice, 1998, str. 157
- [13] Dolejš, P.: Technologické aspekty a předprojektová příprava rekonstrukce tvorby suspenze na ÚV Karolinka, sborník z konference „VODA Zlín 2000“, Zlín, 2000, str. 84
- [14] Válek, J. – Hanák, Z.: Původní stav a první výsledky rekonstrukce tvorby suspenze úpravny vody Karolinka z hlediska provozovatele, sborník z konference „VODA Zlín 2000“, Zlín, 2000, str. 89
- [15] Halámek, B.: Optimalizace agregačního míchání, sborník z konference „VODA Zlín 2000“, Zlín, 2000, str. 95
- [16] Úpravna vody Karolinka: Vystrojení vločkovací nádrže č.1 nastavitelnými nornými stěnami, návrh rekonstrukce a hydraulické výpočty, Halámek, TZÚV – Brno, 2001 (technická zpráva pro projektanta – Voding Hranice)
- [17] Úpravna vody Podhradí: Rekonstrukce flokulací – část II: Modelové zkoušky hydraulického míchání a návrh na jeho realizaci v provozní vločkovací nádrži, Halámek, TZÚV – Brno, (technická zpráva pro projektanta – Vodis Olomouc)
- [18] ÚV Podhradí: Rekonstrukce flokulací, realizační dokumentace, VODIS , Olomouc, (prováděcí projekt pro investora – SeVaK Ostrava)