

Poznatky z použití děrovaných přepážek ve vložkovacích a usazovacích nádržích úpraven vod

RNDr. Bohumír Halámek

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

Použití děrovaných přepážek jako zařízení na zajištění rovnoměrného průtoku upravované vody nádržemi pravoúhlého půdorysu nebo i na agregační míchání není v technologii úpravy vody novinkou [např. 1]. Ve vzdálenější minulosti se děrované přepážky používaly nejčastěji k potlačení zkratových proudění upravované vody v usazovacích nádržích. Za počátek cílevědomého úsilí o používání děrovaných přepážek k agregačnímu míchání v někdejších Československu lze označit vydání typového projektu sružených usazovacích a vložkovacích nádrží s děrovanými přepážkami s konstantní průtočnou plochou (1981 – [2]) a realizaci prvních děrovaných přepážek s nastavitelnou průtočnou plochou (dále jen „nastavitelné děrované přepážky“ - 1983). Nové politicko-hospodářské podmínky po roce 1989, za nichž nabyly rozhodujícího významu ekonomická hlediska, vyvolaly zájem o tato zařízení, jejichž provoz – na rozdíl od dosud běžně používaných pádlových míchadel – nevyžaduje spotřebu elektrické energie, a která svou technologickou účinností pádlová míchadla plně nahradí. Do roku 2004 byly děrované přepážky – převážně nastavitelné – použity jako zařízení na agregační míchání ve více než deseti vesměs velkých úpravnách vod. V některých dalších úpravnách vod byly použity i k zajištění rovnoměrného průtoku upravované vody nádržemi .

K náhradě pádlových míchadel – většinou již dosluhujících – děrovanými přepážkami dochází v současné době pravidelně při rekonstrukci stávajících úpraven vod. Použitím děrovaných přepážek se snižují *provozní náklady* úsporami elektrické energie a minimalizací nákladů na údržbu, případně i úsporami nákladů souvisejících s technologií úpravy vody. *Investiční náklady* děrovaných přepážek jsou srovnatelné s investičními náklady na pádlová míchadla, konkrétní akce však vždy budou předmětem individuálních kalkulací. Pořizovací náklady nastavitelných děrovaných přepážek jsou vyšší než děrovaných přepážek s konstantní průtočnou plochou (orientačně o 15 – 30 %, z toho cca 15 % na posuvné děrované desky a nastavovací zařízení a cca 15 % na pojízdné nebo pevné obslužné lávky). Z nastavitelných jsou levnější děrované přepážky, které nevyžadují instalaci obslužných lávek např. proto, že s jejich nastavovacími zařízeními lze manipulovat z lávek zřízených k jiným účelům nebo z provozní haly. Děrované přepážky mají také podstatně delší životnost než pádlová míchadla.

Náhrada pádlových míchadel děrovanými přepážkami však není tak jednoduchou záležitostí jak by se snad mohlo zdát. Účinné agregační míchání vyžaduje, aby v upravované vodě byl dostatek turbulentních proudění, neboť ta jsou při agregaci vložek rozhodujícím činitelem. Tato proudění vznikají rozpadem ponořených vodních paprsků [např. 3], které vytékají z otvorů v děrovaných přepážkách. Aby upravovaná voda protékala pouze těmito otvory a nikoli také různými netěsnostmi, musí být děrované přepážky v průtočném profilu vložkovací nádrže řádně utěsněny. Nerespektování tohoto požadavku bylo v minulosti příčinou nižší účinnosti agregačního míchání děrovanými přepážkami a z toho pramenící nedůvěry k tomuto způsobu agregačního míchání.

Účinnost agregačního míchání vyjadřuje Campův vztah ($Ca = G \cdot t$, kde Ca je Campovo číslo, G je hodnota rychlostního gradientu [s^{-1}] a t je zdržení upravované vody ve vložkovací nádrži [s]). Zatímco zdržení upravované vody je vždy dáno využívaným objemem vložkovací nádrže, jsou hodnoty rychlostního gradientu funkcí v případě pádlových míchadel rychlosti jejich otáčení a v případě děrovaných přepážek výškových ztrát, tj. rozdílů hladin upravované vody před a za děrovanými přepážkami. Výšková ztráta v tomto původním slova smyslu závisí na průtoku upravované vody vložkovací nádrží a na průtočné ploše děrovaných přepážek. V širším slova smyslu se jí rozumí i výška, o kterou se může zvýšit hladina upravované vody ve vložkovací nádrži (disponibilní výšková ztráta). Závislost agregačního míchání děrovanými přepážkami na průtoku upravované vody vložkovací nádrží může být podle okolností výhodou (zajišťuje jistou - i když jen omezenou - samoregulaci účinnosti agregačního míchání ve smyslu Campova vztahu), nebo i nevýhodou (omezuje využitelnost disponibilních výškových ztrát při použití děrovaných přepážek s konstantní průtočnou plochou) – [9].

K dalším rozdílům mezi agregačním mícháním pádlovými míchadly a děrovanými přepážkami patří i rovnoměrnost průtoku a tím i zdržení upravované vody ve vložkovací nádrži (tu zajišťují pouze děrované přepážky tím, že potlačují její zkratová proudění) a rozdíly v rozložení turbulentních proudění upravované vody ve vložkovací nádrži, zejména v jejím podélném profilu. Všechny uvedené skutečnosti vysvětlují proč Campova čísla opakovaně doporučovaná pro různé koagulanty a způsoby separace suspenze v odborné literatuře z let 1973 – 1999 [např. 7], lze úspěšně využít při navrhování parametřů agregačního míchání pádlovými míchadly, zatímco pro agregační míchání děrovanými přepážkami je jejich využití problematické [5].

Absence směrodatných podkladů pro navrhování parametrů agregačního míchání děrovanými přepážkami byla podnětem pro konstrukci nastavitelných děrovaných přepážek, které umožňují přizpůsobit vhodným nastavením jejich průtočné plochy – a tím i parametry agregačního míchání - konkrétním podmínkám úpravy vody. Nastavování bylo původně zamýšleno jako jednorázová činnost, kterou v rámci dodávky provede dodavatel. Tomu odpovídala i jednoduchá nastavovací zařízení (šroubová staršího typu). Narůstající počet úpraven vod, ve kterých byly použity nastavitelné děrované přepážky, přinesl poznatky a doporučení, které přispěly k jejich dalšímu vývoji. Tento vývoj nezměnil základní koncepci nastavitelných děrovaných přepážek jako sestav děrovaných pevných a posuvných desek, které jsou spojeny nastavovacími zařízeními a uspořádány do svislých polí, a které jsou upevněny na společné nosné konstrukci. Změnily se jen použité materiály (duroplastové desky byly nahrazeny polypropylenovými a profily z běžných ocelí profily z nerezové oceli) a mění se i nastavovací zařízení.

Cílem vývoje nastavovacích zařízení je usnadnit a urychlit nastavování děrovaných přepážek. Nastavitelné děrované přepážky realizované do roku 2000 mají šroubová zařízení staršího typu, která jsou přístupná z obslužných lávek, a s nimiž se poměrně obtížně a zdlouhavě manipuluje. Proto se provozovatel mnohdy spokojí s nastavením, které provede dodavatel, a sám další nastavování již neprovádí, přestože se tím ochuzuje o možnost optimalizovat podmínky přípravy suspenze. Snadnější manipulaci umožňují šroubová nastavovací zařízení nového typu (úpravna vody Karolinka), jimiž lze s poměrně nízkými náklady nahradit šroubová nastavovací zařízení staršího typu. Rychlejší nastavování umožňují nastavovací zařízení, jimiž lze ovládat současně všechna pole děrované přepážky (úpravna vody Souš). Jako nepříliš výhodné se ukázalo strojní nastavovací zařízení ovládané počítačem (úpravna vody Podhradí). Nejsnadnější a nejrychlejší manipulaci umožní pákové nastavovací zařízení, jímž bude možné ovládat

současne všechna pole děrované přepážky a snadno je fixovat v několika málo polohách. Realizace tohoto zařízení se připravuje (úpravny vod Bzenec a Ludkovice) .

Pro navrhování agregačního míchání děrovanými přepážkami v úpravných vod s dvoustupňovou separací suspenze lze doporučit jejich dimenzování na hodnoty rychlostního gradientu, které v průběhu agregace klesají ($G = 60 \rightarrow 5 \text{ s}^{-1}$). To vyžaduje, aby ve vločkovacích nádržích byly k dispozici výškové ztráty $H = 35 \pm 15 \text{ cm}$, které v nich většinou k dispozici jsou. Cílem agregačního míchání je vytvořit suspenze s převládajícím podílem velkých vloček, které lze efektivně separovat usazováním. Při konkrétním řešení agregačního míchání děrovanými přepážkami je třeba zvolit jejich počet a velikost otvorů v nich. Souvislost mezi oběma těmito parametry vyplývá z poznatků o výtoky ponořeného vodního paprsku. V již zmíněném typovém projektu je na délce vločkovací nádrže 5 m rozmístěno v pravidelných intervalech 0,5 m celkem devět děrovaných přepážek s otvory průměru 20 mm [2]. Počet děrovaných přepážek však může být i nižší, např šest ve vločkovací nádrži téže délky, otvory v nich by však měly být větší průměru 30 – 50 mm, zejména budou-li děrované přepážky nastavitelné. Je výhodné jsou-li děrované přepážky rozmístěny ve vzdálenostech, které se ve směru průtoku upravované vody zvětšují, neboť i tak lze přispět ke splnění požadavku na pokles hodnot rychlostního gradientu (úpravna vody Štítary). Děrované přepážky lze instalovat nejen do nádrží pravoúhlého půdorysu (např. úpravny vod Málinec, Hosov a Štítary), ale i do nádrží s kruhovým půdorysem, ve kterých se pro instalaci děrovaných přepážek vytvoří vločkovací prostory ve tvaru dutého válce (úpravna vody Klíčava) .

Rozdíl v možnostech děrovaných přepážek s konstantní průtočnou plochou a nastavitelných lze demonstrovat na příkladu úpravny vody Málinec ($280 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$). Předlohou při vypracování projektu této slovenské úpravny vody byl typový projekt usazovacích a vločkovacích nádrží s děrovanými přepážkami s konstantní průtočnou plochou a otvory průměru 20 mm (A) – [2]. Namísto nich použil projektant (Hydroconsult Bratislava) nastavitelné děrované přepážky s otvory průměru 30 a 35 mm (B), jejichž vhodné seškrcení umožňuje zvýšit hodnoty rychlostního gradientu efektivně až o 50 %. Tím zohlednil obtížnou upravitelnost vody v oblasti, na jejíž úpravu jsou zapotřebí vyšší hodnoty rychlostního gradientu ($G_2 > G_1$). Všechny hodnoty uvedené v tabulce platí pro jmenovitý průtok upravované vody vločkovací nádrží $70 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Děrovaná přepážka číslo:	Děrované přepážky s průtočnou plochou					
	konstantní (A)		nastavitelnou (B)			
	H_1 [cm]	G_1 [s^{-1}]	H_1 [cm]	G_1 [s^{-1}]	H_2 [cm]	G_2 [s^{-1}]
1	4,8	48,2	4,8	46,8	11,0	68,7
2	4,2	45,0	4,2	44,1	9,5	64,7
3	3,2	39,4	3,2	38,6	8,0	60,0
4	2,8	36,9	2,8	36,3	6,5	54,6
5	2,0	31,2	2,0	30,8	5,0	48,2
6	1,6	27,3	1,6	27,6	4,0	43,4
7	1,1	23,1	1,1	22,9	3,0	37,7
8	0,8	20,1	0,8	19,6	2,0	30,9
9	0,5	15,8	0,5	15,5	1,0	21,9
Celkem:	21,0	-	21,0	-	50,0	-

H - výškové ztráty [cm], G - hodnoty rychlostního gradientu [s^{-1}]

Příznivé účinky míchání nastavitelnými děrovanými přepážkami na technologické provozní náklady byly zjištěny v úpravně vody Hosov ($240 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$), ve které bylo možné s náležitou mírou objektivit porovnat obsah zbytkového koagulantu (Fe) v odsazené vodě odtékající z usazovacích nádrží a množství ztrátové vody z praní filtrů vztažené na snížení obsahu organických látek v upravené vodě, který je v této úpravně vody hlavním sledovaným ukazatelem. Výsledky jsou shrnuty v tabulce:

Sledovaný ukazatel	A g r e g a č n í m í c h á n í			Bez agregace míchání
	pádlovými míchadly	děrovanými přepážkami nastavenými na hodnoty rychlostního gradientu		
		n í z k é	v y š š í	
Koagulant v odsazené vodě $\text{Fe mg}\cdot\text{l}^{-1}$	1,06	0,77	0,68	1,22
Specifická spotřeba prací vody $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1} \text{O}_2$	9,93	6,99	11,98	12,82

Zdánlivý rozpor mezi účinky agregace míchání děrovanými přepážkami nastavenými na nízké a vyšší hodnoty rychlostního gradientu souvisí s využitím kalových kapacit rychlých filtrů s dvoustupňovou separací suspenze je usazování kalu ve vločkovacích nádržích před těmito přepážkami. Jeho příčinou je zahušťování suspenzí vloček a turbulentních proudění, k němuž dochází smísením upravované vody odražené od děrovaných přepážek a upravované vody k nim teprve přitékající. V zónách tohoto setkávání, které jsou při obvyklém průběhu vločkování (10 – 20 min) pro agregaci neúčinnější, se při jejím příliš rychlém průběhu (< 5 min) vytvářejí velké vločky, které stačí odsedimentovat ke dnu nádrže aniž by byly strženy prouděním upravované vody do otvorů v děrované přepážce. Kalu se před děrovanou přepážkou usazuje tím více, čím vyšší je stupeň agregace vloček, které k ní připlavuje upravovaná voda, a čím rychleji probíhá v konkrétní úpravně vody proces agregace vloček. K usazování kalu ve vločkovacích nádržích s děrovanými přepážkami přispívá i jejich provozování na nižší než projektované průtoky (např. úpravna vody Štítary).

Zvláštním problémem při agregacím míchání děrovanými přepážkami v úpravnách vod s dvoustupňovou separací suspenze je usazování kalu ve vločkovacích nádržích před těmito přepážkami. Jeho příčinou je zahušťování suspenzí vloček a turbulentních proudění, k němuž dochází smísením upravované vody odražené od děrovaných přepážek a upravované vody k nim teprve přitékající. V zónách tohoto setkávání, které jsou při obvyklém průběhu vločkování (10 – 20 min) pro agregaci neúčinnější, se při jejím příliš rychlém průběhu (< 5 min) vytvářejí velké vločky, které stačí odsedimentovat ke dnu nádrže aniž by byly strženy prouděním upravované vody do otvorů v děrované přepážce. Kalu se před děrovanou přepážkou usazuje tím více, čím vyšší je stupeň agregace vloček, které k ní připlavuje upravovaná voda, a čím rychleji probíhá v konkrétní úpravně vody proces agregace vloček. K usazování kalu ve vločkovacích nádržích s děrovanými přepážkami přispívá i jejich provozování na nižší než projektované průtoky (např. úpravna vody Štítary).

Neúčinněji lze usazený kal odstranit z vločkovacích nádrží při jejich čištění. To vyžaduje vzhledem k utěsnění děrovaných přepážek ve vločkovací nádrži zajistit odtok kalové vody z každé její sekce samostatnými potrubími, nebo – a toto řešení zatím převládá – odtok kalové vody z jednoho místa ve vločkovací nádrži při propojení všech jejích sekcí odkalovacími otvory, které jsou vytvořeny při spodních okrajích všech děrovaných přepážek. Za provozu nádrže jsou tyto otvory uzavřeny dostatečně utěsněnými hradítky a otevírají se pozvednutím těchto hradítek před jejím čištěním. Provozně méně náročné je čištění samostatných vločkovacích nádrží, které lze dočasně odstavit z provozu obtokem. Náročnější je čištění vločkovacích nádrží sdružených s usazovacími nádržemi, neboť z těch se musí před jejich čištěním vypustit nebo přečerpat mnohem větší objemy upravované vody. Provozně snažší ale méně účinné je odkalování vločko-

vacích nádrží za jejich provozu, které vyžaduje vhodné uspořádání jejich den. To se však při rekonstrukci vložkových nádrží s rovnými dny většinou nedá uskutečnit. Nepostačující účinnost prokázal např. systém příčných koryt s příkře sešikmenými stěnami a v nich uloženými děrovanými odkalovacími potrubími (úpravna vody Málíneček). Jiným způsobem jak snížit provozní náročnost odstraňování kalu z vložkových nádrží je omezit v nich jeho usazování vytvořením řízeného zkratového proudění upravované vody, které vychází z jejích horních vrstev ve vstupní části nádrže, a směřuje do jejích spodních vrstev ve výstupní části nádrže. Toto proudění lze zajistit nerovnoměrným rozmístěním otvorů v děrovaných přepážkách. S částečným úspěchem byl tento způsob ověřen v úpravně vody Štítary ($240 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$), ve které však agregace vloček probíhá mimořádně rychle (*řádově v sekundách*), takže spíše než obvyklé vodárenské vložkování připomíná chemické srážení [8].

Pro navrhování agregačního míchání děrovanými přepážkami v úpravách vod s jednostupňovou separací suspenze se doporučují vyšší hodnoty rychlostního gradientu ($G = 80 - 100 \text{ s}^{-1}$), které by měly působit v průběhu celé agregace. Důvodem je zabránit tvorbě velkých vloček, které kolmatují horní vrstvy filtračních náplní a tím znemožňují efektivně využívat jejich kalové kapacity. K zajištění vyšších hodnot rychlostního gradientu je zapotřebí vyšších výškových ztrát ($H = 80 \pm 20 \text{ cm}$), které však jsou v úpravách vod málokdy k dispozici. Dimenzování děrovaných přepážek v úpravách vod s jednostupňovou separací suspenze dále komplikuje i souběh dvou navzájem si odporujících skutečností: závislosti jimi využitelných výškových ztrát na průtoku upravované vody vložkovací nádrží a nutnosti dimenzovat děrované přepážky na průtoky odpovídající projektovaným výkonům úpraven vod. Při nižších průtocích upravované vody, jejichž příčinou je dnes běžné provozování úpraven vod na nižší než projektované výkony, totiž takto dimenzované děrované přepážky využívají jen část výškových ztrát, které jsou k dispozici, a které by měly být využity celé.

Optimálního využití disponibilních výškových ztrát lze za těchto okolností dosáhnout zmenšením průtočných ploch děrovaných přepážek (to je možné jen při použití nastavitelných děrovaných přepážek) nebo kombinací míchání děrovanými přepážkami s jinými i méně účinnými způsoby hydraulického míchání (např. průtokem upravované vody meandrem), které se navzájem synergicky ovlivňují (např. úpravny vody Karolinka [9] nebo částečně i Meziboří [4]). Pro úplnost je třeba uvést, že rozdíly v účincích agregačního míchání děrovanými přepážkami, které využívají celé disponibilní výškové ztráty nebo jen jejich část, nemusí být příliš výrazné, provozují-li se úpravny vod na nižší než projektované výkony a dávají-li se na úpravu relativně čistých vod nízké ekonomické dávky koagulantu. S tím souvisí i skutečnost, že ve vložkových nádržích úpraven vod s jednostupňovou separací suspenze nebyly dosud zaznamenány žádné problémy s usazováním kalu mezi děrovanými přepážkami.

V úpravách podzemních vod byly nastavitelné děrované přepážky dosud použity jen jako zařízení na potlačení zkratového proudění v usazovacích nádržích (úpravny vod Bzenec a Kroměříž) a ve vložkových nádržích míchaných pádlovými míchadly (úpravna vody Tlumačov). Při tomto jejich použití byla vždy do jedné nádrže instalována jedna děrovaná přepážka dimenzovaná na relativně malou výškovou ztrátu ($H < 4 \text{ cm}$). K agregačnímu míchání, pro které jich je zapotřebí více, tyto děrované přepážky dosud použity nebyly z obavy, že by případné zanášení jejich otvorů inkrusty kladlo nepřiměřeně velké nároky na jejich provozní údržbu. Tato obava se ukázala jako přehnaná vytvářejí-li se měkké inkrusty, které lze při čištění nádrže odstranit ostřikem tlakovou vodou, a jen zčásti oprávněná při tvorbě tvrdých inkrustů, které se musí odstraňovat

mechanicky. Pozitivní úlohu bude sehrávat i v současnosti používaný materiál děrovaných desek – polypropylen, který je méně náchylný k ulpívání inkrustů (v uvedených úpravnách vod byly ještě použity duroplastové děrované desky) a modifikace chemické technologie, jíž se tvorba inkrustů omezí .

V jedné z nastavitelných děrovaných přepážek v úpravně vody Bzenec ($400 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$) zmenšily inkrusty usazené v jejich otvorech za cca jeden rok jejího provozu její průtočnou plochu tak, že se její výšková ztráta zvětšila na cca 10 cm. Děrovaná přepážka se přitom prohla (tato její deformace však nepřekročila mez pružnosti), nádrž se musela odstavit z provozu a inkrusty z otvorů v přepážce musely být mechanicky odstraněny. Proto budou nastavitelné děrované přepážky v této úpravně vody rekonstruovány tak, že jejich otvory budou zvětšeny a při uvádění do provozu, kdy v nich ještě nebudou žádné inkrusty, budou vhodným nastavením přiměřeně přiškrceny. Na případné zmenšování průtočných ploch těchto přepážek bude obsluha reagovat postupnými změnami jejich původního nastavení, jímž se budou průtočné plochy děrovaných přepážek zvětšovat. Využití nastavování ke korekcím průtočných ploch nastavitelných děrovaných přepážek zmenšovaných inkrusty je možností, která se při jejich konstrukci nepředpokládala .

L i t e r a t u r a a p o d k l a d y

- [1] *Vymer, J.*: Horizontální usazovací nádrž, patentový spis č. 130 353 (1967/1968), a Usazovací nádrž, patentový spis č. 137 163 (1968/1969), Úřad pro patenty a vynálezy, Praha, nebo *Sukovitý, A. – Višňovský, P.*: Vodárenství II, SNTL, Praha, 1971, str. 116
- [2] Úpravný vody - první stupeň separace suspenzí, 2. díl - podélné usazovací nádrže šířky 6 m, typový projekt, Hydroprojekt, Praha, 1981
- [3] *Kolář, V. – Patočka, C. – Bém, J.*: Hydraulika, SNTL, Praha, 1988, str. 251
- [4] *Halámek, B.*: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravně vody Meziboří, sborník z konference „Rekonstrukce úpraven vody“, Teplice, 1998, str. 157
- [5] *Halámek, B. – Zínek, J.*: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravně vody Hosov, sborník z konference „VODA Zlín 1999“, Zlín, 1999, str. 95
- [6] *Halámek, B.*: Posuzování Campových čísel při přípravě suspenzí hydraulickým mícháním, sborník z konference „Pitná voda 1999“, Tábor, 1999, str. 291
- [7] *Žáček, L.*: Chemické a technologické procesy úpravy vody, NOEL, Brno, 1999, str. 63 – 64
- [8] *Halámek, B.*: Využití řízeného proudění upravované vody v hydraulicky míchaných vločkovacích nádržích, sborník z konference „Pitná voda“, Trenčianské Teplice, 2002, str. 65
- [9] *Halámek, B.*: Příprava suspenze hydraulickým mícháním v úpravnách vod s jedno-stupňovou separací, sborník z konference „VODA Zlín 2003“, Zlín, 2003, str. 83