

MOŽNOSTI POUŽITÍ HYPERBOLOIDNÍCH MÍCHADEL V ÚPRAVNÁCH VODY

**Ing. Miroslav Mikeš¹⁾, Ing. Vladimír Jonášek¹⁾, Ing. Oldřich Darmovzal²⁾,
Ing. Jaroslav Fiala³⁾**

¹⁾ CENTROPROJEKT a. s.

Štefánikova 167, 760 30 Zlín, e-mail: mikes@centroprojekt.cz, jonasek@centroprojekt.cz

²⁾ Voding Hranice spol. s r. o.

Zborovská 583, 753 01 Hranice, e-mail: oldrich.darmovzal@voding.cz

³⁾ Vodovody a kanalizace Hodonín, a. s.

Purkyňova 2, č.p. 2933, 695 11 Hodonín, e-mail: fialaj@vak-hod.cz

Abstrakt

Přednáška pojednává o možnostech aplikace hyperboloidních míchadel v úpravnách vody. Jelikož se jedná o pomaluběžná míchadla, nabízí se možnost využití těchto míchadel ve flokulačních nádržích.

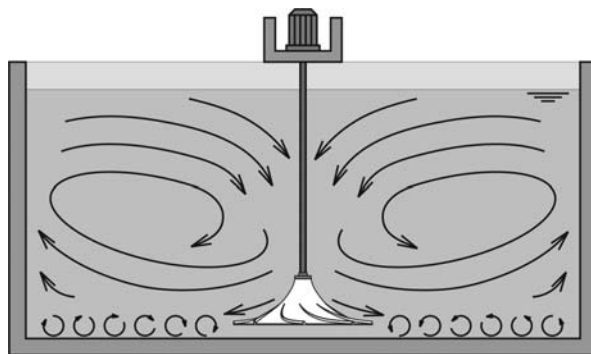
Úvod

Hyperboloidní míchadla byla původně určena především k míchání denitrifikačních nádrží. Tomuto účelu byla zcela podřízena jejich konstrukce s cílem minimalizovat potřebnou energii, kterou je nutno vynaložit na míchání nádrže tak, aby nedocházelo k rozbíjení vloček aktivovaného kalu a zároveň byly tyto vločky neustále ve vznosu. Jelikož se jedná o pomalu běžná míchadla, lze snížením počtu otáček, vytvořit předpoklady pro využití těchto míchadel i v dalších oblastech, jako např. na úpravnách vody.

Teorie míchání hyperboloidním míchadlem

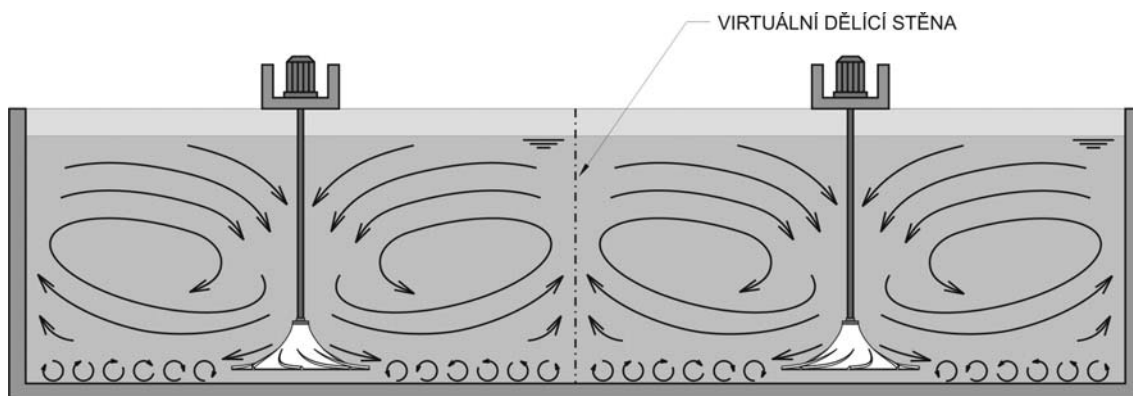
Hyperboloidní míchadla dokonale splňují hlavní požadavek na míchání, tj. zamezení sedimentace mechanických částic (např. vločkového mraku při koagulaci) a jejich udržování ve vznosu rovnoměrným rozdělením v objemu celé nádrže, čímž se zamezuje vzniku mrtvých zón a zkratovému proudění v nádržích. K tomu přispívají i vzniklé mikrovíry u dna nádrže.

Při radiálním dnovém proudění vyvolaném hyperboloidním míchadlem je většina energie vnášena ke dnu nádrže, ale ne proti němu, nýbrž rovnoběžně s ním, čímž dochází k maximálnímu využití této energie. Není problém dosáhnout energetického vnosu 1,5-2,0 W/m³. Vzhledem ke konstrukci míchadla postačují k vyvolání míchacího efektu jen minimální otáčky míchadla - běžně 10-30 ot/min. Výhodou standardního provedení je umístění pohonu nad hladinou nádrže – odpadají provozní problémy typické pro ponorné pohony, např. údržba ucpávek.



Obr. 1 Proudění vznikající při míchání hyperboloidním míchadlem

Standardně vyráběnými hyperboloidními míchadly lze míchat všechny typické tvary nádrží (čtvercové, obdélníkové, kruhové, kuželové). V případě dlouhých obdélníkových tvarů se nádrž osadí více míchadly, u kterých můžeme opačnými otáčkami docílit rozdělení délky nádrže na několik samostatných celků, které se budou chovat zcela autonomně (různá intenzita míchání v různých místech téže flokulační nádrže). Mezi míchadly vzniká tzv. „virtuální stěna“. Její chování bylo ověřeno jak počítačovou 3D simulací, příslušnými laboratorními modely tak i ve skutečnosti. Tímto způsobem lze snižovat nebezpečí vzniku zkratových proudů, hydraulické ztráty a v neposlední řadě také náklady na budování skutečných dělicích stěn.



Obr. 2 Virtuální stěna

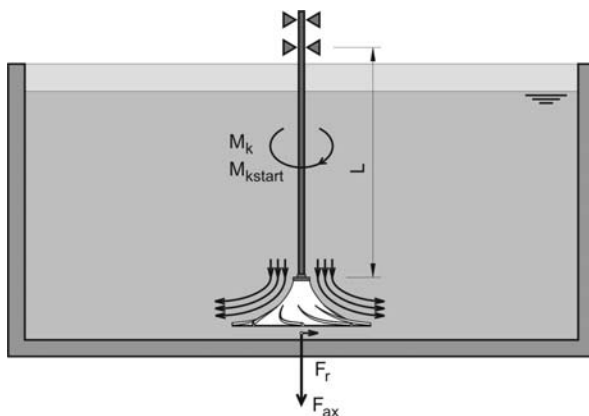
Mechanické namáhání při provozu hyperboloidního míchadla

Při provozu hyperboloidního míchadla vzniká mechanické namáhání na vlastních míchacích elementech, tj. na jednotlivých lopatkách, odkud je toto zatížení přenášeno na tělo míchadla. Zde se k zatížení přidává vliv proudění kapaliny kolem těla míchadla a kompletně se převádí na hřídel a následně přes ložiska do vlastního pohonu. Vzhledem k tomu, že při typickém řešení je celý komplet ukotven „letmo“, přenáší se veškeré zatížení do nosné konstrukce (lávky, stropu apod.) v místě kotvení pohonu míchadla.

Zatížení, které je nutno brát v úvahu při návrhu nosné konstrukce:

- axiální síla $F_{ax}=F_g+F_{dyn}$
(zatížení od vlastní hmotnosti + síla vyvolaná hydraulickým tahem kapaliny)
- radiální síla F_r
- krouticí moment M_k
- startovací krouticí moment M_{kstart}

Z výše uvedeného je zřejmé, že na hřídel působí převážně tahová axiální síla, která nemá zásadní vliv na chování hřídele, neboť směřuje do „neškodného“ směru. Radiální síla vznikající od nepravidelného turbulentního proudění podél každé lopatky je díky uzavřenému tělu hyperboloidního míchadla a velmi nízkým otáčkám rotoru míchadla (10 – 30 ot/min) minimální (platí: čím více lopatek, tím menší F_r).



Obr. 3 Namáhání vznikající při provozu hyperboloidní míchadlo

Koagulace na úpravách vody

Účelem vodárenské koagulace je navodit takové podmínky, aby se nečistoty přítomné ve vodě zbavily svého povrchového náboje a tím byla překonána bariéra pro jejich agregaci do větších celků. To umožní přípravu suspenze separovatelné běžnými procesy jako je ve vodárenské praxi nejběžnější sedimentace a filtrace.

Z hlediska míchání lze proces koagulace rozdělit na fázi rychlého a pomalého míchání. Rychlé míchání je charakterizováno vysokou hodnotou středního rychlostního gradientu a krátkou dobou zdržení. Účelem rychlého míchání je především ve vodě rychle a dobře zhomogenizovat nadávkované chemikálie a umožnit průběh perikinetické fáze koagulace – destabilizace náboje nečistot obsažených ve vodě. Technologicky se homogenizace chemikálií spojená s perikinetickou fází koagulace řeší vytvořením značné turbulence v místě dávkování koagulačních chemikálií. Pro vytvoření velkých, dobře sedimentujících vloček není přílišná turbulence vhodná, neboť dochází k jejich rozrušování. Čířená směs se proto převádí do koagulační nádrže, kde za podmínek ortokinetické koagulace dochází k nabalování vloček. O tom, zda bude docházet k nabalování vloček nebo naopak k jejich rozbíjení rozhoduje účinnost míchání, kterou můžeme vyjádřit hodnotou rychlostního gradientu G .

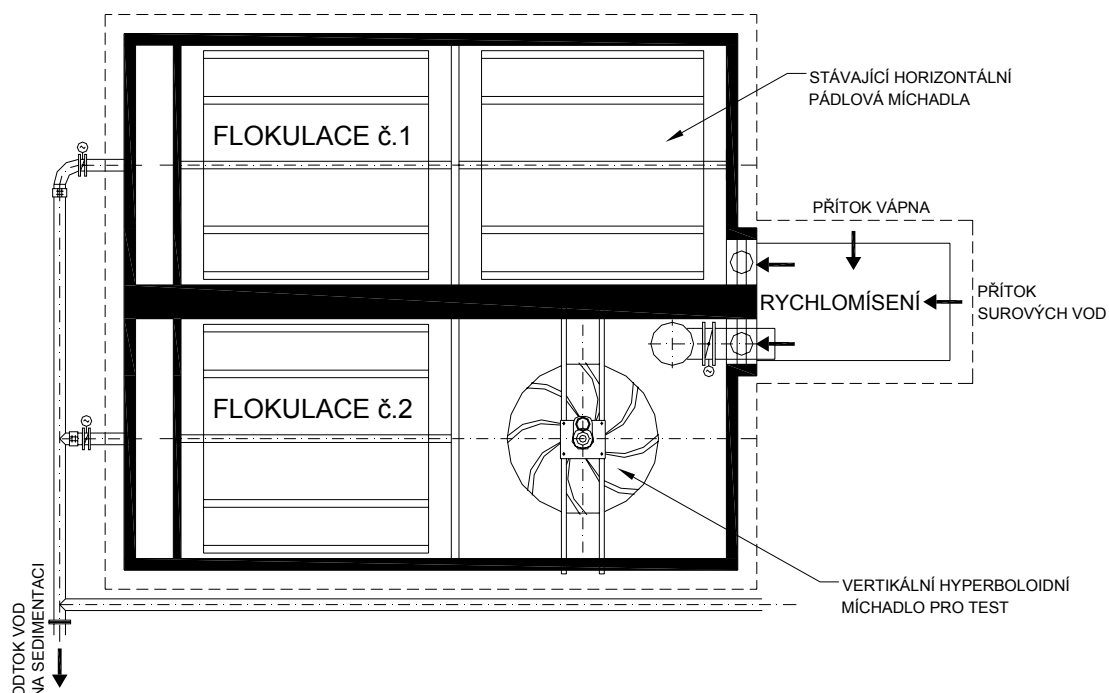
Hodnoty G u koagulačních (resp. flokulačních) nádrží se pohybují přibližně v rozmezí 20 až 74 s^{-1} . Na počátku koagulační nádrže, kde dochází k tvorbě vloček, je výhodné volit vyšší hodnotu gradientu než na konci nádrže, kde by větší rychlostní gradient způsoboval destrukci vloček. Tuto podmínku lze splnit u mechanicky míchaných koagulačních nádrží (např. pádlovými míchadly) vložением děrované stěny, která oddělí oba prostory a umožní v každé polovině provozovat míchadlo s jiným počtem otáček. Při použití hyperboloidních míchadel není nutno tuto stěnu budovat – viz. „virtuální dělící stěna“ popsaná výše.

Provozní test hyperboloidního míchadla na ÚV Kněžpole

Zdrojem vody pro úpravu je jímací území Kněžpole se zdroji podzemní vody v kvartéru řeky Moravy. V době provádění provozního testu (před rekonstrukcí ÚV) byla technologie úpravy vody dvoustupňová: první stupeň úpravy vody tvoří aerace, rychlomísení s dávkováním vápenného hydrátu, flokulace s následnou sedimentací. Druhý stupeň úpravy vody zahrnuje odželezňování a následné odmanganování na otevřených rychlofiltrech a dvě akumulční nádrže pro upravenou vodu. Hygienicky je voda zabezpečena plynným chlórem.

Koncem června r. 2006 se uskutečnil provozní test hyperboloidního míchadla, který měl ověřit možnost náhrady projektovaného klasického vertikálního pádlového míchadla ve flokulaci výše zmiňovaným hyperboloidním míchadlem.

Uspořádání zařízení a podmínky testu



Obr. 4 Uspořádání provozního testu

Pro provozní test bylo výrobcem zařízení zapůjčeno míchadlo o průměru 2,0 m.

Aktuální výkon ÚV byl během testu celkem 72 l/s, průtok každou flokulací byl tedy 36 l/s, což je hluboko pod projektovanými 75 l/s.

V provozu byly na ÚV obě flokulace a předpokládalo se, že byly přibližně stejně hydraulicky zatíženy. Suspenze z obou flokulací byla odváděna do společným potrubím na sedimentaci. (z tohoto důvodu nebylo možné zjistit vliv míchání rozdílnými míchadly na odsazování suspenze v provozních sedimentacích).

V pravé flokulaci (po směru toku) zůstalo v provozu horizontální pádlové míchadlo umístěné podélně, takže otáčky míchadla (nedaly se měnit) byly stejné v obou komorách flokulace (komory byly odděleny stěnami, které však zasahovaly jen po hřídél míchadla, takže docházelo k promíchávání suspenze v celém objemu flokulace).

V levé flokulaci bylo v první komoře umístěno hyperboloidní míchadlo, ve druhé komoře byl zbytek původního pádlového horizontálního míchadla, které však nebylo provozováno. Otáčky hyperboloidního míchadla bylo možno měnit pomocí FM a byly

nastaveny na 14 ot/min. a ponechány do druhého dne, kdy byly sníženy na výpočtové 9,6 ot/min. Bylo pozorováno, že při otáčkách 9,6 ot/min docházelo ve 2.komoře flokulace (stěna opět zasahovala jen po hřidel původního horizontálního míchadla) k částečné sedimentaci suspendovaných částic. Při otáčkách 14 ot/min. k sedimentaci v takovém rozsahu nedocházelo. Bylo zřejmé, že při vyšších otáčkách hyperboloidního míchadla v 1.komoře docházelo k promíchávání celého objemu flokulace, aniž by ve druhé komoře bylo v chodu míchadlo a byla tak omezena sedimentace suspenze ve flokulaci.

Provedení a výsledky testu

Dne 23.6.2006 byl odebrán nejdříve vzorek provzdušněné vody a po provedení analýzy této vody byl odebrán vzorek suspenze z 1.komory levé flokulace s hyperboloidním míchadlem s otáčkami 14 ot/min. Odsazování probíhalo po dobu 2 h v odměrném válci 1 litr (rezerva v kádince 600 ml). Byly pořízeny fotografie suspenze ve válci ihned po naplnění. Po 2 h odsazování bylo odlito cca 200 ml odsazené vody pro analýzu.

Po odběru vzorku při 14 ot/min byly otáčky míchadla sníženy na 9,6 ot/min. (výpočtové) a po 2 h provozu flokulace byl odebrán vzorek suspenze. Odsazování suspenze probíhalo stejně jako v předcházejícím případě.

Souběžně byly odebírány a zpracovávány vzorky z 1.komory pravé flokulace, kde bylo v chodu pádlové míchadlo. Pro porovnání byl odebrán i vzorek ze 2.komory pravé flokulace. Odsazování probíhalo v kádince 600 ml po dobu 2 h a vzorek odsazené vody byl zpracován stejným způsobem, jako vzorky z prvních komor flokulací.

Tabulka č. 1 Porovnání ukazatelů kvality vody při aplikaci hyperboloidního míchadla a pádlového míchadla

	Barva [mg/l Pt]	Zákal [FAU]	Fe ²⁺ [mg/l]	Fe _{celk.} [mg/l]	Mn [mg/l]	Reakce vody [pH]
Provzdušněná voda	3	1	9,05	10,36	1,43	6,95
HBM 14 ot/min	116	12	-	2,91	0,73	7,95
HBM 9,6 ot/min	130	13	-	3,32	0,80	8,03
Pádlo 1. komora	160	18	-	3,65	0,87	7,99
Pádlo 2. komora	132	14	-	3,07	0,83	7,99

Z prezentovaných výsledků je zřejmé, že v odsazené alkalizované vodě po flokulaci klesá oproti provzdušněné vodě podstatně koncentrace Fe i Mn (očekávaný stav). Nalezené hodnoty jsou však ještě dosti vysoké. Barva a zákal po alkalizaci provzdušněné vody logicky rostou se vznikem suspenze. Jestliže porovnáme mezi sebou obě míchadla, není v obsahu Fe a Mn podstatný rozdíl. Pro získání reprezentativních výsledků by bylo třeba test vícekrát opakovat, a to i za různých podmínek. Není možné jednoznačně označit poněkud lepší výsledky s hyperboloidním míchadlem oproti pádlovému míchadlu za konečné. V žádném případě to nejsou výsledky horší, takže za daných podmínek, tj. v dekarbonizačním čiření, je možno pádlová míchadla nahradit míchadly hyperboloidními, mezi nimiž (mezi jednotlivými komorami flokulace) bude buď pevná stěna nebo postačí „virtuální dělicí stěna“ vznikající prouděním těchto míchadel.

Ve vztahu k vlivu otáček hyperboloidního míchadla byl zde vidět znatelný příznivý vliv vyšších otáček (14 oproti 9,6 ot/min.), což je dáno vyšším vnosem energie do systému.

Závěr

Na základě výsledků provedeného testu je možno konstatovat, že za daných podmínek dekarbonizačního čiření se účinnost obou míchadel v tvorbě suspenze a následné sedimentace téměř neliší, třebaže je patrný určitý příznivý vliv hyperboloidního míchadla.

Z hlediska tvorby suspenze lze tedy použít hyperboloidní míchadla při dekarbonizačním čiření za předpokladu, že dekarbonizací vznikající kalcit, který by se mohl usazovat na míchadle, nezhorší účinnost míchadla nebo nepovede k havárii míchadla. Tato problematika se v současné době řeší dlouhodobým testem na další ÚV, kde probíhá ve flokulaci intenzivní dekarbonizace.

Při odstraňování železa a manganu pomocí ozonizace nedochází ke změně pH upravované vody, a proto není potřeba dávkovat vápenné mléko (proces dekarbonizace není potřeba provádět). Odpadá riziko tvorby vápenných inkrustů na míchadle. Tato technologie je použita i na ÚV Kněžpole po její rekonstrukci.

Obecně platnou podmínkou pro dekarbonizační čiření i ozonizaci je oddělení obou komor s míchadly ve flokulaci stavitelnou děrovanou stěnou nebo výše popsanou „virtuální dělicí stěnou“, na které se vytvoří menší tlakový spád a tím se zamezí míchání suspenze v celém objemu flokulace. Zúží se tak distribuce stáří částic a tím i velikosti částic, což má příznivý vliv na průběh sedimentace suspenze. Využití virtuální stěny ve flokulaci bude experimentálně ověřeno dalším dlouhodobým provozním testem, který se v současnosti připravuje a bude probíhat souběžně s testem sledováním vlivu dekarbonizace na chod míchadel na téže ÚV.

Při aplikaci hyperboloidních míchadel lze flokulaci provozovat při rozdílných otáčkách; v první komoře budou vyšší a v druhé nižší. Vyššími otáčkami se urychlí vyloučení částic (vloček), při nižších otáčkách se budou vločky zvětšovat. Je důležité vybavit míchadla frekvenčním měničem, aby bylo možné plynule regulovat otáčky tak, aby nedocházelo k rozbíjení nebo usazování vloček ve flokulaci.

Literatura

- [1] Höfken M., Steidl W., Huber P.: About the Design of Mixing Systems for Anaerobic and Anoxic Basins for Large Wastewater Treatment Plants, MIXING XIX, (June 2003), Lake Placid, New York
- [2] Huber P., Valkovič J., Jonášek V.: Návrh míchání pro anaerobní a anoxické nádrže ČOV, Sborník z konference Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV 2004, Břeclav