

Experimentální model vyhnívací nádrže ČOV

Vojtěch Zejda*, Petr Bělohradský, Lucie Houdková

Ústav procesního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika; e-mail: vojtech.zejda@vutbr.cz

Souhrn

Správné promíchávání vyhnívacích nádrží na ČOV je důležité jednak z hlediska produkce bioplynu, jednak z hlediska zanášení dna. Obě hlediska mají přímý dopad na provozní náklady ČOV. Pro ověření správného promíchávání konkrétní vyhnívací nádrže byl postaven její přesný model, který dodržuje všechna hydraulická a geometrická kritéria. Na tomto modelu lze provést různá měření a vizualizace, pomocí kterých je možné udělat si lepší obrázek o činnosti míchadla a jeho skutečném vlivu na proudění uvnitř nádrže.

Klíčová slova: Vyhnívací nádrž, míchání, čistírna odpadních vod

Úvod

Současným trendem je optimalizovat stávající procesy tak, aby byly energeticky co nejméně nákladné a k životnímu prostředí co nejšetrnější. Spolu s tím jde trend hledání a zdokonalování možností získávání obnovitelné energie. Čistírny odpadních vod (dále jen ČOV) představují soubor technologií, kde se oba výše zmíněné trendy projevují. Bez ČOV by dnešní civilizovaná společnost nemohla fungovat. Podle platné legislativy dnes musí mít svou čistírnu i obce nad 2000 obyvatel [1].

Čistírenské procesy jsou dlouhodobě předmětem zájmu výzkumných organizací, a to jak z hlediska zlepšení vlastních čistících procesů, tak z hlediska zlepšení energetické efektivity celé čistírny. Jednou ze základních komponent zejména větších ČOV jsou vyhnívací nádrže, kde dochází ke stabilizaci čistírenského kalu a zároveň produkci bioplynu. Správná činnost vyhnívací nádrže je, mimo jiné, podmíněna vhodně zvoleným způsobem míchání jejího obsahu. V rámci výzkumných aktivit byl na Ústavu procesního inženýrství Fakulty strojního inženýrství při VUT v Brně navržen experimentální model vyhnívací nádrže, který slouží ke sledování účinnosti míchání různých typů míchadel.

Proces stabilizace kalů

Stabilizace čistírenských kalů je biologický proces, který probíhá ve vyhnívacích nádržích různé konstrukce (viz obr. 1). Podstatou procesu je, že při dodržování určitých podmínek (teplota, tlak, pH, zamezení přístupu kyslíku) vznikají postupně bakterie, které přemění organické látky na směs plynů metanu a oxidu uhličitého. Tento plyn se obecně označuje jako bioplyn a má velký energetický potenciál [2]. Jeho nejčastější využití na ČOV je hlavně jako zdroj tepla pro ohřev vyhnívacích nádrží, případně pro výrobu elektrické energie. Na velkých čistírnách je tento způsob stabilizace kalů nejvýhodnější a nejvíce rozšířený [3].

Vyhnívací nádrže jsou většinou železobetonové konstrukce, nejčastěji s kuželovým dnem a víkem. Ve velkokapacitních ČOV mohou mít průměr až 15 metrů a výšku 25 metrů [5].

Aby došlo k co nejlepší stabilizaci kalu a tím zkrácení jeho zádržné doby ve vyhnívací nádrži, je třeba kal při stabilizaci promíchávat. Způsob a intenzita promíchávání mají také přímý vliv na množství produkce bioplynu. Je dokázáno, že příliš intenzivní promíchávání vede k poklesu jeho tvorby podobně jako absence jakéhokoliv promíchávání [6]. Vzhledem k povaze celého procesu lze považovat množství produkce bioplynu za ukazatel úrovně stabilizace kalu, takže jak z technologického, tak i z ekonomického hlediska je žádoucí nalézt optimální způsob promíchávání vyhnívacích nádrží.



Obr. 1: Dvojice vyhňivacích nádrží. [4]

Problematika výzkumu vyhňivacích nádrží

Praktický výzkum míchání vyhňivacích nádrží je značně omezen. Je to dáno jednak velkými rozměry nádrže, jednak povahou samotného procesu stabilizace kalů. Kvůli vznikajícímu bioplynu je celá technologie považována za prostředí s nebezpečím výbuchu, podle čehož pak musí být příslušná elektroinstalace navržena a certifikována. Tím se značně komplikuje možnost provádění měření za provozu. Aby nebezpečí výbuchu bylo odstraněno, muselo by se měření provádět pouze s vodou. To je nereálné jednak kvůli velké spotřebě vody, jednak kvůli časové náročnosti experimentu, který si ČOV nemohou dovolit.

Dosud se tedy veškerý výzkum účinnosti míchacích systémů vyhňivacích nádrží omezil buď na jednoduchou optimalizaci za provozu, nebo na počítačové simulace proudění. Podle první metody se zkoumaly nepřímé ukazatele kvality míchání (množství vznikajícího bioplynu, parametry stabilizovaného kalu) a podle nich se optimalizovaly provozní parametry míchadla (otáčky, směr otáček, perioda míchání), popř. se upravila zdržná doba kalu v nádrži. Rozhodujícím ukazatelem je dostatečná stabilizace kalu. Touto metodou se dá zjistit, zda je míchání dostatečné pro stabilizaci kalu, ale nelze z ní posoudit, zda zvolený typ míchání a jeho nastavení jsou nejlepší pro maximální výtěžnost bioplynu.

Metoda počítačového simulování proudění umožňuje lepší popis hydraulických poměrů uvnitř nádrže a odhalit místa, kde dochází k nevhodnému promíchávání. Tato metoda se používá většinou tehdy, když první metoda selže a při daném typu míchání nelze v požadované době dosáhnout patřičné stabilizace kalu. Věrohodnost výpočtových simulací však nemusí být vždy dostatečná a vypočtené modely je třeba validovat se skutečnými daty, které je právě obtížné získat.

Cílem výzkumu tedy bylo získat reálná data z vyhňivací nádrže, která by jednak měla vypovídající hodnotu o zvoleném způsobu míchání a jednak se mohla dále použít pro validaci počítačových modelů. Protože získat tyto data ze skutečné nádrže nešlo, bylo rozhodnuto o postavení modelu zkoumané vyhňivací nádrže.

Model vyhňivací nádrže

Podstat řešení spočívá v myšlence, že pokud lze na modelech nádrží navrhovat vhodná míchadla pro skutečné nádrže, musí jít naopak na modelu zkoumat charakteristiky míchadla velké nádrže. Nutnou podmínkou je dodržení všech kritérií.

Popis zkoumané nádrže

Jedná se o standartní vyhnívací nádrž železobetonové konstrukce o vnitřním průměru 9,93 m a celkové výšce 16,5 m. Maximální objem kalů v nádrži je 960,7 m³. Spodní i vrchní část nádrže má kuželový tvar. Dolní kvůli spádování odtoku stabilizovaného kalu, horní kvůli odběru bioplynu.

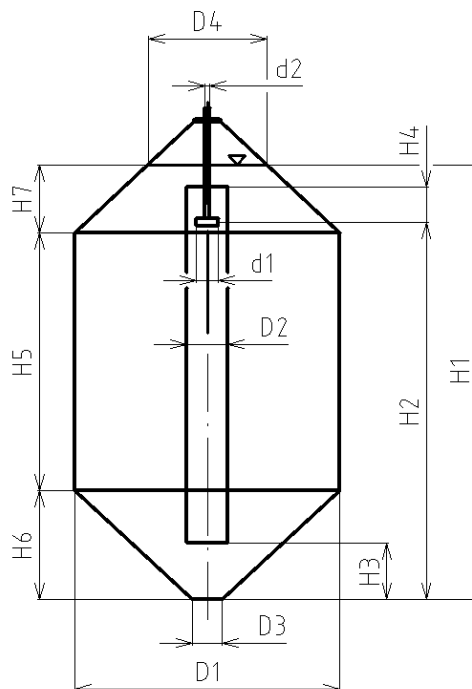
V ose nádrže je umístěna centrální roura DN 400, ve které je umístěno axiální míchadlo, které se v podstatě chová jako čerpadlo. Princip promíchávání tak spočívá v přečerpávání kapaliny skrz centrální trubku ode dna nádrže k hladině nebo naopak. Směr čerpání závisí na směru otáček míchadla. Tato konstrukce patří k rozšířeným typům vyhnívacích nádrží.

Kritéria pro stavbu modelu

Při návrhu vhodného míchadla do velké nádrže se postupuje tak, že se postaví podle zvoleného měřítká model nádrže, ve kterém se pak odzkouší zamýšlené typy míchadel. Při stavbě modelu musí být dodržena celá řada geometrických simplexů, které jsou počítány z rozměrů skutečné nádrže (viz obr. 2).

Jmenovitě to jsou:

- $H_1/D_1 = 1,6$
- $H_2/D_1 = 1,5$
- $H_3/D_1 = 0,2$
- $H_4/D_1 = 0,1$
- $D_1/d_1 = 28,4$
- $D_2/d_1 = 1,1$
- $d_1/d_2 = 4,6$
- $H_5/D_1 = 1,0$
- $H_6/D_1 = 0,4$
- $H_7/D_1 = 0,2$
- $D_1/D_3 = 8,9$
- $D_1/D_4 = 1,8$



Obr. 2: Nákres nádrže s okótovanými charakteristickými rozměry.

Na tomto modelu se poté odzkouší a navrhne nejvhodnější míchadlo, které se pak pro skutečnou nádrž přepočítá podle zvolených kritérií. V tomto případě se muselo postupovat opačně, tedy ze známého míchadla dopočítat jeho model. Pro jeho návrh byl použit přístup konstantního specifického příkonu (tedy poměr výkonu míchadla k objemu nádrže) pro skutečnou nádrž i model [7]. Z toho poté vyplynuly provozní charakteristiky modelového míchadla.

Technický popis výsledného modelu

Původní idea bylo postavit celý model z průhledného plastu, což by nabízelo široké možnosti pro vizualizace proudění. Záhy se ale ukázalo, že vzhledem k průměru modelu nádrže je tato myšlenka neproveditelná. Proto se do modelu navrhly na vhodných místech průhledítka. Aby uvnitř nádrže bylo co nejvíce světla, byla snaha vyrobit co nejvíce dílů nádrže z tzv. mléčného plastu. Celý model je na obrázku 3, jeho základní parametry jsou uvedeny v tab. 1. Tvar nádrže modelu je geometricky totožný s nádrží díla, včetně způsobu uchycení centrální trubky. Konstrukčně se nádrž skládá ze tří celků, které

jsou spojeny přírubami. Kuželové dno nádrže muselo být vyrobeno z oceli kvůli dosažení stejného vrcholového úhlu. V úrovni spodního konce centrální trubky je umístěno průhledítko. Další průhledítko je umístěno ve válcové části. Ta už je spolu s horním kuželem vyrobena z mléčného plastu.



Obr. 3: Pohled na experimentální zařízení.

Tab. 1: Výpis základních údajů.

<i>Základní údaje:</i>	
<i>Výška x šířka x délka</i>	3,1 x 1,5 x 1,5 m
<i>Průměr nádrže</i>	1,3 m
<i>Maximální výška hladiny</i>	2,134 m
<i>Průměr centrální trubky</i>	53,1 mm
<i>Maximální objem nádrže</i>	2,3 m ³
<i>Hmotnost zařízení</i>	300 kg
<i>Maximální provozní hmotnost</i>	2 600 kg
<i>Rozsah otáček míchadla</i>	709 - 3546 ot/min

V horním kuželu jsou nad hladinou další 4 příruby, které plní jak funkci průhledítek tak obslužných otvorů. V ose kuželu je pak příruba pro upevnění míchadla. Centrální trubka je z oceli a v nádobě je uchycena pomocí ocelových lan s napínáky (viz obr. 4). Míchadlo je k nádrži propojeno přírubou, jeho hmotnost je ale přenášena pomocnou konstrukcí, která je vytvořena z ocelových montážních nosníků. Pro měření průtoku v centrální trubce byl použit ultrazvukový průtokoměr, jehož senzory jsou upevněny na centrální trubku. Jeho výhodou je, že umožňuje měřit proudění v obou směrech, takže při změně otáček míchadla nebylo nutné celou nádrž rozebírat a senzory otáčet. Uklidňovací úseky před a za průtokoměrem jsou více než desetinasobek průměru trubky, takže lze předpokládat dodrženu přesnost průtokoměru uváděnou výrobcem $\pm 1 \%$.



Obr. 4: Pohled na centrální trubku s napínáky.

Výsledek experimentu

Na postaveném modelu nádrže byla provedena všechna požadovaná měření. Výsledky naměřených hodnot ukázaly, že se shodují se skutečností a že tedy model nádrže byl navržen správně. Zajímavé výsledky byly dosaženy při vizualizaci proudění. Ačkoliv možnosti vizualizace byly kvůli použitým materiálům omezenější, než se původně předpokládalo, přesto se daly pozorovat důležité oblasti nádrže. Díky provedeným vizualizacím jsme získali mnoho podmětů pro další výzkum.

Důležitým přínosem celého experimentu je nalezení a ověření možného způsobů zkoumání hydraulických poměrů ve vyhnívacích nádržích. Tento přístup tak lze aplikovat na řešení podobných problémů, které se nemusí týkat jen technologií čištění odpadních vod, ale i jiných výrobních procesů, kde je obtížné získávat potřebná data.

Závěr

V rámci výzkumných aktivit byl vytvořen model vyhnívací nádrže, který splňuje řadu geometrických kritérií. Podle příkonového kritéria byl pro modelovou nádrž navržen model skutečného míchadla, se kterým pak byla provedena řada měření a vizualizací. Model této nádrže je nyní využíván k testování dalších typů míchadel a pomáhá tak získávat větší představu o skutečných hydraulických poměrech ve vyhnívacích nádržích.

Literatura

- [1] Ministerstvo zemědělství ČR, *Směrnice rady o čištění městských odpadních vod*. [online], [cit. 15. 2. 2017], dostupné z: <eagri.cz/public/web/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/smernice-rady-o-cistenim-mestських/>.
- [2] STRAKA, F., *Bioplyn*. 2. vydání. Praha: GAS s.r.o., 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.
- [3] ŠTAMBASKÝ, J., *Optimalizace stabilizace čistírenských kalů pomocí hydrolytických enzymů: Případová studie*. [online], [cit. 15. 2. 2017], dostupné z: <www.czba.cz/optimalizace-stabilizace-cistirenskych-kalu-pomoci-hydrolytickych-enzymu-pripadova-studie.html>.

- [4] KUČEROVÁ R., FEČKO P., LYČKOVÁ B., *Kalové hospodářství čistírny odpadních vod*. [online], 2010, dostupné z: <homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/khcov.html>.
- [5] KRAMÁŘOVÁ J., *Část českobudějovické čistírny odpadních vod prošla důkladnou kontrolou*. [online], 6. 8. 2008, dostupné z: <www.dvs.cz/clanek.asp?id=6330527>.
- [6] GHANIMEH S. A., SAIKALY P. E., LI D., EL-FADEL M., *Population dynamics during startup of thermophilic anaerobic digesters: The mixing factor*. [online], 2013, dostupné z: <ac.els-cdn.com/S0956053X13002882/1-s2.0-S0956053X13002882-main.pdf?_tid=8a9ae74e-f41d-11e6-a586-00000aacb35f&acdnat=1487232019_bb2c117e6ae172d65d415a591586b052>.
- [7] MEDEK J., *Hydraulické pochody*. 4. vydání, Brno: Akademické nakladatelství Cerm s.r.o., 2004. 339 s. ISBN 80-214-2640-3.