

# ANALÝZA VHODNOSTI MIEŠADIEL NA TEKUTÝ SUBSTRÁT V BIOPLYNOVÝCH STANICIACH

## ANALYSIS OF SUITABILITY OF BLENDERS FOR LIQUID SUBSTRATE IN BIOGAS PLANTS

Marián Fodora, Ján Gaduš, Lukáš Košík

### Abstract

The authors deal in their paper with methods of substrate mixing in biogas plants with wet fermentation, focusing on a biogas plant VPP SPU Ltd. Koliňany. The process of substrate mixing in the given biogas plant is carried out in three main tanks which the most suitable types of blenders were designed in. Main attention is paid to a fermentation tank for digestion, which is designed as a horizontal tank with full-volume mixing, and also to the substrate treatment beginning from its made-up and ending with the final phase of its maturing in a storage tank.

**Key words:** blender, homogenization, substrate, fermentor, biogas plant

### Úvod

Účelom homogenizácie, ktorá je najčastejším dôvodom miešania je dosiahnutie rovnomerného rozptýlenia zložiek alebo teploty v celom objeme premiešavanej zmesi (Hasal, 2007).

Pri navrhovaní BPS je potrebné uvažovať čo najefektívnejšie využitie fermentačného procesu. Správne navrhnutie nádrží pre dennú dávku substrátu zahŕňajúcich predmiešaciu (prípravnú) nádrž, hlavné fermentačné nádrže a skladovacie nádrže (dofermentory). Každá nádrž by mala byť vybavená dostatočne výkonným miešacím zariadením, pre zabezpečenie homogenity zmesi. Miešaním sa podľa Schulza (2003) dosahuje efekt zmiešavania čerstvého substrátu s vyhnívajúcim (očkovanie), efekt rovnomerného rozdelenia tepla vo fermentore, zabraňuje sa vzniku príkrovu a usadenín, zlepšuje sa látková výmena baktérií.

Samotnej produkcii bioplynu predchádza postupná dekompozícia zmesi vstupného substrátu na jednoduchšie látky viacerými skupinami mikroorganizmov. Tieto majú svoje špecifické nároky na prostredie ako aj požiadavky na sprístupnenie potravy resp. živín v podobe substrátu. Homogenizáciou vstupnej hmoty je možné zabezpečiť lepšiu čerpatelnosť zmesi, čo sa využíva pri presúvaní substrátu medzi nádržami a potrubným systémom. Pre posuv zmesi je na začiatku systému zaradené čerpadlo, ktoré tlačí zmes cez potrubie, fermentačnú nádrž a prepádový systém až do skladovacej nádrže.

Pre premiešavanie substrátu v bioplynových zariadeniach sa využívajú mechanické miešadlá, ale aj pneumatické a hydraulické spôsoby premiešavania. Najčastejšie používané zariadenia sú rotačné miešadlá v rôznych vyhotoveniach, ktoré môžu byť pomalobežné alebo rýchlobežné. Dôležité pri navrhovaní miešacieho systému v BPS je správne navrhnutie typu miešadla, polohy miešadla a pohonu resp. výkonu miešadla v závislosti od druhu substrátu a veľkosti nádrže.

### Kontaktná adresa:

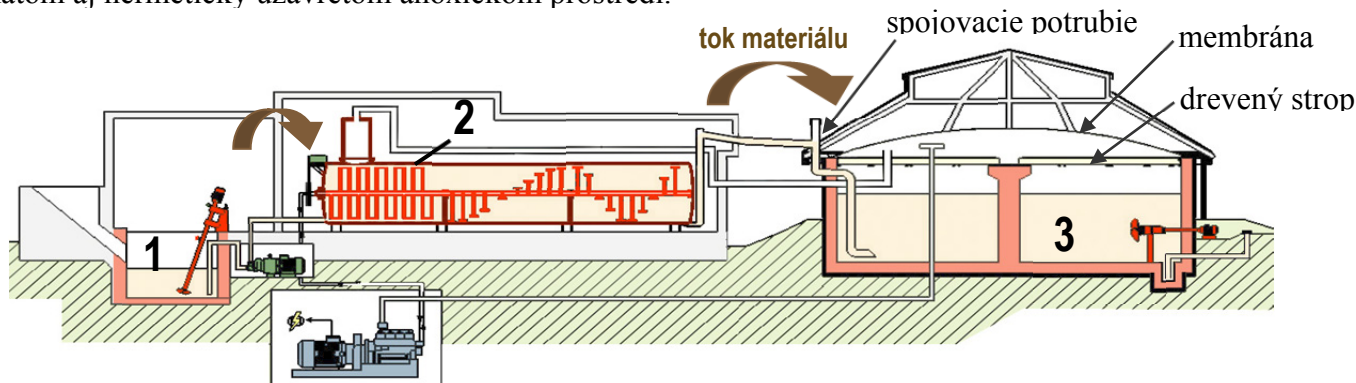
Ing. Marián Fodora, SPU v Nitre, TF, Centrum výskumu obnoviteľných zdrojov energie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, tel. 037-641 4724, prof. Ing. Ján Gaduš, PhD., CVOZE, tel. 037-6414108, Ing. Lukáš Košík, Katedra konštruovania strojov, tel. 037-641 5674



## Materiál a metódy

Miešanie je možné charakterizovať ako hydromechanický proces, pri ktorom dochádza k takému premiestňovaniu častíc, aby výsledkom bolo získanie, resp. zachovanie rovnomernosti rozloženia intenzívnych vlastností miešaného systému. Zvyčajne je pre tento dej potrebný prísun mechanickej energie do systému (Neužil, 1998). Mechanické miešanie sa prevádza v aparátoch, obecne nazývaných miešacie zariadenia s rotačným mechanickým miešadlom, kedy sa vyvoláva nútené prúdenie kvapaliny vo vnútri miešacieho aparátu (Hasal, 2007). Veľmi častými miešadlami pri pohybe ktorých v kvapaline prevláda tvarový odpor proti obtekaniu patria miešadlá vrtuľové a lopatkové (Míka, 1977), úspešne využívané aj bioplynových staniciach.

V zariadení bioplynovej stanice VPP SPU s.r.o. v Koliňanoch sa využívajú pri procese anaeróbnej digescie tri základné nádrže zaradené za sebou ako predmiešacia nádrž, hlavná fermentačná nádrž (horizontálny fermentor) a skladovacia nádrž (dofermentor), ktoré sú vybavené miešadlami. Miešadlá sú realizované ako rýchlobežné vrtuľové miešadlá so sklonenými lopatkami, v systéme je zaradené aj pomalobežné kombinované miešadlo (ramenovo - lopatkové) s vnútorným okruhom vody z chladenia kogeneračnej jednotky. Miešadlá sú vystavené agresívnemu prostrediu najmä v dôsledku pôsobenia amoniaku a sírovodíka, umiestnené v otvorenom kyslíkatom aj hermeticky uzavretom anoxickom prostredí.



Obrázok 1 Usporiadanie nádrží v BPS v Koliňanoch, 1 – Predmiešacia nádrž, 2 – Fermentor, 3 – Skladovacia nádrž

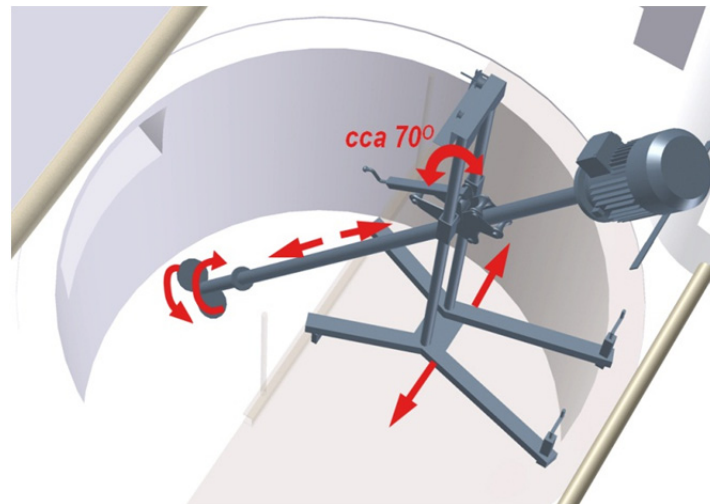
Figure 1 Arrangement of tanks in the biogas plant in Koliňany, 1 –Pre-mixing tank, 2-Fermentor, 3 – Storage tank

## Výsledky a diskusia

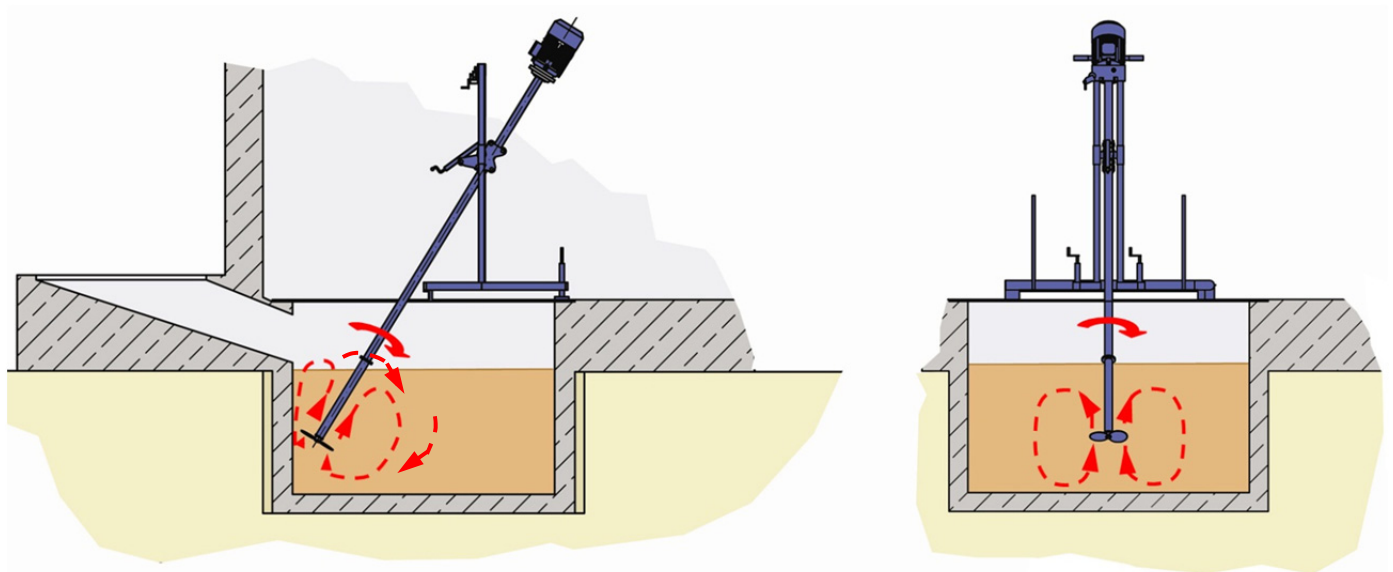
### Predmiešacia nádrž

Predmiešacia homogenizačná nádrž v BPS v Koliňanoch je vybavená násypkou pre vkladanie tekutých aj tuhých vstupných substrátov ako sú hnojovica z ošípaných, maštalný hnoj a slama z podstielkového ustajnenia HD. Zmes týchto vstupov je homogenizovaná rýchlobežným vrtuľovým miešadlom so šikmým vyhotovením s možnosťou zmeny sklonu miešadla a zmeny smeru otáčania vrtule, Obrázok 2. Charakter prúdenia zmesi pri miešaní pri pravotočivých a ľavotočivých otáčkach je zobrazený na Obrázku 3,4.

Na pohon miešadla je použitý elektromotor o výkone 7,5 kW, s otáčkami  $24,166 \text{ s}^{-1}$ . Krútiaci moment je prenášaný priamo na hriadeľ cez tesné pero. Hriadeľ miešadla je uložený v 3 uloženiach so zdvojenými jednoradovými guľičkovými ložiskami. Zmenou smeru otáčania ako aj možnosťou nastavenia sklonu a výšky miešadla je možné zabezpečiť dostatočné premiešanie zmesi, dosiahnuť dostatočnú homogenitu materiálu so sušinou cca 8% čo umožňuje bezproblémové čerpanie substrátu do fermentora. Vstupná nádrž o objeme  $10 \text{ m}^3$  je dopĺňaná v dvojdňových intervaloch, substrát je premiešavaný jedenkrát denne cca 30 minút až 1h. Miešadlo je ovládané manuálne, pričom smerové a výškové nastavovanie miešadla je možné aj počas prevádzky. Pri odstavení miešadla je možný čiastočný pohyb do strán čo rozširuje možnosti lepšieho premiešania.



Obrázok 2 Možnosti nastavenia vrtuľového miešadla v predmiešacej nádrži  
Figure 2 Possibility of a propeller stirrer adjustment of in the pre-mixing tank

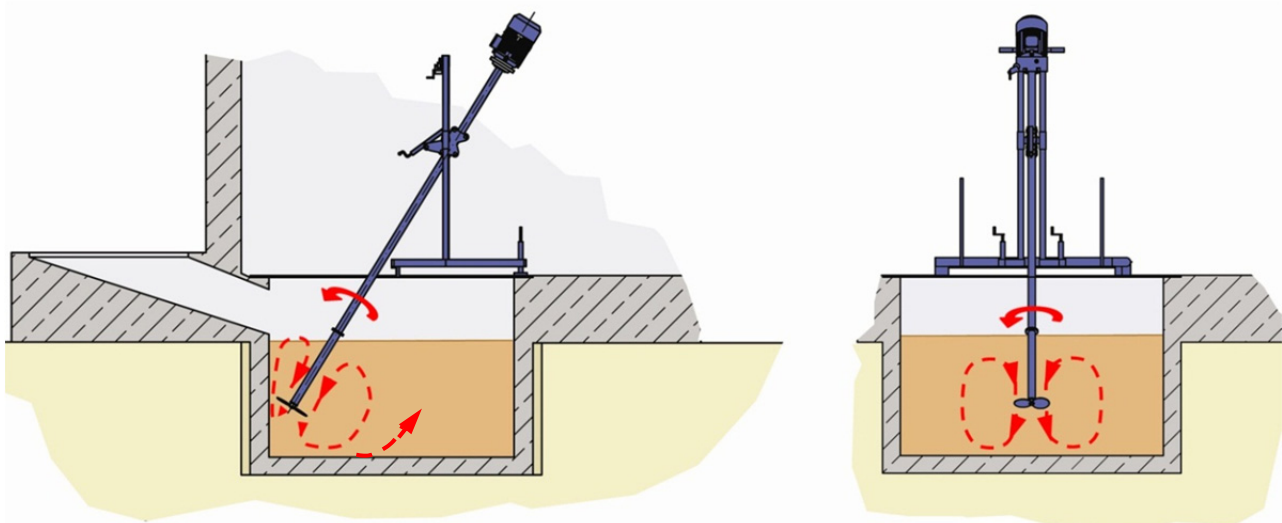


Obrázok 3 Premiešavanie substrátu v predmiešacej nádrži pri ľavotočivých otáčkach  
Figure 3 Substrate mixing in the pre-mixing tank using the left-handed revolution

### Fermentor

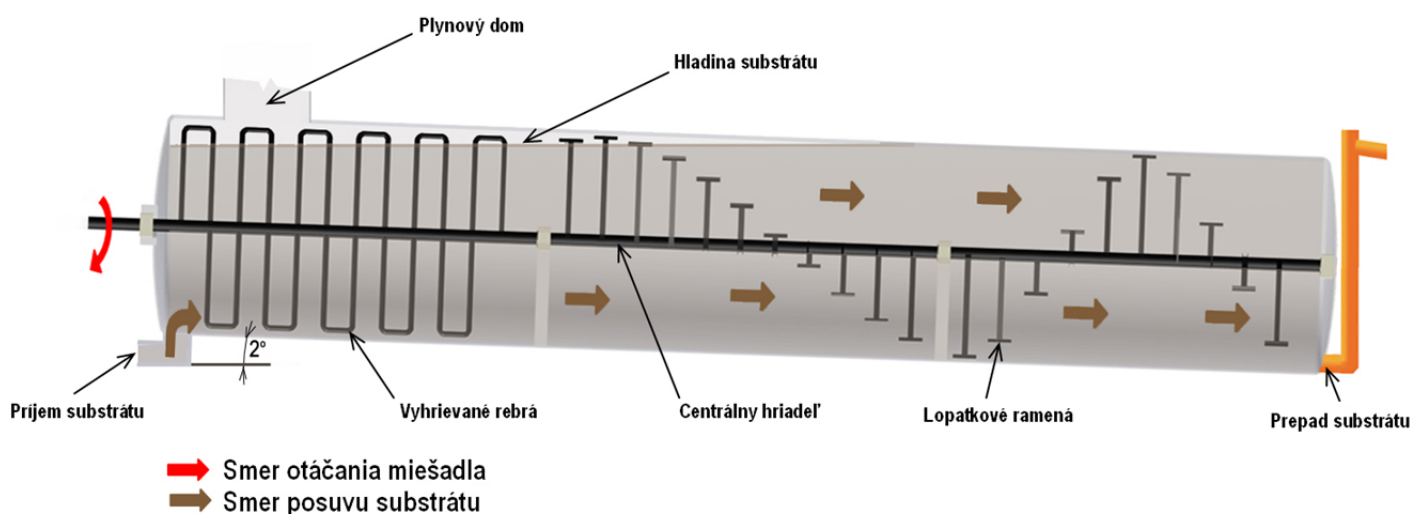
Ako anaeróbny reaktor na mokrú fermentáciu sa v BPS VPP SPU s.r.o. v Koliňanoch využíva horizontálny valec s axiálnym pomalobežným miešadlom vyhotoveným tak, aby vo fermentore dochádzalo k pozitívnemu piestovému prúdeniu toku materiálu.

Pri prietokových horizontálnych fermentoroch s centrálnym miešadlom, akým je aj fermentor v Koliňanoch, je hriadeľ miešadla spravidla osadený v prednej a zadnej časti fermentora, v prípade potreby je vkladané ďalšie uloženie v klzných ložiskách. Miešadlo je tvorené rotačným dutým hriadeľom s ramenami, ktoré sú v prvej tretine nádrže tvorené spojeným potrubím vyhrievaným vodou z chladiaceho okruhu kogeneračnej jednotky, v ostatnej časti dĺžky hriadeľa miešadlo tvoria ramená z U profilov ukončené lopatkou, uložené na skrutkovici tak aby bol zabezpečený nízky odpor pri prekonávaní vznikajúceho príkrovu alebo



Obrázok 4 Premiešavanie substrátu v predmiešacej nádrži pri pravotočivých otáčkach  
Figure 4 Substrate mixing in the pre-mixing tank using the right-handed revolution

usadených častíc (ramená vstupujú do príkrovu postupne). Fermentor v BPS v Kolíňanoch je vyhrievaný po celej dĺžke, nakoľko okruh vody z prednej časti ramien fermentora prechádza do dutého hriadeľa s dvomi komorami až na koniec fermentora. V zadnej časti fermentora ohrevová voda odchádza vnútornou komorou naspäť aby uzavrela okruh chladenia motora. Pri tomto type fermentora (horizontálny fermentor) dochádza pri miešaní substrátu k pozitívnemu piestovému prúdeniu, nedochádza k intenzívnemu prenikaniu fáz, nakoľko prúdenie pri rotácii ramien pôsobí najmä vertikálne (Schulz, 2003). Piestové prúdenie tuhých častíc môže napomáhať postupnému odstraňovaniu kyselín produkovaných v stredných fázach procesu rozkladu počas transportu substrátu a zamedziť náhle acidifikácii. Tento systém vykazuje uspokojivú schopnosť vysporiadať sa s možnou acidifikáciou (Marchaim, 1992). K ďalšiemu premiešavaniu substrátu dochádza pri uvoľňovaní bioplynu, ktorý stúpa smerom nahor čo nastáva samovoľne. Fermentor je uložený pod určitým uhlom ( $1 - 2^{\circ}$ ), aby mohol vznikajúci plyn v najvyššej polohe odchádzať a hromadiť sa v plynovom dome Obrázok 5.



Obrázok 5 Vyhotovenie horizontálneho fermentora  
Figure 5 A horizontal fermentor construction



Premiešavanie substrátu vo fermentore je plne automatické v hodinových intervaloch s dobou premiešavania 15 minút. Krútiaci moment je prenášaný z elektromotora cez reťazový prevod priamo na hriadeľ fermentora. Otáčky miešadla sú  $0,166 \text{ s}^{-1}$ . Pri poruche sa miešacie zariadenie vypne čo zabezpečuje snímač otáčok reťazového kolesa. Nakoľko je substrát do uzavretého fermentora dopravovaný čerpadlom s rotačnými piestami, nepredpokladá sa prienik väčších pevných častí (oceľ, kamene atď.), ktoré by mohli zapríčiniť zastavenie miešadla z dôvodu zaseknutia, môže však nastať zvýšený odpor proti otáčaniu miešadla vytvorením príkrovu na hladine miešanej zmesi, alebo zvýšenou tvorbou usadenín. Pri zastavení miešadla z dôvodu vysokého odporu proti otáčaniu, je možné zmenou smeru otáčania hriadeľa v manuálnom režime postupne príkrov alebo usadené časti rozrušiť.

Výhodou využitia takéhoto typu miešania v horizontálnom fermentore je možnosť premiešavať aj veľmi náročné substráty s obsahom sušiny až do 20 %, je možný rovnomerný ohrev miešanej zmesi ako aj vyššie uvedené piestové prúdenie. Nevýhody sa vzťahujú vo väčšej miere k spôsobu vyhotovenia fermentora ako celku. Nevýhody horizontálneho uloženia podľa Kratochvílovej (2009) spočívajú najmä v náročnosti na stavebné miesto v porovnaní s vertikálnym vyhotovením, vznikajú veľké straty tepla z dôvodu relatívne veľkého povrchu fermentora, pri fermentácii nie je možné spontánne očkovanie čerstvého substrátu a pod. Z hľadiska miešania je relatívne dlhý hriadeľ namáhaný na vzper a dochádza k výraznému opotrebovaniu uloženia. Klzné ložiská musia byť vyrobené ako samomazné, z materiálov odolných voči agresívnemu prostrediu, ktorý v BPS v Koliňanoch tvorí prevažne hnojovica. Miešadlo vo fermentore v BPS v Koliňanoch je uložené v štyroch klzných ložiskách, ktoré sú vyhotovené z tvrdého plastu. Ich výmena pri silnom opotrebení resp. poškodení je z technologického aj časového hľadiska veľmi náročná (je potrebná odstávka fermentora s vyprázdnením substrátu).

#### Skladovacia nádrž

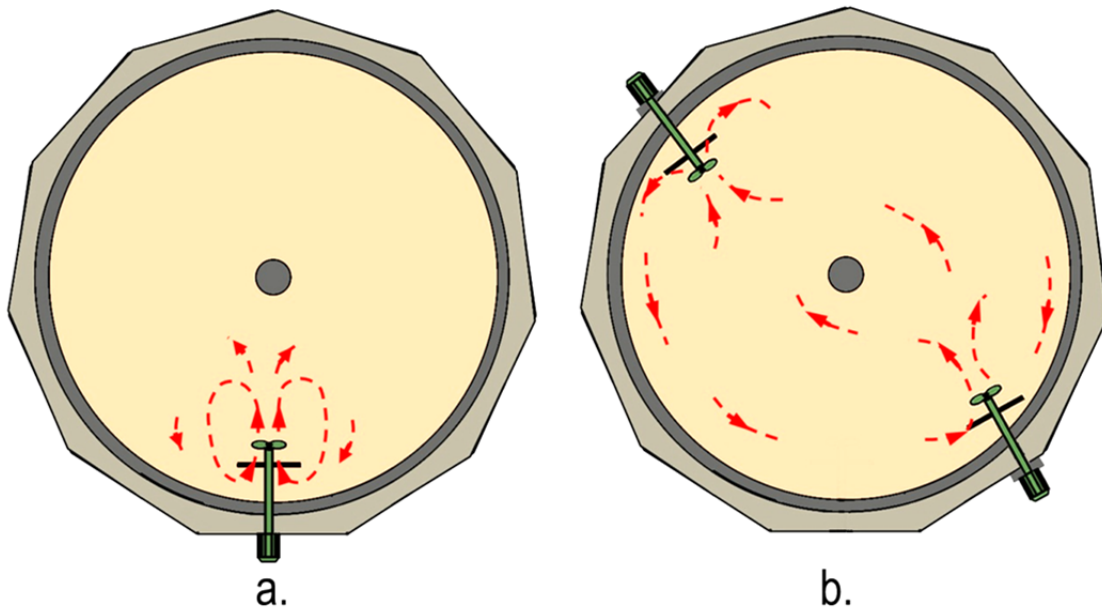
Skladovacia nádrž je vyhotovená ako betónová vertikálna nádrž objemu  $600 \text{ m}^3$ , ktorá je polozapustená do zeme. Zateplená je z vonkajšej časti extrudovaným polystyrénom. Vrch nádrže je zakrytý plynotesnou membránovou fóliou, ktorá spolu s priestorom nad hladinou substrátu vytvára plynojem Obrázok 6. Skladovacia nádrž je prepojená s prepacom z horizontálneho fermentora tak, aby pri plnení fermentora z predmiešacej nádrže čerpadlom, substrát z koncovej časti fermentora prechádzal cez prepacové potrubie do skladovacej nádrže. Substrát vchádza do skladovacej nádrže cez sifónový potrubný systém, hladina substrátu v nádrži je udržiavaná nad vstupným potrubím substrátu, aby nedochádzalo k úniku plynu Obrázok 6. Skladovacia nádrž nazývaná aj dofermentor, slúži na uskladnenie vyfermentovanej časti z fermentora ako aj na dokončenie rozkladacích procesov. Zmes v nádrži je uskladnená cca po dobu 180 dní, následne je v určených agrotechnických termínoch vyskladňovaná a substrát je vyvážaný na pole. Substrát je náchylný na tvorbu príkrovu, ktorý pri nedostatočnom miešaní môže dosahovať až niekoľko desiatok centimetrov. Pri kritickom stave tvorby príkrovu môže dôjsť až k narušeniu stropnej časti tvorenej drevenými hranolmi.



Obrázok 6 Príkrov v skladovacej nádrži vytvorený pri nedostatočnom miešaní  
Figure 6 Biomass sheet in a storage tank produced by insufficient mixing



V skladovacej nádrži v BPS VPP SPU s.r.o. v Kolíňanoch je inštalované vrtuľové miešadlo s vodorovným uložením. Za bežných podmienok pri miešaní substrátu dochádza síce v nádrži k udržiavaniu tekutej zmesi, v prípade substrátu náchylného na tvorbu príkrovu je však toto nedostatočné ako znázorňuje Obrázok 7a. Na Obrázku 7b je zobrazené možné uloženie dvojice vrtuľových miešadiel, nasadením ktorých by mohlo byť dosiahnuté dostatočné premiešanie substrátu a potlačenie tvorby príkrovu aj pri náchylnejších zmesiach.



Obrázok 7 Spôsob prúdenia substrátu pri miešaní v skladovacej nádrži a) súčasné vyhotovenie, b) možná varianta s dvomi miešadlami

Figure 7 Substrate flow in a storage tank during its mixing a) current construction, b) alternative version with two blenders



Obrázok 8 Uloženie miešadla horizontálneho fermentora, rýchlobežné vrtuľové miešadlo z predmiešacej nádrže  
Figure 8 Bearing of a horizontal fermentor blender, pre-mixing tank high-speed propeller stirrer



## Záver

Miešacie zariadenie z dôvodu optimálnej spotreby energie by malo byť prispôbené rozmerom nádrže a vlastnostiam substrátu (Schulz, 2003). Okrem vyššie uvedených spôsobov miešania v dnešnej dobe existuje množstvo iných aplikácií miešadiel pre bioplynové stanice, v závislosti od veľkosti nádrží, typu miešaného substrátu, spôsobu vyhotovenia nádrží (vertikálne, horizontálne a vežové). Bioplynové stanice, ktoré sú v súčasnosti projektované na výkony cca 1 MW a fermentory s objemom niekoľko tisíc m<sup>3</sup> sú vyhotovované najčastejšie ako vertikálne zapustené alebo polozapustené nádrže s minimálne dvomi miešadlami pre jednu nádrž. Na dostatočné premiešavanie tekutého substrátu (sušina do 10 %) v takýchto BPS sa úspešne využívajú pomalobežné lopatkové miešadlá (fermentačný priestor uzatvára plynová membrána nad fermentorom) alebo rýchlobežné ponorné, nastaviteľné miešadlá (pri pevnej streche fermentorov).

## Použitá literatúra

1. Marchaim U. 1992. Biogas processes for sustainable development. MIGAL Galilee Technological Centre Kiryat Shmona, Israel. ISBN 92-5-103126-26 Dostupné na internete: (<http://www.scribd.com/doc/18240186/Biogas-Processes-for-Sustainable-Development>)
2. Schulz, H., Eder, B. 2004. Bioplyn v praxi. 1. vyd. Ostrava : HEL, 2004. 168 s. ISBN 80-86167-2
3. Hasal P. a kol. 2007. Chemické inženýrství I. 2. vyd. Praha : VŠCHT Praha, 2007. 350 s. ISBN 978-80-7080-002-21-6.
4. Míka V. 1977. Základy chemického inženýrství. Praha : STNL, 1977. 872 s.
5. Nežil L., Míka V. 1998. Chemické inženýrství I. Praha : VŠCHT Praha, 1998. 464 s. ISBN 80-7080-312-6
6. Kratochvílová Z. a kol. 2009. Průvodce výrobou a využitím bioplynu. CZ Biom - České sdružení pro biomasu, Praha 2009. Dostupné na internete: ([http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce\\_vyrobou\\_vyuzitim\\_bioplynu\\_2.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf))

## Súhrn

V článku sa autori venujú metódam premiešavania substrátu v bioplynových staniach s tekutou fermentáciou so zameraním na BPS v Koliňanoch. Proces premiešavania substrátu je v danej BPS sústredený v troch hlavných nádržiach, kde boli navrhnuté najvhodnejšie typy miešadiel pre danú BPS. Pozornosť je venovaná najmä hlavnému priestoru na vyhniavanie vo fermentačnej nádrži, ktorá je riešená ako horizontálna nádrž s celoobjemovým miešaním, ale aj dôkladnej príprave substrátu od jeho naskladňovania až po konečnú časť zrenia v skladovacej nádrži.

**Kľúčové slová:** miešadlo, homogenizácia, substrát, fermentor, bioplynová stanica