

Posouzení možností anaerobního zpracování vybraných potravinářských odpadů a biskvitové moučky

**Ing. Kateřina CHAMRÁDOVÁ, Ing. Jiří RUSÍN Ph.D.
Prof. Ing. Karel OBROUČKA, CSc. Ing. Barbora Grycová**

VŠB-TU Ostrava, Centrum environmentálních technologií-9350, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava Poruba,
katerina.chamradova@vsb.cz, tel. +420 597 326 431, jiri.rusin@vsb.cz, tel. +420 597 326 132, karel.obroucka@vsb.cz,
+420 597 323 462, barbora.grycova@vsb.cz, tel. +420 597 326 492.

Abstrakt:

Článek je zaměřen na modelové ověření technologie mezofilní (40°C) anaerobní kofermentace hovězí kejdy s odpadním těstem, odpadní oplatkovou hmotou a biskvitovou moučkou, s cílem zvýšení energetické efektivity procesu. Modelové anaerobní procesy byly vedeny v modelových fermentorech každý o reakčním objemu 0,06 m³. Složení bioplynu bylo analyzováno pomocí infračerveného analyzátoru BINDER COMBIMASS Ga-m1. Rozdíly mezi produkcemi bioplynu respektive methanu tří testovaných odpadů jsou malé. Nejvyšší měrné produkce methanu bylo dosaženo při kofermentaci hovězí kejdy s 20 % odpadního těsta při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami 1,703 kg_{VS}·m⁻³·d⁻¹ a průměrné době zdržení 95 dní bylo produkováno 84 dm_N³·d⁻¹ bioplynu, respektive 49 dm_N³·d⁻¹ methanu.

1 Úvod

Centrum environmentálních technologií VŠB-TU Ostrava ve spolupráci s firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a.s. řeší v letech 2007 až 2010 projekt získaný ve veřejné soutěži IMPULS vyhlášené Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR. Projekt s evidenčním číslem FI-IM4/215 [1] je zaměřen na výzkum a vývoj nových technologií kofermentace zemědělských odpadů a dalších biogenních materiálů s cílem zvýšení energetické a ekonomické efektivity procesu. V první etapě projektu je prováděna modelová anaerobní kofermentace hovězí kejdy s řadou organických kosubstrátů (biologicky rozložitelných odpadů, odpadních vod, záměrně pěstovanou biomasou) s cílem získání poznatků o vlivu jejich přídavku na produkci bioplynu respektive methanu. Přitom jsou sledovány vlastnosti a složení digestátu s cílem zjistit, zda přídavky kosubstrátu zvyšují problematičnost využití digestátu ke hnojení zemědělských pozemků případně pro jiné způsoby využití. V tomto příspěvku je diskutována modelová anaerobní kofermentace odpadů z potravinářského průmyslu (výroby cukrovinek). Byla provedena kofermentace odpadního těsta s hovězí kejdou, odpadní oplatkové hmoty (dále jen oplatky) s hovězí kejdou a biskvitové moučky s hovězí kejdou. Odpady z výroby cukrovinek byly získány z firmy CERVUS, s.r.o. Olomouc, která se zabývá zpracováním potravinářských odpadů především z cukrářských výrob na biskvitovou moučku (obchodní název EKPO). Původce odpadu (firma Opavia - LU, s.r.o. Opava) zařadil tyto odpady pod katalogové číslo 020601 (Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování).

V současné době obě zmíněné firmy hledají nové možnosti využití biologicky rozložitelných odpadů kromě dosud uplatňovaného kompostování či pouhého ukládání na skládku. Odpadních těst a oplatkové hmoty podobného charakteru v ČR vzniká měsíčně několik set tun. Značná část je spolu s odpadní čokoládovou hmotou používána pro výroby biskvitové moučky (aditivum do krmných směsí pro dobytek).

Biskvitová moučka je materiál s vysokým obsahem anaerobně snadno rozložitelných látek (škroby, jednoduché sacharidy, lipidy, proteiny). Anaerobní digesce mokrou cestou se zde jeví jako perspektivní způsob využití. V tabulce 1 je uvedeno složení použité hovězí kejdy, jednotlivých kosubstrátů a modelových vstupních směsí.

Tabulka 1: Průměrné složení hovězí kejdy, kosubstrátů a vstupních směsí

Parametr	Jednotka	Hovězí kejda	Odpadní těsto	Vstupní směs s 10 % odpadního těsta	Vstupní směs s 20 % odpadního těsta	Odpadní oplatková hmota	Vstupní směs s 10 % oplatkové hmoty	Vstupní směs s 20 % oplatkové hmoty	Biskvitová moučka	Vstupní směs s 10% biskvitové moučky	Vstupní směs s 20% biskvitové moučky
pH	-	7,2	7,9	4,1	4,8	7,0	3,9	4,8	5,4	4,0	4,6
Celková sušina	%hm. vzorku	7,5	83,0	13,0	17,3	90,7	13,3	19,1	95,3	12,6	21,6
Spalitelné látky	% hm. sušiny	80,0	98,0	89,5	83,6	99,0	91,2	92,0	94,0	86,2	82,8
Celkový uhlík	% sušiny	38,0	41,3	45,6	38,6	43,3	43,2	44,0	45,7	41,3	39,5
Celkový org. uhlík	% sušiny	35,1	41,0	44,9	36,2	42,4	42,7	43,0	45,2	40,4	37,1
Poměr C:N:P	-	44:7,3:1	-	85:7,8:1	-	-	115:5,5:1	-	-	87:19,0:1	-
CHSK _{Cr}	mg/dm ³ vzorku	79560	-	133000	213000	-	162000	239000	-	167000	205500
Lipidy	% sušiny	3,2	12,4	11,6	5,0	0,8	4,2	5,3	7,4	6,8	4,0
Síra celková	% sušiny	0,46	0,05	0,28	0,38	0,05	0,26	0,20	0,08	0,29	0,38
Dusík celkový	% sušiny	5,83	1,48	3,41	4,96	1,79	2,95	3,47	1,62	3,21	4,99
Dusík amoniakální	mg/kg sušiny	21427	120	12100	17165	232	14800	16500	420	12100	17225

Poznámka: Byl analyzován omezený počet vzorků jednotlivých vstupních směsí (1 až 2 vzorky). U hovězí kejdy se jedná o průměrné hodnoty zjištěné za celou dobu výzkumného projektu. Je uveden poměr celkových obsahů prvků C, N, P.

2 Metodika

Experimentální práce byly realizovány na několika kontinuálních modelových anaerobních fermentorech o shodném reakčním objemu 60 dm³. Kontinuální testy byly sledovány po dobu několika měsíců. Fermentační teplota byla zvolena v mesofilní oblasti (40 °C ± 3 °C). Jako základní substrát (zároveň inokulum pro zapracování fermentoru) byla zvolena hovězí kejda o průměrném obsahu celkové sušiny 8 % hm., průměrném obsahu organických látek v sušině 80 % hm., CHSK_{Cr} 80000 mg.dm⁻³, pH 7,2, je materiál dlouhodobě úspěšně využíván jako nosný substrát v referenční zemědělské bioplynové stanici firmy VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a.s. v Pustějově. [2]

Každý modelový fermentor je kontinuálně pomaloběžně míchán, pravidelně denně (s výjimkou víkendů a státních svátků) doplňován čerstvou dávkou vstupní směsi (nejprve dávkou hovězí kejdy, poté postupně dávkou kejdy se zvyšujícím se obsahem kosubstrátu). Odpovídající objem digestátu je denně odpouštěn a pravidelně analyzován. Podrobně je sledována především produkce bioplynu a jeho složení (obsah methanu, oxidu uhličitého, sulfanu, kyslíku). Analýza složení bioplynu je prováděna přenosným analyzátozem BINDER COMBIMASS Ga-m1 s infračerveným senzorem pro měření obsahu CH₄ (0 až 100 % obj.), CO₂ (0 až 100 % obj.), elektrochemickým senzorem pro měření obsahu O₂ (0 až 25 % obj.) a H₂S (0 až 0,5 % obj.) a byla denně realizována po celou dobu sledování anaerobního procesu. Vypočteny jsou měrné produkce bioplynu respektive methanu [3].

Podíl kosubstrátu (odpadního těsta, odpadní oplatkové hmoty respektive biskvitové moučky) byl zvolen v závislosti na jeho složení (především obsahu celkové sušiny, CHSK, pH, poměru C:N) a navyšován z 10 % (0,1 kg.dm⁻³) na 20 % (0,2 kg.dm⁻³) teprve poté, až je dlouhodobě dosaženo stabilní produkce bioplynu (aby nedocházelo k přetěžování fermentoru). Vznikající digestát byl pravidelně odebírán a testován na obsah celkové sušiny, obsah organických látek, obsah celkového organického uhlíku, obsah celkového, amoniakálního a dusičnanového dusíku, těžké kovy, nižší mastné kyseliny. Rovněž byly provedeny i bakteriální rozborů, viz tabulka 5.

3 Výsledky jejich diskuze

A) Kofermentace hovězí kejdy a odpadního těsta

Po přibližně čtrnáctidenním zapracování modelu na hovězí kejdu byla dávkována vstupní směs 90 % hovězí kejdy a 10 % odpadního těsta (*období a*). Vstupní směs o průměrné sušině 13 % hm. a měrné hmotnosti 1033 kg.m^{-3} byla dávkována 41 dnů. Při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami $1,355 \text{ kg}_{\text{VS}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a průměrné době zdržení 90 d bylo produkováno $73 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ bioplynu, respektive $44 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ methanu. Produkce methanu vztažená na jednotku objemu reaktoru byla průměrně $0,731 \text{ m}_N^3.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedených organických látek vyšla průměrně $0,539 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSo}}^{-1}$ a produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek vyšla průměrně $0,723 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSp}}^{-1}$. Rozdíl obsahu organických látek ve vstupní směsi a v digestátu byl v tomto období zjištěn průměrně 8,8 % hm. vzorku, z čehož vychází účinnost odstranění organických látek anaerobním procesem 75 %.

Vstupní směs 80 % hovězí kejdy a 20 % odpadního těsta (*období b*) o průměrné sušině 17,3 % hm. a měrné hmotnosti 1026 kg.m^{-3} byla dávkována 84 dnů. Při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami $1,703 \text{ kg}_{\text{VS}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a průměrné době zdržení 95 d bylo produkováno $84 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ bioplynu, respektive $49 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ methanu. Produkce methanu vztažená na jednotku objemu reaktoru byla průměrně $0,822 \text{ m}_N^3.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedených organických látek vyšla průměrně $0,483 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSp}}^{-1}$ a produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek vyšla průměrně $0,616 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSo}}^{-1}$. Rozdíl obsahu organických látek ve vstupní směsi a v digestátu byl v tomto období zjištěn průměrně 12,4 % hm. vzorku, z čehož vychází účinnost odstranění organických látek anaerobním procesem 78 %. Průměrné hodnoty naměřených a vypočtených parametrů za jednotlivá kofermentační období jsou uvedeny v tabulce 2. Graficky je průběh znázorněn v grafu na obrázku 1.

B) Kofermentace hovězí kejdy a odpadní oplatkové hmoty

Po přibližně čtrnáctidenním zapracování modelu na hovězí kejdu byla dávkována vstupní směs 90 % hovězí kejdy a 10 % oplatků (*období a*). Vstupní směs o průměrné sušině 14,4 % hm. a měrné hmotnosti 1023 kg.m^{-3} byla dávkována 36 dnů. Při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami $1,562 \text{ kg}_{\text{VS}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a průměrné době zdržení 86 d bylo produkováno $74 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ bioplynu, respektive $43 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ methanu. Produkce methanu vztažená na jednotku objemu reaktoru byla průměrně $0,716 \text{ m}_N^3.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedených organických látek vyšla průměrně $0,458 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSp}}^{-1}$ a produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek vyšla průměrně $0,607 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSo}}^{-1}$. Rozdíl obsahu organických látek ve vstupní směsi a v digestátu byl v tomto období zjištěn průměrně 10,0 % hm. vzorku, z čehož vychází účinnost odstranění organických látek anaerobním procesem 76 %.

Vstupní směs 80 % hovězí kejdy a 20 % oplatků (*období b*) o průměrné sušině 19,1 % hm. a měrné hmotnosti 1020 kg.m^{-3} byla dávkována 84 dnů. Při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami $1,897 \text{ kg}_{\text{VS}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a průměrné době zdržení 95 d bylo produkováno $73 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ bioplynu, respektive $43 \text{ dm}_N^3.\text{d}^{-1}$ methanu. Produkce methanu vztažená na jednotku objemu reaktoru byla průměrně $0,722 \text{ m}_N^3.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedených organických látek vyšla průměrně $0,380 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSp}}^{-1}$ a produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek vyšla průměrně $0,490 \text{ m}_N^3.\text{kg}_{\text{VSo}}^{-1}$. Rozdíl obsahu organických látek ve vstupní směsi a v digestátu byl v tomto období zjištěn průměrně 13,8 % hm. vzorku, z čehož vychází účinnost odstranění organických látek anaerobním procesem 78 %. Průměrné hodnoty naměřených a vypočtených parametrů za jednotlivá kofermentační období jsou uvedeny v tabulce 3. Graficky je průběh znázorněn v grafu na obrázku 2.

C) Kofermentace hovězí kejdy a biskvitové moučky

Po přibližně čtrnáctidenním zapracování modelu na hovězí kejdu byla dávkována vstupní směs 90 % hovězí kejdy a 10 % biskvitové moučky (*období a*). Vstupní směs o průměrné sušině 12,6 % hm. a měrné hmotnosti 1031 kg.m^{-3} byla dávkována 42 dnů. Při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami $1,309 \text{ kg}_{\text{VS}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a průměrné době zdržení 87 d bylo produkováno $53 \text{ dm}_\text{N}^3.\text{d}^{-1}$ bioplynu, respektive $31 \text{ dm}_\text{N}^3.\text{d}^{-1}$ methanu. Produkce methanu vztažená na jednotku objemu reaktoru byla průměrně $0,523 \text{ m}_\text{N}^3.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedených organických látek vyšla průměrně $0,399 \text{ m}_\text{N}^3.\text{kg}_{\text{VSp}}^{-1}$ a produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek vyšla průměrně $0,555 \text{ m}_\text{N}^3.\text{kg}_{\text{VSo}}^{-1}$. Rozdíl obsahu organických látek ve vstupní směsi a v digestátu byl v tomto období zjištěn průměrně 7,9 % hm. vzorku, z čehož vychází účinnost odstranění organických látek anaerobním procesem 72 %.

Vstupní směs 80 % hovězí kejdy a 20 % biskvitové moučky (*období b*) o průměrné sušině 21,6 % hm. a měrné hmotnosti 1057 kg.m^{-3} byla dávkována 84 dnů. Při průměrném zatížení fermentoru organickými látkami $2,168 \text{ kg}_{\text{VS}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ a průměrné době zdržení 95 d bylo produkováno $77 \text{ dm}_\text{N}^3.\text{d}^{-1}$ bioplynu, respektive $45 \text{ dm}_\text{N}^3.\text{d}^{-1}$ methanu. Produkce methanu vztažená na jednotku objemu reaktoru byla průměrně $0,750 \text{ m}_\text{N}^3.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedených organických látek vyšla průměrně $0,346 \text{ m}_\text{N}^3.\text{kg}_{\text{VSp}}^{-1}$ a produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek vyšla průměrně $0,449 \text{ m}_\text{N}^3.\text{kg}_{\text{VSo}}^{-1}$. Rozdíl obsahu organických látek ve vstupní směsi a v digestátu byl v tomto období zjištěn průměrně 15,0 % hm. vzorku, z čehož vychází účinnost odstranění organických látek anaerobním procesem 77 %. Průměrné hodnoty naměřených a vypočtených parametrů za jednotlivá kofermentační období jsou uvedeny v tabulce 4. Graficky je průběh znázorněn v grafu na obrázku 3.

Autoři Ranade a kol. [4] uvádějí pro směsný odpad z produkce oplatků a čokolády produkci bioplynu pouze $0,466 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ (na kilogram odpadu). Této produkce dosáhli při modelové zkoušce s dobou zdržení substrátu 40 d a obsahem celkové sušiny na vstupu 10 % hm. Při době zdržení 30 d zaznamenali okyselování, nadměrnou kumulaci nižších mastných kyselin (přetížení fermentoru).

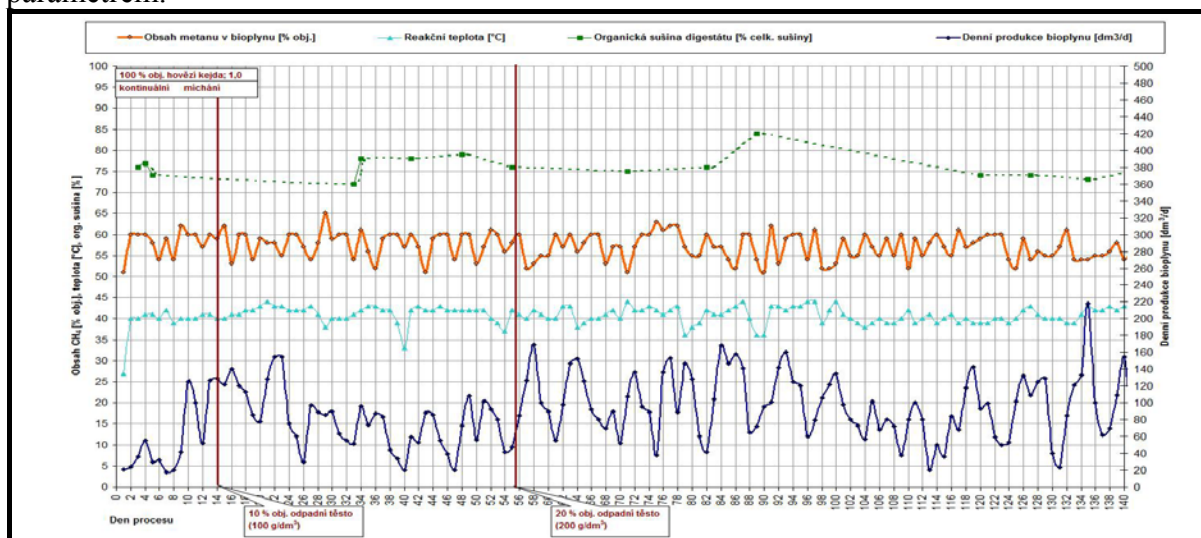
Všechny tři námi prováděné modelové procesy nadále pokračují s přidavkem testovaného kosubstrátu 30 %. V době přípravy tohoto článku byla tato kofermentační období teprve na počátku sledování. Výsledky budou uvedeny v závěrečné zprávě výzkumného projektu za rok 2010.

Složení modelových digestátů

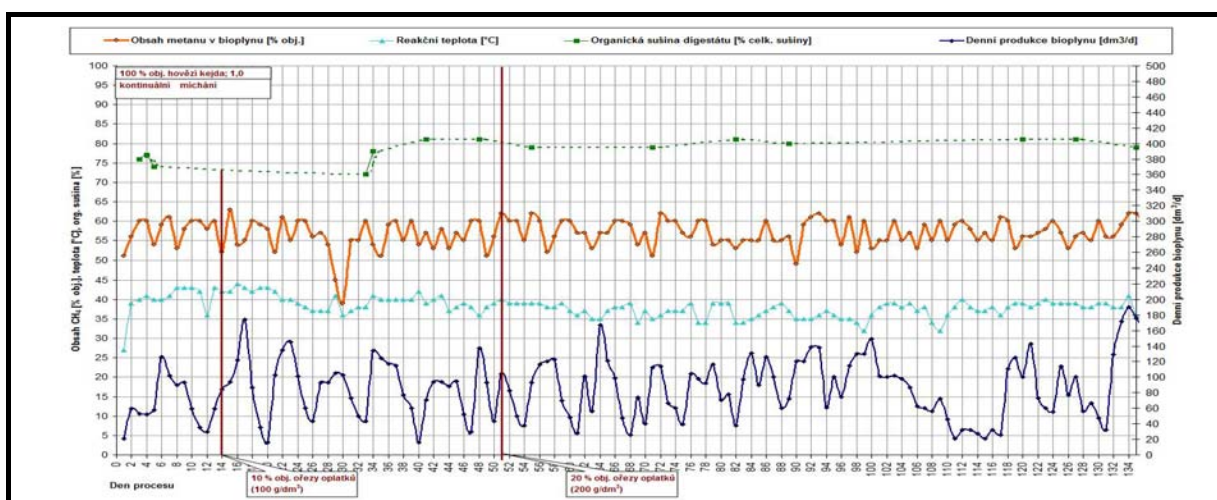
V tabulce 5 jsou uvedeny výsledky analýz odebraných vzorků digestátů. Dle vyhlášky MZe č. 271/2009 Sb. [5] všechny digestáty nesplňovaly limitní hodnoty pro měď, jelikož měď již byla obsažena ve zvýšených koncentracích v samotné hovězí kejdě. Kumulace mědi v kejdě byla způsobena používáním skalice modré při dezinfekci kopyt dobytka. Koncentrace ostatních rizikových prvků (těžké kovy) naměřených v digestátech nepřekročily limitní hodnoty určené vyhláškou. Všechny vzorky digestátů obsahovaly více než 25 % spalitelných látek v sušině a více než 0,6 % celkového dusíku v sušině, lze je tedy považovat za hodnotná organická hnojiva. Analýzy obsahu PCB a dioxinů budou provedeny až v závěru modelování.

Dále bylo provedeno porovnání výsledků rozborů modelových digestátů s legislativními požadavky na digestáty z bioodpadů používané mimo zemědělskou půdu (dle vyhlášky MŽP č. 341/2008 Sb., příloha č. 5, tabulka 5.1) [6]. Z porovnání naměřených hodnot s limitními hodnotami koncentrací vybraných rizikových prvků a látek vyplývá, že problematickým ukazatelem je měď. Kritéria pro kontrolu účinnosti hygienizace sledováním indikátorových mikroorganismů nesplnil digestát s 20 % odpadního těsta, odpadních oplatků, a biskvitové moučky. Při 10 % kosubstrátu digestáty vyhověly.

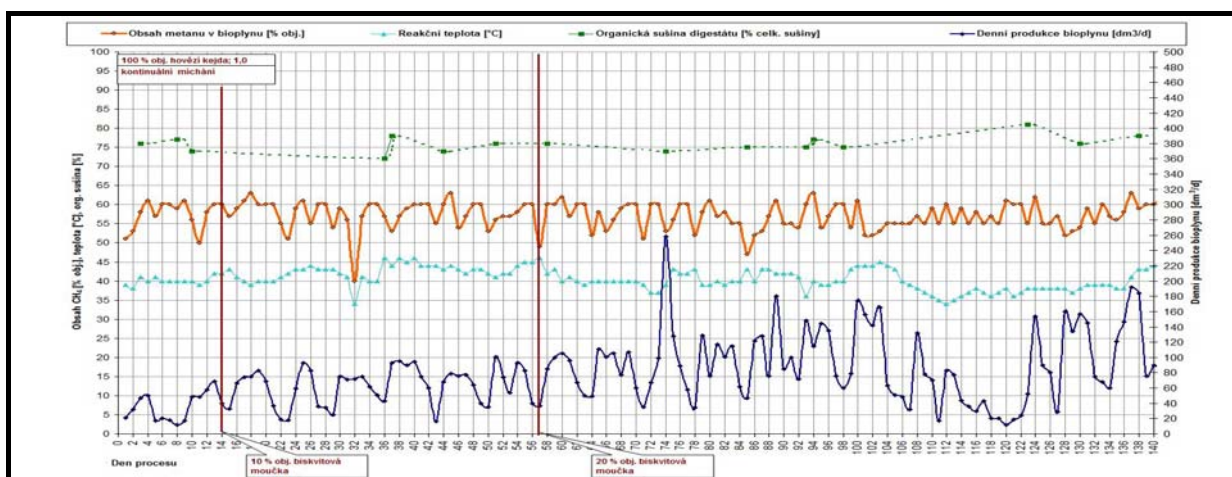
Každý analyzovaný vzorek digestátu splnil znaky jakosti rekultivačního digestátu (tzn. vlhkost max. 98 % hm., celkový dusík min. 0,3 % hm. a pH v rozmezí 6,5-9,0). V případě použití hovězí kejdy z jiného zdroje by mēď nemusela být problematickým parametrem.



Obrázek 1: Kofermentace hovězí kejdy a odpadního těsta směšného



Obrázek 2: Kofermentace hovězí kejdy a odpadní oplatky



Obrázek 3: Kofermentace hovězí kejdy a biskvitové moučky

Tabulka 2 Parametry modelové kofermentace hovězí kejdy s odpadním těstem

PROCES		VSTUPNÍ SMĚS								DIGESTÁT				Produkce bioplynu						η	CH ₄	Produkce methanu				
		D	ρ	Z	HRT	pH	TS	VS	VS _{TS}	pH	TS	VS	VS _{TS}	B _N	B _{TS}	B _o	B _{VSp}	B _{VSo}	B _r			M _N	M _r	M _{VSp}	M _{VSo}	
Teplota	°C	dm ³ .d ⁻¹	% .d ⁻¹	kg.dm ⁻³	kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹	d	-	% hm	-	% hm			dm ³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{TS} ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{VSp} ⁻¹	m ³ .kg _{VSo} ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	%	% obj	dm ³ .d ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{VSp} ⁻¹	m ³ .kg _{VSo} ⁻¹		
Období a: 10 % odpadního těsta směsného, zatížení 1,36 kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹ , doba zdržení 90 d																										
PRŮMĚR	41	0,67	1,11	1,033	1,355	90	4,8	13	12	91	7,9	3,9	3	76	73	0,8	110	0,9	1,2	1,2	75	58	44	0,731	0,539	0,723
Období b: 20 % odpadního těsta směsného, zatížení 1,72 kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹ , doba zdržení 95 d																										
PRŮMĚR	41	0,63	1,05	1,026	1,703	95	4,9	17	16	92	7,8	4,5	3,4	77	84	0,8	133	0,8	1	1,4	78	57	49	0,822	0,483	0,616

Tabulka 3 Parametry modelové kofermentace hovězí kejdy s odpadní oplatkovou hmotou

PROCES	VSTUPNÍ SMĚS								DIGESTÁT				Produkce bioplynu						η	CH ₄	Produkce methanu					
	D	p	Z	HRT	pH	TS	VS	VS _{TS}	pH	TS	VS	VS _{TS}	B _N	B _{TS}	B _o	B _{VSp}	B _{VSo}	B _r			M _N	M _r	M _{VSp}	M _{VSo}		
Teplota	°C	dm ³ .d ⁻¹	% .d ⁻¹	kg.dm ⁻³	kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹	d	-	% hm	-	% hm			dm ³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{TS} ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{VSp} ⁻¹	m ³ .kg _{VSo} ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	%	% obj	dm ³ .d ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{VSp} ⁻¹	m ³ .kg _{VSo} ⁻¹		
Období a: 10 % odpadní oplatkové hmoty, zatížení 1,56 kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹ , doba zdržení 86 d																										
PRŮMĚR	40	0,69	1,16	1,023	1,562	86	4,2	14	13	92	7,9	4,2	3,2	77	74	0,7	107	0,8	1,1	1,2	76	56	43	0,716	0,458	0,607
Období b: 20 % odpadní oplatkové hmoty, zatížení 1,90 kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹ , doba zdržení 95 d																										
PRŮMĚR	38	0,63	1,05	1,020	1,897	95	4,3	19	18	93	7,8	4,9	3,9	80	73	0,6	117	0,7	0,8	1,2	78	57	43	0,722	0,380	0,490

Tabulka 4 Parametry modelové kofermentace hovězí kejdy s biskvitovou moučkou

PROCES		VSTUPNÍ SMĚS								DIGESTÁT				Produkce bioplynu						η	CH ₄	Produkce methanu				
		D		p	Z	HRT	pH	TS	VS	VS _{TS}	pH	TS	VS	VS _{TS}	B _N	B _{TS}	B _o	B _{VSp}	B _{VSo}			B _r	M _N	M _r	M _{VSp}	M _{VSo}
Teplota	°C	dm ³ .d ⁻¹	% .d ⁻¹	kg.dm ⁻³	kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹	d	-	% hm		-	% hm			dm ³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{TS} ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{VSp} ⁻¹	m ³ .kg _{VSo} ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	%	% obj	dm ³ .d ⁻¹	m ³ .m ⁻³ .d ⁻¹	m ³ .kg _{VSp} ⁻¹	m ³ .kg _{VSo} ⁻¹	
Období a: 10 % biskvitové moučky EKPO, zatížení 1,31 kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹ , doba zdržení 87 d																										
PRŮMĚR	42	0,69	1,15	1,031	1,309	87	4,9	13	11	86	7,9	4,2	3,1	75	53	0,6	76	0,7	0,9	0,9	72	58	31	0,523	0,399	0,555
Období b: 20 % biskvitové moučky EKPO, zatížení 2,17 kg _{VS} .m ⁻³ .d ⁻¹ , doba zdržení 95 d																										
PRŮMĚR	40	0,63	1,05	1,057	2,168	95	4,3	22	20	91	7,6	5,9	4,5	76	77	0,5	122	0,6	0,8	1,3	77	57	45	0,750	0,346	0,449

Vysvětlivky značení:

t - průměrná reakční teplota v průběhu modelové anaerobní fermentace	pH - záporně vzatý logaritmus koncentrace oxoniových iontů H ₃ O ⁺
D - průměrná denní dávka vstupní směsi (směsi kosubstrátů se základním substrátem); % objemu reaktoru za den	TS - obsah celkové sušiny stanovený sušením v TGA analyzátoru při 105°C
ρ - průměrná hodnota měrné hmotnosti vstupní směsi	VS - obsah organické sušiny stanovený spalováním v TGA analyzátoru při 800°C
Z - objemové zatížení reaktorního prostoru přivedenými organickými látkami	VS _{TS} - obsah organických látek v celkové sušině
HRT - teoretická hydraulická doba zdržení substrátu v reaktorním prostoru	η - účinnost odstranění přivedených organických látek (vypočteno z rozdílu VS vstupu a výstupu)
B _N - denní produkce suchého bioplynu přepočtená na normální podmínky (0°C; 101,325 kPa)	CH ₄ - obsah metanu ve vlhkém bioplynu (laboratorní podmínky 25°C; 101,350 kPa)
B _{TS} - denní produkce suchého bioplynu na hmotnostní jednotku přivedené celkové sušiny (normální podmínky)	M _N - denní produkce methanu přepočtená na normální podmínky (0°C; 101,325 kPa)
B _o - denní produkce suchého bioplynu na objemovou jednotku spotřebované vstupní směsi (normální podmínky)	M _r - denní produkce methanu na objemovou jednotku reaktorního prostoru (normální podmínky)
B _{VSp} - produkce suchého bioplynu na hmotnostní jednotku přivedených organických látek (normální podmínky)	M _{VSp} - produkce methanu na hmotnostní jednotku přivedených organických látek (normální podmínky)
B _{VSo} - produkce suchého bioplynu na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek (normální podmínky)	M _{VSo} - produkce methanu na hmotnostní jednotku odstraněných organických látek (normální podmínky)
B _r - denní produkce suchého bioplynu na objemovou jednotku reaktorního prostoru (normální podmínky)	

Tabulka 5 Parametry modelových digestátů

Ukazatel	Jednotka	Digestát (10% těsta)	Digestát (20% těsta)	Digestát (10% oplatků)	Digestát (20% oplatků)	Digestát (10% biskvitové moučky)	Digestát (20% biskvitové moučky)
Základní parametry							
Sušina celková	TS, % pův. vzorku	7,5	5,54	4,83	5,03	4,73	5,78
Spalitelné látky (ztráta žháním)	ZŽ, % v sušině	80,0	72,96	79,6	79,1	74,7	73,1
Celkový organický uhlík	TOC, % v sušině	35,1	36,05	39,3	37,8	34,4	35,4
Celkový uhlík	C, % v sušině	37,3	46,1	40,2	38,4	35,5	36,1
Chemická spotřeba kyslíku	CHSK _{Cr} , mg/dm ³ pův.	27000	42000	41000	47000	23000	38000
Kyselinová neutr. kapacita celková	KNK, mmol/dm ³ pův.	253	303	295	265	265	280
pH	pův. vzorku	8,0	8,28	7,95	8,02	7,95	8,03
Lipidy	LIP, % v sušině	1,64	2,15	1,74	1,80	1,65	2,34
Proteiny	PROT, % v sušině	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno
Sacharidy	SACH, % v sušině	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno
Škrob	Š, % v sušině	1,43	1,22	1,35	1,24	1,18	0,62
Vláknina	V, % pův. vzorku	14,7	0,459	0,786	0,482	0,605	0,864
Obsahy živin							
Dusík celkový	N _e , % v sušině	7,61	10,7	8,70	9,50	7,78	7,11
Dusík amoniakální	N _{NH4+} , mg/kg v suš.	55300	64900	54000	43700	51400	43300
Dusík dusičnanový	N _{NO3-} , mg/kg v suš.	505	545	536	469	487	428
Fosfor	P _e , mg/kg v sušině	5590	10800	6290	8350	9940	8150 !
Vápník	Ca, % v sušině	4,0	3,62	2,27	2,35	36,6	1,33
Draslík	K, % v sušině	4,15	4,10	4,19	4,51	44,3	5,00
Hořčík	Mg, % v sušině	0,714	1,15	0,839	0,954	1,1	0,433
Síra celková	S _e , g/kg v sušině	4,69	5,26	4,40	4,46	5,55	4,77
Rizikové prvky							
Arsen	As, mg/kg v sušině	1,41	1,54	1,37	1,18	1,60	1,47
Kadmium	Cd, mg/kg v sušině	0,51	0,39	0,49	0,57	0,44	0,24
Chrom	Cr, mg/kg v sušině	10,4	12,3	9,99	9,19	18,1	17,2
Měď	Cu, mg/kg v sušině	616	938	449	326	758	781
Rtuť	Hg, mg/kg v sušině	0,017	0,057	0,032	0,029	0,038	0,039
Nikl	Ni, mg/kg v sušině	10,3	10,3	11,9	10,7	15,5	15,2
Olovo	Pb, mg/kg v sušině	5,78	3,4	6,9	2,5	6,56	2,5
Zinek	Zn, mg/kg v sušině	390	457	367	365	506	219
Absorbovatelné org. halogeny	AOX, mg/kg v sušině	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno
Nižší mastné kyseliny							
Kyselina mléčná	mg/kg pův. vzorku	578	508	496	363	563	466
Kyselina octová	mg/kg pův. vzorku	160	1160	<100	679	<100	498
Kyselina propionová	mg/kg pův. vzorku	<152	<100	<100	<100	110	180
Kyselina másečná	mg/kg pův. vzorku	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Kyselina valerová	mg/kg pův. vzorku	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Indikátorové mikroorganismy							
Enterokoky	KTJ/g v sušině	5 x 10 ¹	8,41x10 ³	<5x10 ¹	1,19x10 ⁴	<5x10 ¹	8,65x10 ³
Termotolerantní kolif. bakterie	KTJ/g sušině	5 x 10 ¹	2,4x10 ³	<5x10 ¹	<5x10 ¹	<5x10 ¹	<5x10 ¹
Salmonella	nález	Negativ	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní
Důkazové testy Salmonella	nález	Negativ	negativní	negativní	negativní	negativní	negativní
Celkový počet mikroorganismů	CPM, KTJ/g pův. hm.	3,5x10 ⁵	3,5x10 ⁵	3x10 ⁵	9x10 ⁵	5x10 ⁵	8x10 ⁵
Termofilní mikroorganismy	KTJ/g pův. hm.	9,1 x 10 ⁴	1x10 ⁶	5x10 ⁵	1,2x10 ⁶	8x10 ⁴	7,5x10 ⁵
Mezofilní bakterie	KTJ/g pův. hm.	2 x 10 ⁵	6x10 ⁵	7x10 ⁵	2,5x10 ⁵	6x10 ⁵	9x10 ⁴
Psychofilní bakterie	KTJ/g pův. hm.	1 x 10 ⁵	3x10 ⁵	5x10 ⁵	1x10 ⁵	3,5x10 ⁵	2x10 ⁵

Poznámka: Analýzy PCB a dioxinů budou provedeny až u vzorků digestátů odebraných před ukončením modelových procesů.

Závěr

Cílem experimentů bylo posouzení možností využití odpadního těsta, odpadní oplatkové hmoty a biskvitové moučky k výrobě bioplynu. Na základě výsledků provedených kontinuálních kofermentačních testů při teplotě 40 °C lze formulovat tyto závěry:

- Odpadní těsto, odpadní oplatková hmota i biskvitová moučka jsou spolu s hovězí kejdou velmi dobře rozložitelné jednostupňovým anaerobním procesem při zatížení fermentoru v rozmezí 1,3 až 2,1 kg_{VS}.m⁻³.d⁻¹, při době zdržení 85 až 90 dnů. Za těchto podmínek je obsah organických látek vstupní směsi snížen o průměrně 75 %.
- Nejvyšší denní produkce bioplynu bylo dosaženo při kofermentaci hovězí kejdy s 20 % odpadního těsta (o 290 % více než při fermentaci samotné hovězí kejdy). Naopak nejnižší denní produkce bioplynu byla naměřena při kofermentaci hovězí kejdy s 10 % biskvitové moučky (pouze o 183 % více než při fermentaci kejdy). Ve shodném smyslu se projevily tyto směsi i při hodnocení parametrem denní produkce methanu na objemovou jednotku reakčního prostoru (u směsi s 20 % odpadního těsta až 0,82 m³.m⁻³.d⁻¹).
- Měrná produkce methanu vzhledem k hmotnostní jednotce přivedených organických látek při všech třech modelových kofermentacích mírně klesla po zvýšení podílu kosubstrátu z 10 % na 20 %. Rozhodně lze ale očekávat produkci methanu okolo 0,4 m³.kg_{VS}⁻¹.
- Rozbory vzorků modelových digestátů naznačují, že v případě všech tří testovaných kosubstrátů digestáty bude možno použít k rekultivačním účelům. Zápach digestátu z kofermentace biskvitové moučky se subjektivně jevil jako výrazně slabší než v případě digestátu z modelové kofermentace moučky masokostní.
- Při všech třech modelových procesech se dosud nezačaly vytvářet žádné krusty u hladiny.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu VaV v programu MPO IMPULS ev. č. FI-IM4/215 „Výzkum a vývoj nových technologií kofermentace zemědělských odpadů a dalších biogenních materiálů s cílem zvýšení energetické a ekonomické efektivity procesu“. Řešeno Centrem environmentálních technologií VŠB – TU Ostrava ve spolupráci s firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s.

Literatura

- [1] Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu programu IMPULS ev. č. FI-IM4/215 „Výzkum a vývoj nových technologií kofermentace zemědělských odpadů a dalších biogenních materiálů s cílem zvýšení energetické a ekonomické efektivity procesu“, řešeno Centrem environmentálních technologií VŠB – TU Ostrava ve spolupráci s firmou Vítkovice – ENVI, a.s., 2007
- [2] Obroučka K. a kol: Závěrečná zpráva o řešení veřejné zakázky v programu IMPULS ev. č. FI-IM4/215 u spolupříjemce VŠB – TU Ostrava. „Výzkum a vývoj nových technologií kofermentace zemědělských odpadů a dalších biogenních materiálů s cílem zvýšení energetické a ekonomické efektivity procesu“. Centrum environmentálních technologií VŠB-TUO, Ostrava leden 2010.
- [3] Straka F.: Hodnocení bioplynových stanic. Sborník konference „Výstavba a provoz bioplynových stanic“. Construction and operation of biogas plants. 9 - 10. října 2008, Třeboň. ISBN-978-80-254-2827-6.
- [4] Ranade D.R., Yeole T.Y., Meher K.K., Gadre R.V., Godbole S.H.: Biogas from solid waste originated during biscuit and chocolate production. Biological Wastes, vol 28. Issue 2, 1989, pages 157 -161.
- [5] Vyhláška č. 271/2009 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů České republiky, částka 82, ročník 2009.
- [6] Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady). Sbírka zákonů České republiky, částka 110, ročník 2008.