

Dlouhodobé laboratorní ověření psychrofilní anaerobní digesce zbytků jídel

Platošová Daniela, Rusín Jiří, Chamrádová Kateřina

VŠB-TUO - Institut environmentálních technologií, email:

daniela.platosova@vsb.cz, jiri.rusin@vsb.cz, katerina.chamradova@vsb.cz

Abstrakt

Příspěvek uvádí výsledky laboratorního testu dvoustupňové psychrofilní anaerobní digesce zbytků jídel z univerzitní menzy provedeného ve vertikálním reaktoru o celkovém pracovním objemu 0,232 m³. V průběhu experimentu trvajících 726 dnů při průměrném zatížení prvního stupně fermentoru organickými látkami 0,724 kg_{VS} m⁻³ d⁻¹ a celkové hydraulické době zdržení 214 dnů bylo dosaženo měrné produkce bioplynu 0,113 m_N³ kg⁻¹ respektive 0,729 m_N³ kg_{TS}⁻¹ respektive 0,782 m_N³ kg_{VS}⁻¹. Průměrný obsah methanu činil 54,5 % obj. Koncentrace rozpuštěného vodíku zjištěná pomocí amperometrického mikrosenzoru činila 0,01-0,30 mg dm⁻³.

Úvod

Zpracování bioodpadu je v současnosti složitý a často diskutovaný problém, jelikož mnoho původců tohoto odpadu neví, jak správně by měli s odpadem nakládat. V České republice se v minulých letech roční produkce odpadu ze stravovacího zařízení pohybovala kolem 15 tisíc tun ohlášeného množství odpadu. Realita se však dá odhadnout až na 60 – 75 tisíc tun za rok. Důvod tohoto rozdílu je způsoben neohlášenou činností původců odpadu. V současné době je u nás povoleno zpracovávat odpad ze stravovacích zařízení a odpad z přípravy jídel několika způsoby, např. kompostováním nebo anaerobní digescí. Každý původce, který tento odpad produkuje, musí podle zákona o odpadech, předat vzniklý odpad oprávněné firmě, která ho dále zpracuje podle dostupných možností. Tyto odpady se musí odstraňovat co nejrychleji, musejí být ukládány do uzavíratelných nádob, které musí být snadno čistitelné a dezinfikovatelné a být z materiálů, který umožňuje sanitaci. Dalším kritériem je dostatečné označení, aby bylo zřejmé, že je nádoba určena k těmto účelům. V některých případech se používají i jednorázové plastové obaly. Z důvodu praktičnosti a rychlosti odstranění byl odpad v minulosti zkrmován hospodářskými zvířaty, nebo také drcen pomocí kuchyňského drtiče a splachován do kanalizace. Obě možnosti jsou již v současnosti zakázány [1].

Odpady ze stravovacích zařízení patří do skupiny bioodpadů, což je zkrácený název pro biologicky rozložitelné odpady. Jsou to odpady, které jsou schopny aerobního nebo anaerobního rozkladu. Podle nařízení Parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 můžeme odpad z veřejného stravování definovat jako “veškerý potravinářský odpad včetně použitého stolního oleje s původem v restauracích, stravovacích zařízeních a kuchyních včetně ústředních kuchyní“ [2]. Zbytky jídel ze stravovacích zařízení řadíme do skupiny 20 (komunální odpady) a konkrétně do skupiny 20 01 08 – Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven.

V jídelnách a zařízeních na stravování, zejména v těch, kde se pouze ohřívají a servírují hotové produkty, představují zbytky jídel největší část odpadů. Jak naložit s odpadem jako jsou plasty, papír nebo sklo, je obecně známá skutečnost. Přitom jak správně nakládat s odpadem jako jsou zbytky jídel, již není tak jednoznačně jasné. Zákon o odpadech 185/2001 Sb. [3] přinesl velmi silný nástroj pro snižování množství biologických rozložitelných odpadů na skládky a ze zákona plyne, že materiálové využití odpadů má vždy přednost před jiným využitím, například energetickým. Odstraňovat lze odpad, pro který

využití nalezeno nebylo. Skládání je pak až posledním způsobem odstranění odpadu. V případě anaerobní kofermentační výroby bioplynu se jedná o materiálově-energetické využití bioodpadu, přičemž není zcela vždy dopředu zřejmé, zda je metoda pro daný bioodpad výhodnější, než materiálové využití formou kompostu.

Fermentací zbytků jídel se zabýval kolektiv Rakouské inženýrské kanceláře Ing. Friedrich Bauer GmbH, která realizovala jedno z největších vzorových zařízení na fermentaci zbytků jídla a prošlých potravin. Zde po svozu a hygienizaci zbytků jídel a prošlých potravin byl materiál mezofilně fermentován. Při ročním množství suroviny více než 9000 tun bylo získáno přibližně 1,8 milionu kubických metrů bioplynu. Za rok zařízení vyrobilo kolem 3,8 GWh el. proudu a 4,7 GWh tepla. Roční vlastní potřeba tepelné energie zařízení je asi 130 GWh, které se spotřebují na hygienizaci substrátu, na vytápění fermentorů a provozních prostor, stejně jako na teplou vodu do myčky nádob na odpady. Nadbytečné teplo se používá pro sušení digestátu. Hospodárnost celého zařízení je dána vysokým stupněm přeměny organické hmoty během fermentačního procesu (70-75 % v prvním stupni a 90-97 procent v obou stupních) [8].

K využití zbytků jídel z ostravských škol přistoupí i město Ostrava a začne tento materiál svážet a využívat k výrobě bioplynu nebo k fermentaci. Odpad z jídelen tak neskončí na skládce, ale poslouží k výrobě bioplynu či hnojiva, s čímž pomůže firma OZO Ostrava [9]

Cílem příspěvku je posoudit možnost využití zbytků jídel z menzy VŠB-TU Ostrava pro výrobu bioplynu, zhodnotit, zda by bylo vhodné uvažovat o výstavbě bioplynové stanice pro areál VŠB-TU Ostrava.

Materiály

Inokulum

Jako inokulum byl použit digestát respektive reagující biomasa z 1. fermentoru zemědělské bioplynové stanice Pustějov II. Inokulum bylo přivezeno ráno v den startu testu. Digestát byl odstředěn na malé průmyslové odstředivce BEHO CHC-61A s 1200 otáčkami po dobu 10 minut. Pouze tekutá část (fugát) obsahující tuhou část <3 mm byla dále použita. Psychrofilní reaktor byl naplněn 200 litry fugátu. Parametry inokula a zbytků jídel jsou uvedeny v tabulce 1.

Substrát

Zbytky jídel byly získány z menzy VŠB-TU Ostrava. Jednalo se o nedojedené zbytky servírovaných jídel. Menza produkuje v souhrnu zhruba 25-30 kg/den zbytků jídel ze všech jídelen a kantýn patřících pod univerzitu. Materiál se skládal opravdu jen z nedojedených zbytků, jelikož menza zpracovává potravinové polotovary a neprodukuje tak defakto žádné kuchyňské bioodpady. Zbytky jídel jsou denně shromažďovány do barelu a ten odváží k likvidaci oprávněná osoba dle dlouhodobé smlouvy. Zbytky jídel obsahují všechny potraviny a nejsou děleny podle jejich původu, tzn., zbytky obsahují i kosti vařeného masa (pouze kuřecího) nebo také zbytky zákusků, viz obrázek 1. Pro experiment byl z menzy získán většinou jeden 30 l kbelík zbytků jídel týdně. Materiál byl většinou upraven pouze odstraněním velkých kostí a nepříliš násilným rozmixováním pomocí míchače malty. Následně byl skladován v lednici při teplotě 4-6 °C. Ojedinele, když byl materiál příliš tuhý,

byl doplněn malým množstvím pitné vody. V pozdější fázi byly denní dávky materiálu po dobu 30 s mixovány v kuchyňském mixéru (25000 ot/min). Další úpravy nebyly prováděny.



Obrázek 1 Zbytky jídel z menzy VŠB – TU Ostrava

Tabulka 1 Parametry inokula a průměrné parametry zbytků jídel

Parametr	Symbol, jednotka	Inokulum	Zbytky jídel
pH	pH-H ₂ O, -	7,60	4,83
Celková sušina (105°C)	TS, % hm.	4,20	15,51
Organická sušina (Ztráta žiháním, 550°C)	VS, % _{TS}	70,1	92,98
Uhlík	C, % _{TS}	39,46	46,20
Dusík	N, % _{TS}	4,40	2,60
Amoniakální dusík	N _{NH4+} , % _{TS}	4,03	0,31
Síra	S, % _{TS}	0,63	0,20
Vodík	H, % _{TS}	4,67	6,70
Kyslík	O, % _{TS}	39,29	40,50
Popel	CA, % _{TS}	30,0	5,48
Tuk	CL, % _{TS}	-	9,08
Hrubá vláknina	CF, % _{TS}	-	2,00
Proteiny	CP, % _{TS}	-	2,36
Škrob	ST, % _{TS}	-	52,10
Dusíkaté látky	NC, % _{TS}	-	14,63
Bezdušíkaté látky výtažkové	NFE, % _{TS}	-	69,20
Poměr C/N	C/N, -	9,0	17,8

Analýzy

U vzorků zbytku jídel byla potenciometricky stanovena hodnota pH přístrojem WTW 340i se sondou SenTix 41[4]. Dále bylo z každého vzorku odebráno 5 podvzorků o hmotnosti cca 10 g pro stanovení obsahu celkové sušiny (Total Solids, TS, sušením při 105°C v atmosféře O₂ do konstantní hmotnosti, 2,0 % RSD) analyzátozem vlhkosti KERN DLB 160 3A s halogenovou lampou [5]. Dalších 5 podvzorků bylo použito pro stanovení obsahu organických látek – ztráty žiháním sušiny (Volatile Solids, VS, žiháním při 550°C v atmosféře O₂ do konstantní hmotnosti, 5,0 % RSD) termogravimetrickým analyzátozem LECO TGA 701

[6]. Prvkové složení sušiny (C, H, N, S, O) bylo stanoveno analyzátozem LECO Truspec CHN 628 + S 628 [7]. Poměr nižších mastných kyselin a anorganického uhličitanu (VFA/TIC) v reagující suspenzi (digestátu) byl stanoven automatickým titrátorem TIM BIOGAS V02.2 (Hach Lange). Obsah vodíku rozpuštěného v reagující suspenzi byl stanoven pomocí amperometrického mikrosenzoru AMT MS 08 (AMT Analysenmesstechnik GmbH) s rozsahem do $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Spalné teplo sušiny digestátu bylo stanoveno poloautomatickým izoperibolickým kalorimetrem LECO AC 600 dle normy ČSN EN 15170 [7].

Psychrofilní dvoustupňová anaerobní digesce zbytku jídel

Experiment by realizován na vertikálním bioreaktoru o objemu $0,276 \text{ m}^3$, s pracovním objemem $0,232 \text{ m}^3$ (viz obrázek 2). Fermentační teplota byla zvolena v psychrofilní oblasti ($16 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$, dle aktuální teploty laboratoře). Nemíchaný reaktor z korozi vzdorné oceli AISI 304 o průměru 500 mm měl axiálně umístěnou trubici průměru 100 mm zasahující téměř až ke dnu. Proces probíhal semikontinuálně. Do středové trubice reaktoru byla pravidelně v pracovní dny (od 2. dne procesu) doplňována čerstvá dávka zbytků jídel. V průběhu dne zde materiál acidifikovaly a uvolňujícím se plynem s převahou CO_2 byl vytlačován do hlavní komory. Odpovídající objem digestátu samovolně přepadával hadicí do přistaveného barelu. Zpočátku bylo dávkováno $0,1 \text{ kg}$ zbytků jídel denně, ale postupně byla dávka zvyšována až na $2,7 \text{ kg/den}$ (ojediněle až $4,4 \text{ kg/den}$). Pro kontrolu procesu byl digestát analyzován na hodnotu pH, obsah sušiny a organických látek, poměr nižších mastných kyselin a celkového anorganického uhličitanu (VFA/TIC) a v závěru sledovaného období i na obsah rozpuštěného vodíku. Každý pracovní den byla zapisována produkce bioplynu dle stavu bubnového plynoměru RITTER TG05 a analyzováno bylo složení bioplynu pomocí přenosného analyzátoru BIOGAS 5000 s IR senzorem s duální vlnovou délkou pro měření obsahu methanu (CH_4 0 - 100 % obj.) a oxidu uhličitého (CO_2 0 - 100 % obj.), a elektrochemickým senzorem pro stanovení plynného vodíku (H_2 0 - 1000 ppm), sulfanu (H_2S 0 - 5000 ppm) a kyslíku (O_2 0 - 25% obj.). Bioplyn z obou komor reaktoru byl směřován v jediný vzorek a dílčí procesy v komorách (acidifikace a methanizace) nebyly blíže analyzovány.



Obrázek 2 Dvoustupňový psychrofilní anaerobní bioreaktor

Výsledky a diskuze

Během 726 dnů experimentu činila průměrná sušina dávkovaných zbytků jídel (o pH 3,8-5,2) 15,51 %. Při měrné hmotnosti průměrně 1068 kg m⁻³ činil obsah organických látek 92,98 % hm. Při průměrném zatížení fermentoru jako celku organickými látkami 0,724 kg_{VS} m⁻³ d⁻¹ a průměrné hydraulické době zdržení 214 dnů bylo produkováno 0,131 m_N³ d⁻¹ bioplynu, respektive 0,071 m_N³ d⁻¹ methanu. Produkce methanu vztažená na hmotnostní jednotku přivedené sušiny průměrně činila 0,729 m_N³ kg_{VS}⁻¹ a na přivedené organické látky 0,782 m_N³ kg_{VS}⁻¹. Procesem byl obsah sušiny suspenze snížen na 3,87 %, tedy o 75 %. Účinnost odstranění organické sušiny činila 83 %. Průměrné hodnoty naměřených a vypočtených parametrů experimentu jsou uvedeny v tabulce 2 a graficky znázorněny na obrázku 3.

Tabulka 2 Průměrné parametry dvoustupňové psychrofilní anaerobní digesce zbytků jídel

Období	OLR	HRT	B _m	B _{TS}	B _{VS}	B _r	CH ₄
dny	kg _{VS} m ⁻³ d ⁻¹	den	m _N ³ kg ⁻¹	m _N ³ kg _{TS} ⁻¹	m _N ³ kg _{VS} ⁻¹	m _N ³ m ⁻³ d ⁻¹	% obj.
726	0,724	214	0,113	0,729	0,782	0,62	54,5

Z grafu je zřejmé, že za 726 dnů procesu nastala dvě krizová období s přetížením. První přetížení se dostavilo 30. den při zatížení 0,8 kg_{VS} m⁻³ d⁻¹ a do 90. dne díky snížení i vynechání 28 dávek odpadu odeznělo. Druhé přetížení nastalo okolo 200 dne při zatížení 2,8 kg_{VS} m⁻³ d⁻¹ a odeznělo do cca 50 dnů, kdy byl reaktor zatěžován zcela minimálně. 52. den procesu došlo ke skokovému navýšení obsahu vodíku i sulfanu, obsah H₂ v bioplynu vzrostl až na 2200 ppm, obsah H₂S vzrostl na 2000 ppm. Později již nikdy H₂ tak vysoko nevzrostl. Při přetížení obsah CH₄ klesl z 55-60 % na 35 %. Poměr VFA/TIC se zvýšil ze stabilní hodnoty 0,25 až na cca 1,0 při každém přetížení. pH digestátu pokleslo ze 7,7-7,9 na 7,1-7,3. V období stabilního procesu činil obsah H₂ v bioplynu 30-150 ppm. V závěru sledovaného období začal poměr VFA/TIC opět vzrůstat k hodnotě 1,2, viz obrázek 4, ale přetížení se podařilo předejít. Při hodnotě VFA/TIC 0,25 činil obsah rozpuštěného vodíku 0,01-0,03 mg dm⁻³. Při vzrůstu VFA/TIC na 1,0 vzrostl rozpuštěný vodík k 0,1-0,2 mg dm⁻³.

Z dostupné literatury bylo ověřeno, že po zpracování zbytků pokrmů a prošlých potravin lze výtěžnost procesu popsat takto, viz tabulka 3 [11, 12]:

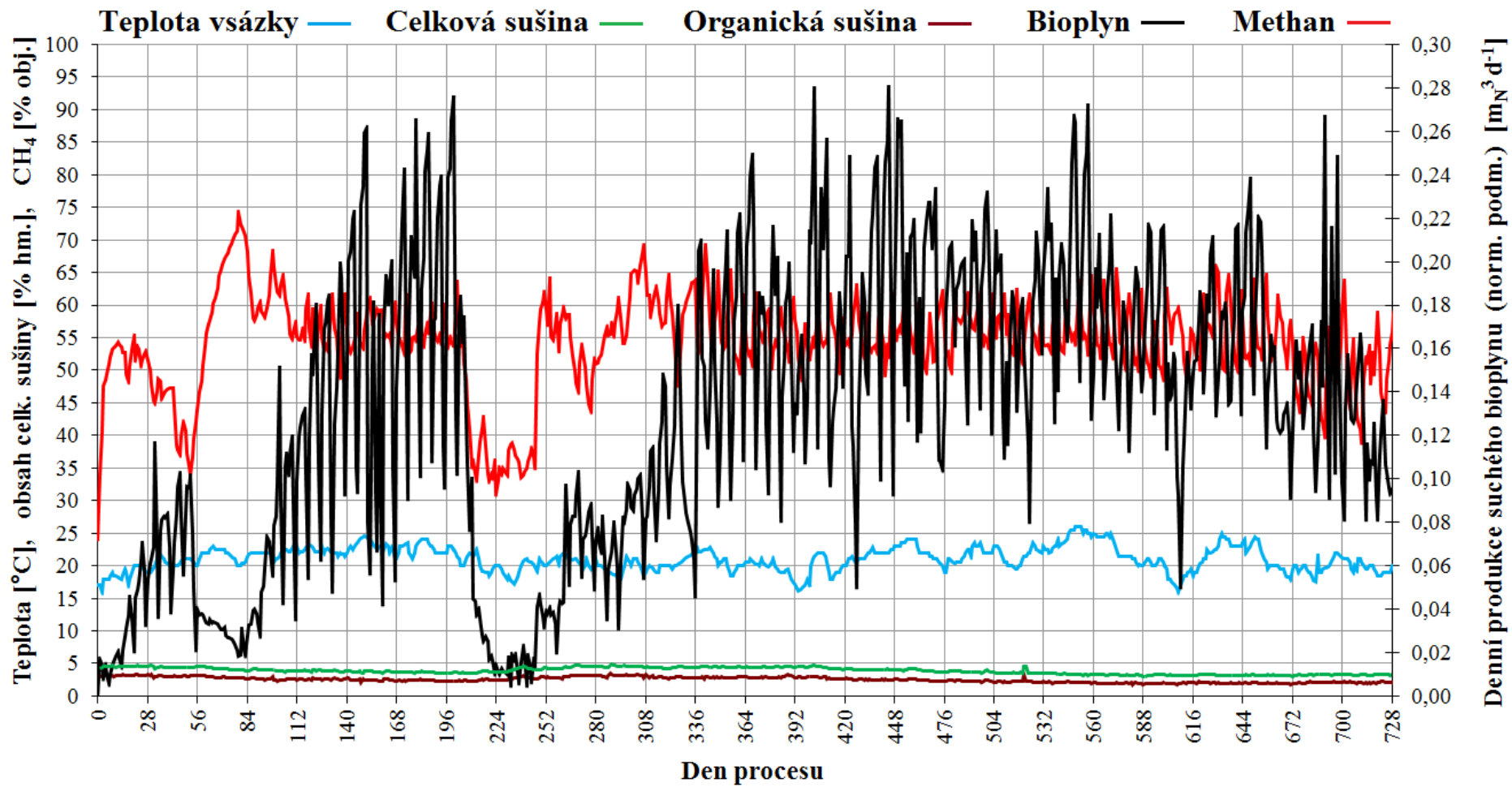
Tabulka 3 Výtěžnost při zpracování zbytků jídel

Substrát	Sušina (TS)	Org. sušina (VS)	Výtěžnost bioplynu		Obsah CH ₄
			m ³ kg ⁻¹ čerstvé hmoty	m ³ kg ⁻¹ org. sušiny	
Zbytky jídel a prošlé potraviny	9 - 37	80 - 98	0,050 - 0,480	0,200 – 0,500	45 - 65
Zbytky jídel	23	86	0,100	0,220	neuvedeno

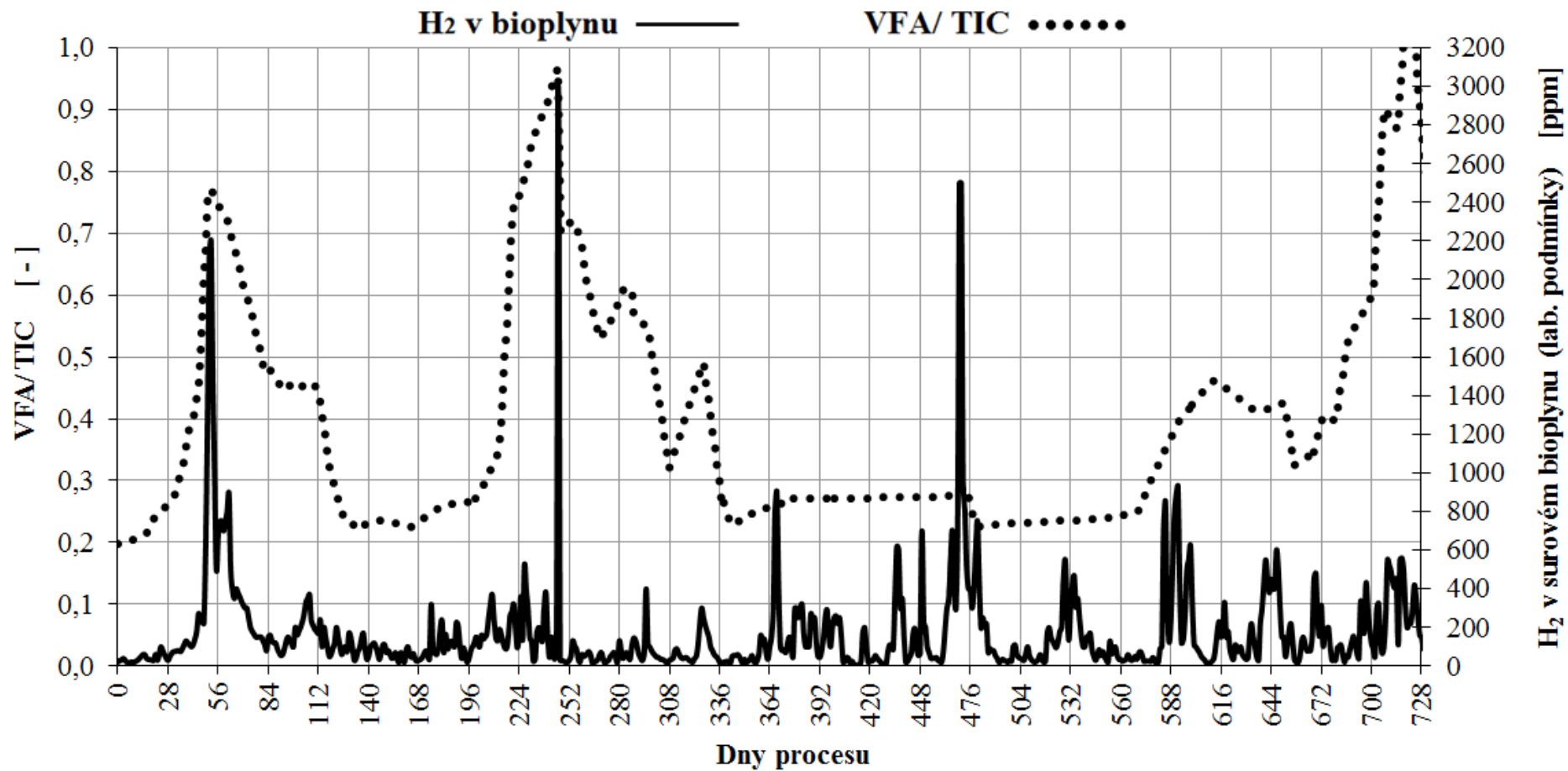
Studie, která sledovala celkovou produkci bioplynu a methanu závislou na teplotě v semikontinuální procesu uvádí, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při teplotě 50 °C, dílčí výsledky experimentu uvádí tabulka 4 [13]:

Tabulka 4. Porovnání produkce bioplynu v závislosti na teplotě

Teplota ° C	Produkce bioplynu dm ³ d ⁻¹		Obsah CH ₄ v bioplynu
	bioplyn	CH ₄	% obj.
40	6,1	4,0	65,6
45	7,4	4,9	66,2
50	8,6	5,8	67,4
55	5,6	3,3	58,9



Obrázek 3 Průběh procesu



Obrázek 4 Vodík v bioplynu a poměr kyselin k pufovací kapacitě

Digestát

Vzorky digestátu z psychrofilního procesu byly podrobeny chemickému a mikrobiálnímu rozboru v akreditované laboratoři MORAVA s.r.o. V hygienizovaných i nehygienizovaných zbytcích jídel byly prokázány namnožené E.-Coli, enterokoky, termotolerantní koliformní bakterie, Salmonella, ale také i kvasinky a plísňe. U mikrobiálního rozboru psychrofilního digestátu bylo zjištěno, že i zde jsou významně obsaženy E.-Coli, enterokoky, termotolerantní koliformní bakterie, Salmonella, ale také i kvasinky a plísňe. Digestát by před použitím jako hnojiva musel projít hygienizací. Hygienizace digestátu by měla být vhodnější než hygienizace bioodpadu, neboť je ho objemově méně, je homogennější a nemělo by dojít k dalšímu množení mikroorganismů.

Tabulka 3 Parametry digestátu

Parametr	Symbol, jednotka	Digestát
pH	pH-H ₂ O, -	7,57
Celková sušina (105°C)	TS, % hm.	3,87
Organická sušina (Ztráta žiháním, 550°C)	VS, % _{TS}	64,82
Uhlík	C, % _{TS}	41,29
Dusík	N, % _{TS}	4,79
Síra	S, % _{TS}	0,50
Vodík	H, % _{TS}	5,02
Kyslík	O, % _{TS}	21,57
Popel	CA, % _{TS}	26,82
Spalné teplo	Q, MJ kg _{TS} ⁻¹	18,142

Závěr

Dlouhodobým experimentem bylo prokázáno, že zbytky jídel z menzy VŠB-TU Ostrava obsahují značné množství využitelné energie. I psychrofilním procesem bez ohřevu technologie a bez míchání lze získat značné množství bioplynu. Vzhledem k velmi malému množství bioodpadu není možno uvažovat o výstavbě bioplynové stanice pro univerzitní kampus. Do hodnocení budou postupně zahrnuty i další zdroje biomasy, jako například travní hmota z blízkého okolí. V současné době psychrofilní experiment nadále pokračuje. Digestát je nezbytné před použitím jako hnojiva hygienizovat. Bylo také zahájeno ověření procesu za mezofilních podmínek a přesnější určení limitního obsahu rozpuštěného vodíku jako indikátoru stavu procesu.

Poděkování

Práce vznikla v rámci projektu ERDF "Institute of Environmental Technology – Excellent Research " (No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000853).

Literatura

- [1] *Odpadové fórum* [online]. 2019, 12(3) [cit. 2019-02-21]. ISSN 1212-7779. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/3-2011-pdf.pdf>
- [2] Commission Regulation (EC) No 1774/2002 of the European Parliament and of the Council of 3 October 2002 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption.
- [3] *Zákon 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. In: Praha: Sbírka zákonů ČR, ročník 2001. Dostupné také z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/\\$file/Z_185_2001.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/$file/Z_185_2001.pdf).
- [4] ČSN EN 15933 Kaly, upravený bioodpad a půdy – Stanovení pH.
- [5] ČSN EN 15934 Kaly, upravený bioodpad, půdy a odpady – Výpočet podílu sušiny po stanovení zbytku po sušení nebo obsahu vody.
- [6] ČSN EN 15935 Kaly, upravený bioodpad, půdy a odpady – Stanovení ztráty žíháním.
- [7] ASTM D5373-16 Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke.
- [8] Biom.cz: Ze zbytků jídla se stává proud a teplo [online]. 2019, [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz-bioplyn/zpravy-z-tisku/ze-zbytku-jidla-se-stava-proud-a-teplo>
- [9] Idnes.cz: Ani skládka, ani prasata. Zbytky jídla z ostravských škol zlikviduje firma [online]. 2019, [cit. 2019-02-22]. https://www.idnes.cz/ostrava/zpravy/jidlo-zbytky-jidelna-skola.A181206_443825_ostrava-zpravy_woj
- [10] ČSN EN 15170 Charakterizace kalů – Stanovení spalného tepla a výhřevnosti.
- [11] Kratochvílová, Z., Habart, J.: Průvodce výrobou a využitím bioplynu. Praha, 2009. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/pruvodce_vyrobou_vyuziti_m_bioplynu.pdf
- [12] Hlinčík, T.: Netradiční topné plyny – bioplyn, skládkový plyn, využití vodíku jako topného plynu. VŠCHT, [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~hlincikt/Z%C3%A1klady%20zpracov%C3%A1n%C3%AD%20a%20vyu%C5%BEit%C3%AD%20uhl%C3%AD%20plynu/13.pdf>
- [13] Kim J.K., Oh B.R., Chun J.N., Kim S. W.: Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Volume 102, Issue 4, October 2006, Pages 328 – 332. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172306706715>