

Anaerobní digesce biomasy hmyzu

Petra Wojnarová, Jiří Rusín

VŠB-TUO - Institut environmentálních technologií,
e-mail: petra.wojnarova@vsb.cz, jiri.rusin@vsb.cz

Souhrn

Příspěvek uvádí výsledky testu biomethanového potenciálu vybrané biomasy hmyzu, konkrétně larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Substrát byl vybrán pro vysoký obsah tuků a bílkovin a snadný, finančně nenáročný chov hmyzu. Substrát by se přes velmi vysoký obsah dusíku mohl v budoucnu stát surovinou pro bioplynové stanice. Test vsádkové mezofilní jednostupňové anaerobní digesce probíhal po dobu 40 dnů při třech různých zatíženích. V testu s počátečním zatížením $1,82 \text{ kg}_{\text{VS}} \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ byla naměřena měrná produkce bioplynu ze sušiny substrátu $0,6872 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$ a měrná produkce methanu $0,4421 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$. V testu s počátečním zatížením $14,59 \text{ kg}_{\text{VS}} \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ činila produkce bioplynu $0,5194 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$ a produkce methanu $0,3338 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$.

Klíčová slova: anaerobní digesce, bioplyn, hmyz, moučný červ, *Tenebrio molitor*.

Úvod

Biomasa zpracovávaná v bioplynových stanicích patří mezi zdroje obnovitelné energie významně pomáhající snižovat naši závislost na fosilních palivech. Stále citelnější nedostatek surovin ze zemědělské prvovýroby (keřda, hnůj) začíná postupně omezovat další rozšiřování výroby bioplynu. Na bioplyn je potřeba zpracovávat zejména bioodpady, až poté cíleně pěstovanou energetickou biomasu soupeřící o zemědělskou půdu s produkcí potravin. Je nezbytné vyhledávat nové zdroje substrátů. Vyhláška č. 477/2012 Sb. stanovuje dvě kategorie biomasy, které mohou být zpracovány anaerobní digescí na bioplyn a digestát [1]. Kategorie AF1 představuje cíleně pěstovanou biomasu, zatímco kategorie AF2 zastupuje ostatní druhy vhodné biomasy.

Hmyz byl dosud chován především za účelem produkce bílkovin a tuků, pro přímou výrobu potravin, nebo jako krmivo. Příkladem takového chovu hmyzu je česká firma vyrábějící cvrččí mouku, a z ní pak např. proteinové tyčinky [2]. Stále více je promyšleno využívání hmyzu v oblasti biorafinérií, neboli při konverzi biomasy na chemikálie a biopaliva. Zájem o hmyzí biomasu narůstá nejen pro výrobu kapalných biopaliv, ale také pro chemický a farmaceutický průmysl [3]. Například larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) jsou běžně používanou složkou přípravků pro bělení kůže a při léčbě mnoha kožních poruch [4].

Využití biomasy hmyzu pro výrobu bioplynu dosud nebylo příliš uvažováno. Testovány byly produkce bioplynu z trusu vznikajícího při chovu hmyzu [5]. Příkladem dalšího výzkumu je sledování produkce methanu působením žížalice pestré (*Lumbriculus variegatus*) na přebytečný aktivovaný kal [6].

V našem výzkumu byly larvy potemníka moučného zvoleny především pro uváděný vysoký obsah proteinů (41 %), lipidů (27 %) a vysoký podíl nenasycených mastných kyselin porovnatelný s obsahem v řepkovém nebo olivovém oleji [5]. Dalším důvodem této volby je jejich snadný, finančně nenáročný chov, který je již nyní dosti rozšířen. Dospělé larvy mohou být odchovány asi do 2 měsíců. Pro maloobjemový chov postačí obyčejná plastová nádoba, na jejíž dno je vysypána asi 5 cm vrstva krmné směsi a umístěno plato od vajec, či karton, které slouží pro správnou regulaci vlhkosti, i jako úkryt pro klazení vajíček. Princip velkoobjemového chovu na tzv. hmyzích farmách je obdobný. Například v Thajsku, místě největších hmyzích farem na světě, rovněž uplatňují chov v boxech. Boxy jsou umístěny v několika patrech nad sebou, což přináší úsporu plochy. Potemníka je možno krmit relativně snadno degradovatelným bioodpadem, jako jsou např. kuchyňské odpady (včetně masa), zbytky jídel, stará mouka, zbytky z pekáren, staré granule pro psy apod. Některé jiné druhy hmyzu je možno chovat při krmení obtížně degradovatelným ligno-celulózovým materiálem. Typickým příkladem ligno-celulózového odpadu jsou například obtížněji využitelné nebo zcela nevyužívané části kukuřice, pšenice rýže apod. Jde o stonky, slámu aj. Tyto části rostlin představují více než polovinu světové produkce

zemědělské fytomasy. Pokud nejsou zaorávány či spalovány, stávají se odpadem emitujícím skleníkové plyny [7].

Cílem tohoto příspěvku bylo ověření praktických výtěžků bioplynu a methanu z hmoty potměníka moučného za účelem získání úvodních informací o potenciální využitelnosti tohoto substrátu v bioplynové stanici.

Materiál a metody

Substrát

Larvy potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) byly zakoupeny v obchodě s chovatelskými potřebami. Larvy měly obsah sušiny 95,16 %. Do testu biochemického methanového potenciálu byl substrát použit v mletém stavu. Mletí bylo provedeno na laboratorním mlýnku IKA Tube Mill Control na velikost částic $\leq 0,5$ mm. Nebylo provedeno sítování, ani žádná další úprava substrátu. Základní parametry testovaného substrátu jsou uvedeny v tabulce 1. Krmivářská analýza byla provedena externí laboratoří Laboratoř MORAVA s.r.o.



Obrázek 1 Potměník moučný před a po mletí

Inokulum

Jako inokulum byla použita tekutá fermentující suspenze (digestát) z prvního stupně fermentace zemědělské bioplynové stanice Pustějov II (Zemspol Studénka, a.s.). Inokulum bylo přivezeno ráno v den startu testu digesce. Parametry inokula jsou rovněž uvedeny v tabulce 1.

Test biochemického methanového potenciálu

Test diskontinuální mezofilní anaerobní digesce bez míchání byl proveden souběžně v 8 skleněných lahvčkových bioreaktorech (celkový objem vždy $1,0 \text{ dm}^3$) uzavřených skleněnými plynoměrnými byretami (celkový objem vždy $1,4 \text{ dm}^3$). Postup principiálně vycházel z normy ČSN EN ISO 11734 [8] respektive i normy VDI 4630 [9]. Reaktory byly umístěny ve vodní lázni při teplotě $40^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$. Plynoměrné byrety byly umístěny při teplotě laboratoře a patřičně byl upraven přepočítávací koeficient. Pro stanovení endogenní produkce bioplynu a methanu (produkce z inokula) byly použity 2 bioreaktory a pro přidávky substrátu byly použity další 2 bioreaktory. Po dobu 40 dnů byla v pracovních dnech 1x denně, vždy v 7:30 kontrolována teplota vodní lázně (teplota vsázky) a zapisována okolní teplota (teplota bioplynu), barometrický tlak a přírůstek objemu bioplynu. Při dostatečném množství bioplynu v byretě (nad cca 150 ml) bylo provedeno i měření obsahu CH_4 přenosným analyzátozem bioplynu Geotechnical Instruments (UK) Ltd. "Biogas5000" s duálními infračervenými senzory CH_4 ($0\text{-}70\% \pm 0,5\%$) a CO_2 ($0\text{-}60\% \pm 0,5\%$) a elektrochemickými senzory O_2 ($0\text{-}25\% \pm 1,0\%$), H_2 ($0\text{-}2000 \text{ ppm} \pm 2,0\% \text{ FS}$) a H_2S ($0\text{-}5000 \text{ ppm} \pm 2,0\% \text{ FS}$). Obsah CH_4 byl korigován dle zbytkového zavzdušnění bioplynu.

Chybějící denní údaje o objemu bioplynu a obsahu CH₄ byly lineárně interpolovány. Obsah H₂ byl měřen pouze pro doložení nízké míry zatížení inokula a obsah H₂S pro odhalení možné inhibice. Parametry pH, TS a VS_{TS} byly stanoveny v substrátu, inokulu, i ve zpracované vsázce (digestátu) po ukončení testu. Teoretické produkce bioplynu a methanu byly vypočteny na základě prvkového složení sušiny dle Buswellovu formule modifikované Richardsem pro případ, kdy uvolněný amoniak je zadržen v roztoku a ihned vyrovnán hydrogenuhličitanem vytvořeným z produkovaného CO₂ [10]. Každý reaktor byl naplněn 500 g inokula. Použita byla 3 rozdílná počáteční zatížení substrátem (s 1, 2 a 8 g hmyzí biomasy). Naměřený objem plynu byl přepočítán na standardní podmínky, tedy 0° C a tlak 101 325 Pa.

Tabulka 1 Parametry inokula a substrátu

Analýza	Parametr			Substrát	Inokulum	Metoda
Technická	pH-H ₂ O	pH	-	6,46	7,57	ČSN EN 15933 [11]
	sušina (105 °C)	TS	%	95,16	7,27	ČSN EN 15934 [12]
	ztráta žháním sušiny (550 °C)	VS _{TS}	% _{TS}	95,81	75,82	ČSN EN 15935 [13]
	hustota sušiny	ρ _{TS}	kg/m _{TS} ³	1196	1582	ČSN EN 18753 [14]
Elementární	uhlík	C	% _{TS}	58,06	42,37	ČSN EN 15104 [15]
	vodík	H		8,23	4,34	
	dusík	N		8,94	3,64	
	kyslík	O		20,47	27,89	
	síra	S		0,41	0,42	
	poměr prvků	C: N	-	6,50	11,64	
Proximální	celková hořlavina	Č	% _{TS}	96,11	68,27	ASTM D7582-15 [17]
	prchavá hořlavina	V		82,80	55,95	
	fixní uhlík	FC		13,30	12,32	
	popel	A		4,01	31,71	
Látková	dusíkaté látky	NC	% _{TS}	53,07	-	ČSN 46 7092-4 [18]
	proteiny	Prot		41,00		ČSN 467092-27 [19]
	vláknina hrubá	CF		4,96		ČSN EN ISO 6865 [20]
	celulóza	Cel		5,03		ČSN EN ISO 13906 [21]
	lignin	CL		0,70		
	bezdušíkaté látky výtažkové	N-free		7,53		ČSN 467092-24 [22]
	škrob	Starch		7,02		ČSN 467092-21 [23]
	sacharidy (mono, oligo)	HC		0,36		ČSN 467092-22 [24]
	tuk	Lip		26,90		ČSN 467092-7 [25]



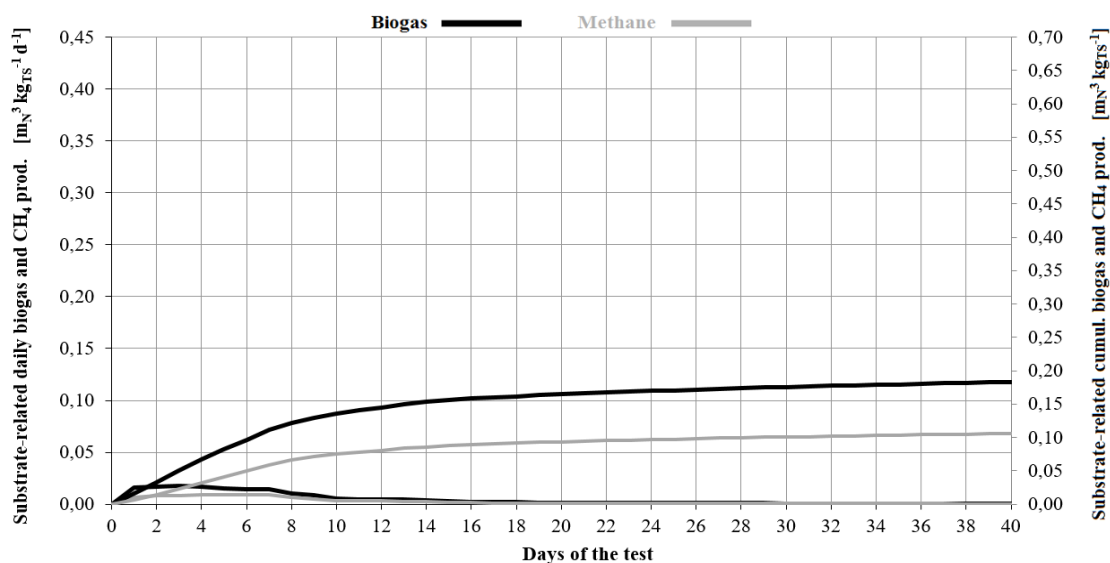
Obrázek 2 Aparatura pro testy produkce bioplynu, analyzátor TS a CHNS

Výsledky a diskuse

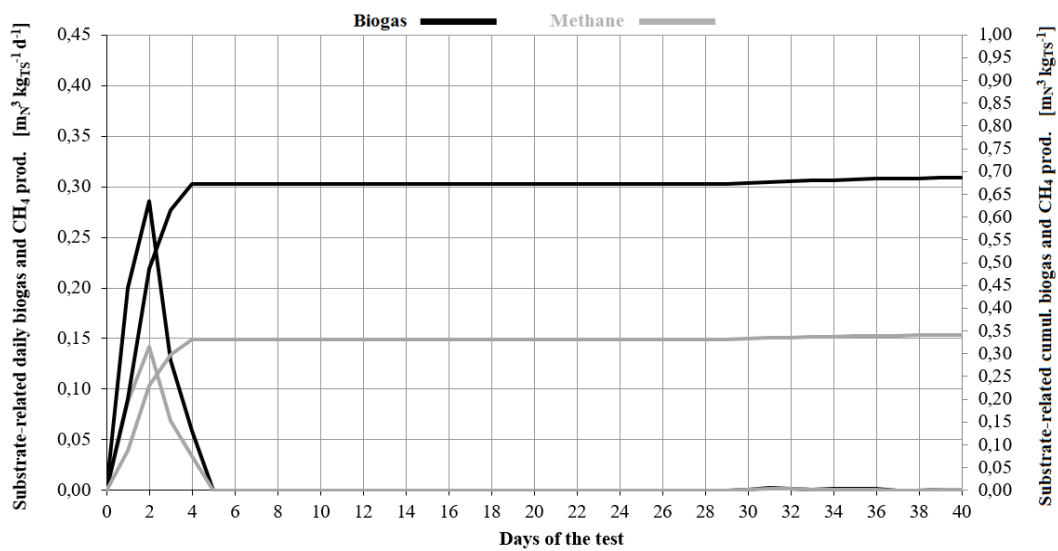
vojPrůběh denní produkce bioplynu a methanu z čistého inokula je zachycen v grafu na obrázku 3. Průběhem se inokulum významně neliší od obdobných vzorků dříve testovaných na našem pracovišti. Produkce bioplynu a methanu ze substrátu při třech různých zatíženích jsou uvedeny na obrázcích 4-6. Nejvyšší 40denní produkce bioplynu vztažená na celkovou sušinu byla dle předpokladu naměřena při nejnižším zatížení substrátem, a to o hodnotě $0,6872 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$. Tehdy byla produkce methanu rovněž maximální ($0,4421 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$). Teoretická produkce bioplynu vypočtená na základě prvkového složení sušiny činí $1,095 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$, což je velmi vysoká hodnota srovnatelná s produkcí z kukuřičného oleje ($1,106 \text{ m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$) [26]. Praktický výtěžek methanu oproti teoretické produkci činil 67,8 % a poklesl k přibližně 58-51 % při vysokých zatíženích, viz tabulka 2. Výtěžek bioplynu i methanu je rovněž vysoký, což potvrzuje předpoklad i výsledky látkové analýzy, že substrát obsahoval jen minimální podíl obtížně rozložitelné hmoty. Když sečteme obsah dusíkatých látek, hrubé vlákniny, bezdusíkatého extraktu, škrobu, jednoduchých sacharidů a tuků, suma činí téměř 100 % sušiny. V reaktoru s nejvyšším zatížením dosahoval obsah vodíku v bioplynu ve druhém a třetím dnu maximálně 60 ppm, což je hodnota, která by neměla znamenat přetížení methanogenů (limit 100 ppm) [27]. Obsah sulfanu v prvních dnech při nejvyšším zatížení dosáhl téměř 1300 ppm, což mohlo způsobovat dočasnou inhibici methanizace (limit 400 ppm) [28], ale zřejmě byl tento vliv minimální. Obsah CH_4 přesáhl 65 % velice rychle, během několika dnů. Nevýhodou substrátu je jeho poměrně vysoký obsah dusíku (téměř 9 %_{TS}). Hrozí inhibice amoniakálním dusíkem a volným amoniakem. Vliv amoniaku lze částečně omezit kofermentací s uhlíkatým substrátem [28,29].

Tabulka 2 Teoretické a prakticky dosažené produkce bioplynu a methanu

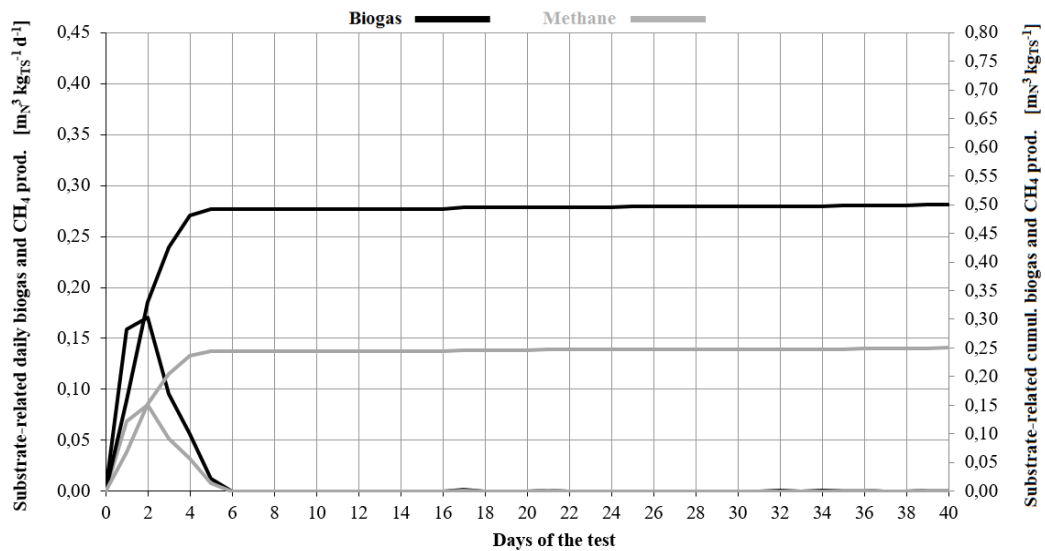
Počáteční organické zatížení	Produkce bioplynu			Obsah methanu		Produkce methanu		
	Teorie	Test	Výtěžek	Teorie	Test	Teorie	Test	Výtěžek
OLR_0	$B_{t,v}$	B_v	η_B	% CH_4		$M_{t,m}$	M_v	η_M
$\text{kg}_{\text{VS}} \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	$\text{m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$	$\text{m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$	%	vol %		$\text{m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$	$\text{m}_N^3 \text{ kg}_{\text{TS}}^{-1}$	%
1,82	1,0950	0,6872	62,8	59,5	64,3	0,6520	0,4421	67,8
3,65		0,5004	45,7		62,2		0,3113	47,7
14,59		0,5194	47,4		64,3		0,3338	51,2



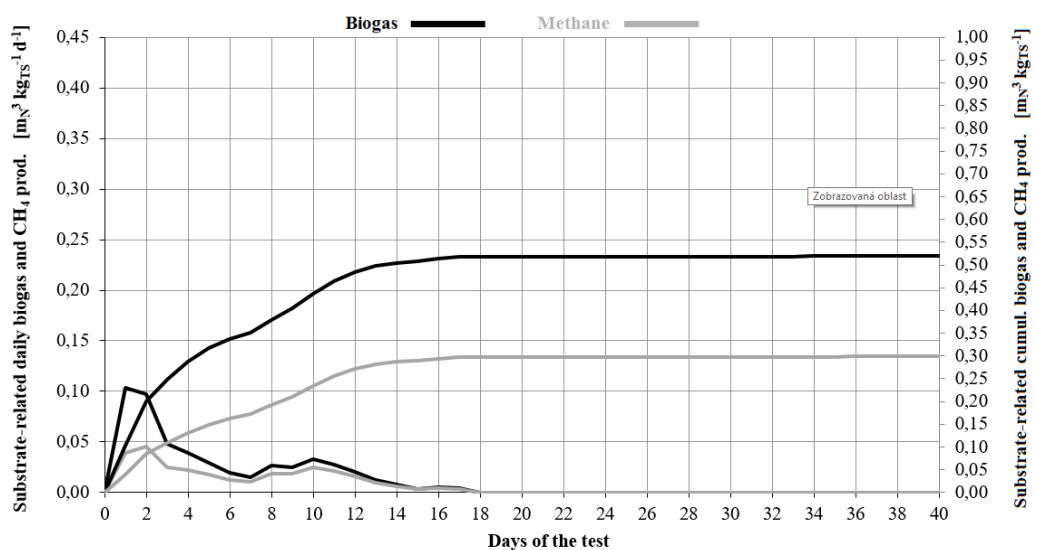
Obrázek 3 Denní produkce bioplynu a methanu z inokula



Obrázek 4 Denní produkce bioplynu a methanu ze substrátu (poč. zatížení $1,82 \text{ kg}_{\text{vs}} \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$)



Obrázek 5 Denní produkce bioplynu a methanu ze substrátu (poč. zatížení $3,65 \text{ kg}_{\text{vs}} \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$)



Obrázek 6 Denní produkce bioplynu a methanu ze substrátu (poč. zatížení $14,59 \text{ kg}_{\text{vs}} \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$)

Závěr

Čtyřicetidenním testem anaerobní digesce byl ověřen biomethanový potenciál biomasy potměníka moučného. Substrát se ukázal být velmi kvalitní, ovšem v případě, že by měl být využíván ve větším přídávku, je nutné počítat s velmi vysokým obsahem dusíku, a s tím spojenými problémy. Příměsí substrátu ke konvenční biomase typu kukuřičná siláž, bioodpad z údržby městské zeleně, separovaná složka organické frakce komunálního odpadu apod. lze zlepšit parametry procesu a zvýšit produkci methanu.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory projektu Institut environmentálních technologií - excelentní výzkum reg. č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000853 financovaného z EFRR. „Experimentální výsledky byly získány s využitím velké výzkumné infrastruktury ENREGAT podporované MŠMT, č. projektu LM2018098.“

Práce vznikla za podpory projektu OP VVV „SPOLUPRÁCE“, registrační číslo CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008419.

Literatura

- [1] Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biomethane a o stanovení a uchovávání dokumentů.
- [2] Hmyz, běžná strava. 2018 [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.sensbar.com/cz/why-cricket>
- [3] Wang, H., Rehman, K.u., Liu, X. *et al.* Insect biorefinery: a green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein. *Biotechnol Biofuels* **10**, 304 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0986-7>
- [4] Kim, J., Kim, K. S., Byug J. Y., Optimization of Antioxidant and Skin-Whitening Compounds Extraction Condition from *Tenebrio molitor* Larvae (Mealworm). *Molecules* **23** (2018). <https://doi.org/10.3390/molecules23092340>
- [5] Bulak, P., Proc, K., Pawłowska, M., Kasprzycka, A., Berus, W., & Bieganski, A. (2020). Biogas generation from insects breeding post production wastes. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118777. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118777>
- [6] Serrano, A., Hendrickx, T. L. G., Elissen, H. H. J., Laarhoven, B., Buisman, C. J. N., & Temmink, H. (2016). Can aquatic worms enhance methane production from waste activated sludge? *Bioresource Technology*, 211, 51–57. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2016.03.061>
- [7] Wang, H., Rehman, K.u., Liu, X. *et al.* Insect biorefinery: a green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein. *Biotechnol Biofuels* 10, 304 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0986-7>
- [8] ČSN EN ISO 11734 Jakost vod – Hodnocení úplné anaerobní biologické rozložitelnosti organických látek kalem z anaerobní stabilizace – Metoda stanovení produkce bioplynu.
- [9] VDI 4630, 2006. Fermentation of organic materials. Characterisation of the substrates, sampling collection of material data, fermentation tests. Verein Deutscher Ingenieure (Ed.), VDI-Handbuch Energietechnik.
- [10] Richards, B. K., Cummings, R. J., White, T. E., Jewell, W. J. (1991) Methods for Kinetic Analysis of Methane Fermentation in High Solids Biomass Digesters. *Biomass and Bioenergy*, 1 (2), 65–73.
- [11] ČSN EN 15933 Kaly, upravený bioodpad a půdy – Stanovení pH.
- [12] ČSN EN 15934 Kaly, upravený bioodpad, půdy a odpady – Výpočet podílu sušiny po stanovení zbytku po sušení nebo obsahu vody.
- [13] ČSN EN 15935 Kaly, upravený bioodpad, půdy a odpady – Stanovení ztráty žiháním.
- [14] ČSN EN ISO 18753 Jemná keramika (speciální keramika, speciální technická keramika) – Pyknometrické stanovení hustoty keramických prášků.
- [15] ČSN EN 15104 – Stanovení obsahu celkového uhlíku, vodíku a dusíku – Instrumentální metody.
- [16] ČSN EN 15289 – Stanovení obsahu celkové síry a celkového chloru.
- [17] 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.
- [18] ČSN 467092-4 Metody zkoušení krmiv – Část 4: Stanovení dusíkatých látek (hrubý protein).

- [19] ČSN 46 7092-27 Metoda zkoušení krmiv – Část 27: Stanovení obsahu bílkovin.
- [20] ČSN 6865 Metody zkoušení krmiv – Stanovení obsahu vlákniny – Metoda s mezifiltrací.
- [21] ČSN EN ISO 13906 (467023) Krmiva – Stanovení obsahu acidodetergentní vlákniny (ADF) a acidodetergentního ligninu (ADL).
- [22] ČSN 46 7092-24 Metoda zkoušení krmiv – Část 24: Stanovení obsahu bezdušíkatých látek výtahových.
- [23] ČSN 46 7092-21 Metoda zkoušení krmiv – Část 21: Stanovení obsahu škrobu.
- [24] ČSN 46 7092-22 Metoda zkoušení krmiv – Část 22: Stanovení obsahu cukrů.
- [25] ČSN 46 7092-7 Metody zkoušení krmiv - Část 7 Stanovení obsahu tuku.
- [26] Rusín, J., Chamrádová, K. (2018) Alternativní maloobjemové substráty pro bioplynové stanice. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2018/prispevky/124.pdf>
- [27] Speace, R.E. (1996). Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Archae Press, Nashville, Tennessee, USA.
- [28] Parkin, G., Lynch, N., et al. (1990). Interaction between Sulfate Reducers and Methanogens Fed Acetate and Propionate. Research Journal of the Water Pollution Control Federation, 62(6), 780-788. Retrieved February 13, 2020, Dostupné z: www.jstor.org/stable/2504391
- [29] Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. Bioresource Technology, 99(10), 4044–4064. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.01.057>