

Potenciál cukrovarských řízků pro výrobu bioplynu

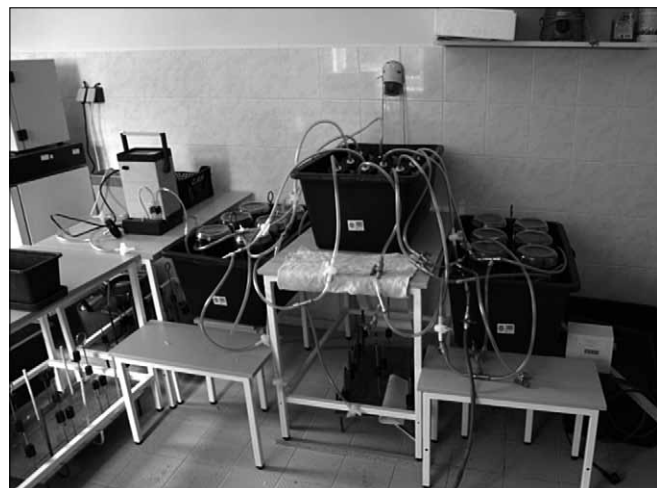
POTENTIAL OF SUGAR BEET PULP FOR BIOGAS PRODUCTION

Oldřich Mužík, Jaroslav Kára, Irena Hanzlíková – Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.

Bioplyn vzniká při anaerobní digesci organických látek. Tato technologie využívaná v tzv. bioplynových stanicích (BPS) je souborem procesů, ve kterých směsná kultura mikroorganismů rozkládá biologicky odbouratelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Výslednými produkty jsou biologicky stabilizovaný digestát a bioplyn (1). Digestát je nejčastěji využíván jako organické hnojivo. Bioplyn je velmi kvalitní zdroj obnovitelné energie. Jeho vlastnosti závisí na zpracovávaných substrátech a procesních parametrech anaerobní digesce. V ideálním případě by bioplyn obsahoval jen dvě složky – metan a oxid uhličitý. V praxi je bioplyn tvořen vedle majoritních složek ještě příměsí minoritních plynů. Výhřevnost bioplynu však významně ovlivňuje pouze obsah methanu. Ten bývá v rozmezí 50–70 %, nejčastěji okolo 60 %. Z bioplynu se v současnosti nejčastěji vyrábí elektrická energie a teplo v kogeneračních jednotkách. Takto vyrobená elektrická energie může být dodávána za garantovanou cenu do distribuční sítě. Zvýhodněná cena zajišťuje solidní návratnost investice, což způsobilo dynamický rozvoj této technologie v posledních letech v ČR i v okolních zemích.

V BPS je možné vedle cíleně pěstované fytohmoty a exkrementů hospodářských zvířat využívat i celou řadu dalších biologicky rozložitelných materiálů, jako jsou např. separované komunální bioodpady či odpady a vedlejší produkce potravinářského průmyslu. Takovou surovinou jsou nepochybně i vyslazené cukrovarské řízky. I přes výrazný pokles výroby cukru v ČR je stále produkce této suroviny nezanedbatelná. Podle SPAGNUOLA ET AL. (2) je z jedné tuny bulev cukrové řepy vyprodukováno okolo 250 kg vyslazených cukrovarských řízků,

Obr. 1. Sada dávkových laboratorních fermentorů ve vyhřívané lázni s plynojemy



což při ročním zpracování cca 2,9 milionů tun řepy pro výrobu cukru v ČR (3) odpovídá přibližně produkci 730 tis. t vyslazených řízků ročně. V současné době se cukrovarské řízky nejčastěji využívají jako krmivo ve formě siláže, nebo jsou po vysušení lisovány do podoby pelet. Uplatňují se především silážované v krmných dávkách skotu, včetně dojníc, sušené pak ve směsích i pro prasata, zvláště plemenná. Díky technologii plastových vaků lze cukrovarské řízky uchovat v dobré kvalitě jak přes zimu, tak při dobrém uskladnění i přes teplé letní období. Silážování cukrovarských řízků je nezbytné i pro případ využití v BPS. Tento způsob alternativního využití této suroviny se nabízí zejména s ohledem na energetickou náročnost výroby cukru – takto získaný bioplyn by mohl částečně pokrýt potřebu tepla v cukrovaru. Možné je i využití cukrovarských řízků při kofermentaci v zemědělských či průmyslových BPS. Jako příklad můžeme uvést BPS AGRO CS, a. s., v Jaroměři, která zpracovává okolo 20 tis. t cukrovarských řízků ročně.

Materiál a metody

Pokusy byly zaměřeny na ověření možností výroby bioplynu z vyslazených cukrovarských řízků a jejich kofermentaci s v současnosti nejvíce využívanou surovinou pro produkci bioplynu – kukuřičnou siláží. Vzorky ve vacích silážovaných cukrovarských řízků byly odebrány z cukrovaru Tereos TTD, a. s., v Dobrušce prostřednictvím ZOD Potěhy. Kukuřičná siláž i digestát pochází z bioplynové stanice ZD Krásná Hora, a. s., která zpracovává zejména kukuřičnou siláž a kejdu skotu. Základní vlastnosti použitých materiálů jsou uvedeny v tab. I.

Obsah sušiny a organických látek ve vzorcích byly stanoveny gravimetricky – vysušením v elektrické peci při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti, resp. spálením a vyžháním vysušeného vzorku při 505 °C do konstantní hmotnosti podle norem ČSN EN 14346, resp. ČSN EN 15169. Obsah celkového dusíku byl stanoven Kjeldahlovou metodou analyzátozem Kjeltec 1030. Hodnoty pH byly určeny pomocí pH-metru WTW pH/Cord 340i.

Tab. I. Základní vlastnosti vstupních substrátů

Substrát	Obsah sušiny (% hm.)	Obsah org. sušiny v sušině (% hm.)	C:N	pH
Cukrovarské řízky	22,20	94,06	30,4	3,92
Kukuřičná siláž	34,60	94,85	37,5	4,43
Inokulum/digestát	7,10	74,74	9,1	7,89

Postup stanovení výtěžnosti methanu

Laboratorních pokusů s výtěžností bioplynu byly prováděny v malých fermentorech o objemu 1 l. Sada fermentorů je umístěna ve vyhřívané vodní lázni, která umožňuje nastavení a udržování stálé teploty. Každý fermentor má svůj plynovod pro odečet produkce bioplynu. Pro ilustraci je laboratorní zařízení pro stanovení produkce bioplynu znázorněno na obr. 1. Všechny pokusy probíhaly tzv. dávkovým způsobem v mezofilních podmínkách (teplota 40 °C) ve třech opakováních pro každou směs vstupních materiálů.

V tab. II. jsou uvedeny hmotnostní poměry sušiny jednotlivých směsí vstupních substrátů a jejich vlastnosti.

U variant 3 resp. 5, které mají stejné složení vstupních substrátů jako varianta 2 resp. 4, bylo navíc do směsi dávkováno aditivum Gasbacking v množství výrobcem předepsaném a ověřeném předchozími pokusy. Jedná se o enzymatický a bakteriální biotechnologický přípravek složený zejména ze směsí enzymů – amylázy, proteázy, lipázy a celulózy a bakterií v roztoku stabilizantu a pomocných látek. Tento přípravek by měl mít pozitivní vliv na proces anaerobní digesce a zvyšovat produkci methanu.

Výsledky a diskuse

Proces anaerobní digesce probíhal v takřka ideálních mezofilních podmínkách při teplotě 40 °C. Hodnoty pH kolísaly téměř u všech pokusů v rozmezí od počátečních hodnot okolo 7 do konečných 8. U substrátů složených pouze z cukrovarských řízků a inokula se částečně potvrdil rychlý průběh procesu – po 35 dnech byla produkce bioplynu téměř ukončena a 80 % bioplynu bylo vyprodukováno v rozmezí prvních 12–14 dní. Nicméně většina autorů uvádí ještě vyšší rychlost anaerobního rozkladu cukrovarských řízků. KOPPAR ET AL. (4) při svých pokusech docílil 95 % celkové výtěžnosti bioplynu během 12 dní. KRYVORUCKO ET AL. (5) udává, že produkce 75 % procent bioplynu bylo dosaženo v prvních 5 dnech pokusu při celkové době zdržení 28 dní. Pomalejší průběh procesu je možné částečně vysvětlit tím, že k pokusům byl použit jako inokulum digestát z bioplynové stanice, která nezpracovává cukrovarské řízky, vyšším podílem cukrovarských řízků v testovaných substrátech a tím, že laboratorní fermentory nebyly v průběhu procesu míchány. Z energetického hlediska je jedinou významnou složkou bioplynu metan. Vzhledem k tomu, uvádíme v grafické podobě rovnou výtěžnost methanu. Průběh kumulativní produkce methanu je patrný z obr. 2.

Z hlediska možnosti posouzení využívání cukrovarských řízků pro produkci bioplynu je vhodné očistit výsledky od vlivu inokula. Tedy od celkové produkce methanu ze sledovaných vzorků odečíst adekvátní množství methanu vyprodukovaného z digestátu a tyto hodnoty přepočítat na množství organické sušiny výhradně z cukrovarských řízků. Takto přepočtené výsledky představují skutečnou měrnou produkci methanu z vyslazených

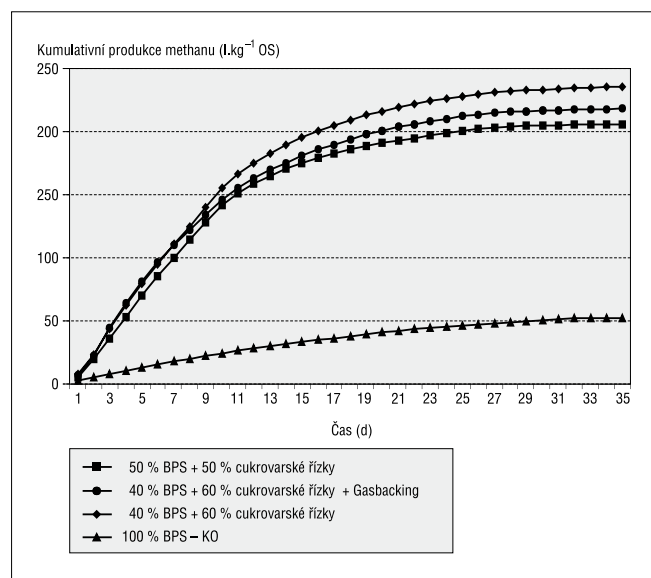
Tab. II. Složení a základní vlastnosti vstupních substrátů pro dávkové pokusy s výtěžností bioplynu

Varianta	Složení (% hm. suš.)	Obsah sušiny (% hm.)	Obsah org. suš. v sušině (% hm.)	C:N	pH
1	50 % cukrovarské řízky; 50 % digestát	8,0	84,4	14,9	7,21
2	60 % cukrovarské řízky; 40 % digestát	8,0	86,3	16,8	7,25
3	60 % cukrovarské řízky; 40 % digestát + aditivum	8,0	86,3	16,8	6,95
4	25 % cukrovarské řízky; 25 % kukuřičná siláž; 50 % digestát	8,0	84,5	15,3	7,13
5	30 % cukrovarské řízky; 30% kukuřičná siláž; 40 % digestát	8,0	86,5	17,3	7,11
6	30 % cukr. řízky; 30% kukuř. siláž; 40 % digestát + aditivum	8,0	86,5	17,3	7,10
Kont.	100 % digestát	7,1	74,7	9,1	7,89

cukrovarských řízků. V grafu na obr. 3. a v tab. III. jsou již uvedeny takto očištěné hodnoty. Výjimkou je množství odbourané organické hmoty, vyjádřené procentuálně jako poměr rozložených látek k původnímu obsahu organických látek v substrátu. Množství organické sušiny na začátku a na konci pokusu bylo stanoveno ze směsných substrátů včetně digestátu a je tedy v korelaci s celkovou produkcí methanu ze směsných substrátů znázorněnou na obr. 2. Množství odbourané organické sušiny se pohybovalo u jednotlivých vzorků v rozmezí mezi 47 a 60 %.

Z obr. 2. a 3. je patrné, že nejvyšší měrné produkce methanu bylo podle předpokladů dosaženo u varianty 3, konkrétně 330,9 l přepočtených na kilogram organické sušiny ($l \cdot kg^{-1}$ OS). I když po očištění výsledků o vliv inokula bylo dosaženo téměř shodné výtěžnosti i u varianty 1. Porovnání variant 1 a 2 ukazuje, že pro dávkové pokusy bez možnosti přímého a pravidelného vnitřního promíchávání fermentoru je lepší poměr směsi s vyšším podílem inokula. Zajímavější je srovnání variant 2 a 3, tedy variant se stejným složením směsi, kde jediný rozdíl ve výtěžnosti methanu způsobuje dávkování aditiva. Pozitivní vliv enzymaticko-bakteriálního biotechnologického přípravku se

Obr. 2. Měrná kumulativní produkce methanu ze směsných substrátů z cukrovarských řízků a digestátu



Tab. III. Měrná kumulativní produkce bioplynu a methanu z cukrovarek řízků

Varianta	Počet měření	Měrná produkce bioplynu (l.kg ⁻¹ OS)		Měrná produkce methanu (l.kg ⁻¹ OS)		Obsah methanu (% obj.)	Odbouraná org. sušina (% hm.)
		průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka		
1	3	542,5	29,4	329,2	16,8	57,2	49,6
2	3	516,0	21,0	304,2	11,9	56,6	52,7
3	3	552,9	26,2	330,9	15,1	57,5	56,8
Kontrolní vzorek	3	132,1	13,7	51,7	5,4	39,1	12,2

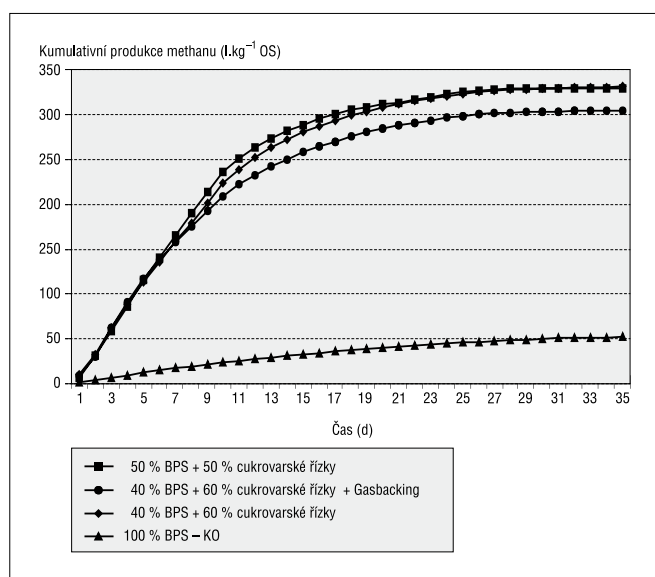
projevil v podobě zvýšení produkce methanu o průměrných 8,8 %, což je dostatečné pro jeho ekonomicky efektivní využití v praxi, ale lehce zaostává za údaji udávanými výrobcem. Nižší vliv intenzifikace procesu pomocí biotechnologických prostředků se zde dal předpokládat, protože silážované cukrovarek řízků jsou všeobecně pokládány za snadno biologicky rozložitelný materiál. Podíl methanu v bioplynu se pohyboval v všech variantách kolem 57 % a mezi sledovanými variantami směsí i mezi jednotlivými opakováními pokusů byly pouze malé rozdíly od cca 55 do 59 %. Poměrně nízký rozptyl mezi jednotlivými opakováními byl dosahován i ve výtěžnosti methanu viz tab. III. Při porovnání našich výsledků s výsledky dávkových pokusů publikovaných jinými autory lze konstatovat, že se pohybuje na dolní hranici výtěžnosti methanu. KRYVORUCKO ET AL. (5) uvádí průměrnou výtěžnost methanu 430 l.kg⁻¹ OS při 28 dnech zdržení substrátu v laboratorních fermentorech a teplotě 37,5 °C. Vyšší produkci lze v tomto případě vysvětlit zejména tím, že fermentory byly pravidelně míchány po dobu deseti minut v intervalech 30 minut. KOPPAR ET AL. (4) docílil 336 l.kg⁻¹ OS při pouhých 15 dnech zdržení v termofilních podmínkách (55 °C). Zde fermentory, podobně jako v našem případě, nebyly míchány. Zkrácení doby potřebné pro prakticky stejnou výtěžnost methanu lze vysvětlit vyšší provozní teplotou. HASSAN (6) udává výtěžnost methanu v rozmezí 400–468 l.kg⁻¹ OS, a HUTNAN ET AL. (7) 352 l.kg⁻¹ OS při

17 dnech zdržení a teplotě 35 °C. Naopak čeští autoři uvádí spíše nižší měrné produkce methanu – VÁŇA ET AL. (8) 250–300 l.kg⁻¹ OS a KOMAN ET AL. (9) docílil v poloprovozní experimentální bioplynové stanici při mezofilních podmínkách, průměrné době zdržení cca 30 dní a kontinuálním dávkování výtěžnosti methanu okolo 230 l.kg⁻¹ OS.

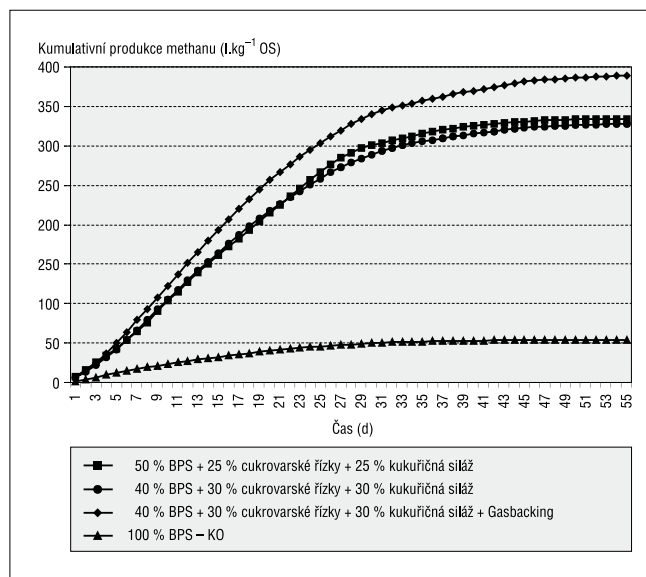
Druhá série pokusů byla zaměřena na ověření možnosti kofermentace vyslazených cukrovarek řízků s kukuřičnou siláží. Výsledky, opět očištěné o vliv inokula, jsou shrnuty v tab. IV. a na obr. 4.

Nejvýraznější rozdíl oproti prvnímu sérii pokusů je pomalejší náběh procesu a delší doba produkce bioplynu. Také bylo docíleno vyšší produkce methanu – až 388,9 l.kg⁻¹ OS u nejvýkonější varianty 6 po 55 dnech zdržení ve fermentoru. Mírně vyšší produkce methanu však byla dosažena i po 35 dnech trvání pokusu u varianty 6 s aplikací aditiva (okolo 350 l.kg⁻¹ OS). Ostatní varianty dosáhly po 35 dnech mírně nižší výtěžnosti methanu než u substrátů bez kukuřičné siláže, ale jelikož produkce plynu ještě pokračovala, po 55 dnech zdržení byla i zde produkce methanu vyšší. Zajímavé je také porovnání variant 5 a 6. Aplikace enzymaticko-bakteriálního aditiva zde měla výraznější vliv na průběh procesu – produkce methanu byla zvýšena o velmi dobrých 18,6 %. Delší dobu zdržení potřebnou pro biologický rozklad substrátů s významným podílem kukuřičné siláže

Obr. 3. Měrná kumulativní produkce methanu z cukrovarek řízků



Obr. 4. Měrná kumulativní produkce methanu ze substrátů s cukrovarek řízků a kukuřičnou siláží



Tab. IV. Měrná kumulativní produkce bioplynu a methanu ze substrátů s cukrovarskými řízků a kukuřičnou siláží

Varianta	Počet měření	Měrná produkce bioplynu (l.kg ⁻¹ OS)		Měrná produkce methanu (l.kg ⁻¹ OS)		Obsah methanu (% obj.)	Odbouraná org. sušina (% hm.)
		průměr	směrodatná odchylka	průměr	směrodatná odchylka		
4	3	535,4	22,1	334,4	22,0	58,5	49,7
5	3	551,8	41,3	327,8	26,3	57,1	55,0
6	3	615,4	67,3	388,9	31,4	60,7	64,9
Kontrolní vzorek	3	136,5	12,7	53,4	5,0	39,1	12,6

i výraznější vliv biotechnologické předpravy (dávkování aditiva) na zvýšení produkce methanu je možné vysvětlit vyšším podílem vlákniny, resp. celulosy v těchto substrátech. STRAKA ET AL. (10) uvádí, že enzymová a mikrobiální předúprava je vhodná zejména pro specifické substráty a jako příklad zmiňuje celulosu. To potvrzuje i ŠTAMBASKÝ ET AL. (11), který poukazuje na fakt, že hydrolyza patří mezi nejpomalejší fáze procesu anaerobní digesce a její urychlení je klíčové pro intenzifikaci celého procesu. ŠTAMBASKÝ (12) také uvádí, že většina zemědělských bioplynových stanic dnes zpracovává materiály bohaté na polysacharidy, reprezentované především škrobem a vlákninou, kterou tvoří zejména celuloza a hemiceluloza. A jako příklad zmiňuje právě kukuřičnou siláž, která sestává přibližně z 50 % z vlákniny, 37 % škrobu a 8 % proteinů, zbytek tvoří lignin a tuky. Cukrovarské řízků mají nižší podíl vlákniny i celulosy – KRYVORUCKO ET AL. (5) udává u siláže z cukrovarských řízků pouze 19,5 % podíl vlákniny. ŠTAMBASKÝ (12) také laboratorně testoval různé enzymatické prostředky na bázi celuláz a prostředek s nejlepšími výsledky byl následně aplikován na 30 vybraných bioplynových stanicích. Dlouhodobé pokusy v těchto provozech dosahovaly velmi dobrých výsledků v navýšení produkce bioplynu v rozmezí 4–35 %.

Závěr

Výsledky provedených experimentů dokazují, že anaerobní digesce vyslazených cukrovarských řízků je perspektivní alternativou jejich využití. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo vysoké výtěžnosti methanu, a to zejména při kofermentaci cukrovarských řízků s kukuřičnou siláží. V pokusech se substráty složenými pouze z cukrovarských řízků a inokula se částečně potvrdil rychlý průběh procesu a relativně vysoká produkce methanu. Dalším významným výsledkem provedených experimentů bylo ověření možnosti využití biotechnologické předpravy vstupních substrátů. V obou řadách pokusů se dávkování biotechnologického prostředku projevilo pozitivně a především výsledky u směsí cukrovarských řízků s kukuřičnou siláží jsou velmi slibné. Všechny metody předúpravy vstupních surovin by měly vést ke zvýšení rozložitelnosti organických látek, zrychlení jejich rozkladu a zvýšení produkce bioplynu. Liší se ale svou účinností, technickou náročností a také cenou. Proto je třeba biotechnologickou intenzifikaci procesu anaerobní digesce hodnotit individuálně a zohlednit zejména její ekonomickou efektivnost. Prezentované výsledky však ukazují, že aplikace biotechnologických prostředků se jeví jako velmi perspektivní. Obecně lze konstatovat, že výsledky experimentu jsou slibné a dokazují solidní potenciál využívání cukrovarských řízků pro produkci bioplynu.

Tato práce byla zpracována na základě výsledků řešení výzkumného záměru MZE0002703101 Výzkum nových poznatků vědního oboru zemědělská technologie a technika a aplikace inovací oboru do zemědělství ČR.

Souhrn

Tento příspěvek se zabývá laboratorním ověřením možností využití vyslazených cukrovarských řízků pro produkci bioplynu. Laboratorní pokusy s výtěžností bioplynu probíhaly v dávkových fermentorech o objemu 1 litr v mezofilních podmínkách. Pokusy byly rozděleny do dvou sérií, z nichž jedna měla za cíl stanovit měrnou produkce methanu ze samotných cukrovarských řízků a druhá série měla ověřit možnost kofermentace cukrovarských řízků s kukuřičnou siláží. V obou variantách pak byl ještě experimentálně ověřen vliv biotechnologického prostředku na produkci methanu. Experiment potvrdil, že cukrovarské řízků jsou pro produkci bioplynu vhodným substrátem s rychlým průběhem procesu anaerobní digesce a relativně vysokou výtěžností methanu. V nejlepší variantě pokusu bylo dosaženo průměrné produkce 330,9 l.kg⁻¹ OS během 35 dní zdržení substrátu ve fermentoru. Při kofermentaci s kukuřičnou siláží bylo dosaženo ještě vyšší měrné produkce methanu – až 388,9 l.kg⁻¹ OS, ale k dosažení těchto hodnot bylo potřeba delší doby zdržení ve fermentoru, konkrétně 55 dní. Experiment také prokázal pozitivní účinek enzymaticko-bakteriálního biotechnologického přípravku, který ve všech pokusech zvýšil produkci methanu. Nejúčinnější byla biotechnologická předúprava při kofermentaci cukrovarských řízků a kukuřičné siláže, kdy došlo k navýšení produkce methanu o 18,6 %.

Klíčová slova: cukrovarské řízků, bioplyn, výtěžnost methanu, anaerobní digesce, biotechnologická přeúprava.

Literatura

- VÁŇA, J.; SLEJŠKA, A.: Bioplyn z rostlinné biomasy, Studijní informace ÚZPI. *Rostl. výroba*, 1998 (5), s. 24.
- SPAGNUOLO, M. ET AL.: Synergistic effects of cellulolytic and pectinolytic enzymes in degrading degrading sugar beet pulps. *Bioresource Technology*, 60, 1997 (3), s. 215–222.
- ADAMEC, R.; FRONĚK, D.: *Situační a výhledová zpráva – cukr, cukrová řepa*. Mze ČR, 2011, 32 s., ISBN 978-80-7084-980-4.
- KOPPAR, A.; PULLAMMANAPPALLIL, P.: Single-stage, batch, leach-bed, thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. *Bioresource Technology*, 99, 2008, s. 2831–2839.
- KRYVORUCHKO, V. ET AL.: Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing. *Biomass and Bioenergy*, 33, 2009 (4), s. 620–627.
- HASSAN, E. A.: *Biogas production from forage and sugar beets. Process control and optimization – ecology and economy*. Doctoral thesis University of Kassel/Witzenhausen, Germany, 2003.

- HUTNAN, M.; DRTEL, M.; MRAFKOVA, L.: Anaerobic degradation of sugar beet pulp. *Biodegradation*, 11, 2000 (4), s. 203–211.
- VÁŇA, J.; UŠŤAK, S.: Využití odpadů ze zemědělského provozu a biomasy energetických rostlin k výrobě bioplynu. In *Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství – zemědělské bioplynové stanice*. Vodní zdroje, Ekomonitor, s. r. o., 2011, s. 29–42, ISBN 978-80-86832-49-4.
- KOMAN, P. ET AL.: Projekt IMPULS – provoz experimentální bioplynové stanice. *Biom.cz* [online], 2010-12-22 [cit. 2011-10-28], <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/projekt-impuls-provoz-experimentalni-bioplynove-stanice>>, ISSN: 1801-2655.
- STRAKA, F. ET AL.: *Bioplyn*. GAS, s.r.o., Praha 2006. II. Rozšířené a upravené vydání, ISBN 80-7328-090-6.
- ŠTAMBASKÝ, J.; GERHARDT, M.: Intenzifikace produkce bioplynu aplikací hydrolytických enzymů a stopových prvků. In *Výstavba a provoz bioplynových stanic*. Sborník referátů z konference v Třeboni, 2009, s. 57–60, ISBN 978-80-254-5455-8.
- ŠTAMBASKÝ, J.: Využití enzymatických přípravků ke zvýšení výroby bioplynu z lignocelulóзовých materiálů. In *Výstavba a provoz bioplynových stanic*. Sborník referátů z konference v Třeboni, 2008, s. 79–81, ISBN 978-80-254-2827-6.

Mužik O., Kára J., Hanzlíková I.: Potential of Sugar Beet Pulp for Biogas Production

The contribution focuses on the potential of sugar beet pulps for biogas production. Laboratory experiments with biogas yield were carried out in a single stage, bath, mesophilic digesters with the

volume of 1 litre. The experiment was divided into two series. The first series specified the specific methane yield from sugar beet pulps, the second verified possibilities of co-fermentation of sugar beet pulps with maize silage. The impact of biotechnological additives on methane yield was also tested in both variants. The experiments demonstrated that sugar beet pulps are a quality substrate for biogas production. Biodegradation of sugar beet pulps was fast and methane yield was relatively high. The highest methane yield of 330.9 l.kg⁻¹ VS was reached within the retention time of 35 days. An even higher methane yield of up to 388.9 l.kg⁻¹ VS was achieved at co-fermentation of sugar beet pulp with maize silage, but longer retention time of 55 days was required for biodegradation of the substrate. The experiment also demonstrated a positive effect of biotechnological pre-treatment on the process. Dosing of enzymatic additives increased the methane yield in both variants. The highest increase of 18.6 % was achieved at co-fermentation of sugar beet pulp and maize silage.

Key words: sugar beet pulp, biogas, methane yield, anaerobic digestion, biotechnological pre-treatment.

Kontaktní adresa – Contact adress:

Ing. Oldřich Mužik, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Oddělení ekonomiky zemědělských technologických systémů, Drnovská 507, 161 01 Praha 6 Ružyně, Česká republika, e-mail: oldrich.muzik@vuzt.cz