

## ODPADY ZE STRAVOVÁNÍ JAKO SUROVINA PRO VÝROBU BIOPLYNU

### FOOD WASTE AS A FEEDSTOCK FOR BIOGAS PRODUCTION

O. Mužík, J. Kára, I. Hanzlíková

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha

#### ABSTRACT

The contribution is focused on potential of food waste for biogas production. Laboratory experiments of biogas yield were carried out in single stage, bath, mesophilic digesters with volume of 1.5 litre. An impact of biotechnological additives on the methane yield from food waste was also assessed. The experiments demonstrated that food waste is a quality substrate for biogas production. Biodegradation of food waste was fast and methane yield was relatively high. The average methane yield of 351.7 l kg<sup>-1</sup> VS was reached within retention time of 30 day. The experiments also demonstrate a positive effect of biotechnological pre-treatment on the process. The dosing of enzymatic additives increased the methane yield of 8.2 %.

**Key words:** biogas, anaerobic digestion, methane yield, food waste, biotechnological pre-treatment.

#### ÚVOD

Řízená anaerobní digesce, proces využívaný v bioplynových stanicích (BPS), je jedním z možných způsobů energetického využití biomasy. Podle Pastorka et al. (2004) se jedná o vícestupňový biologický rozklad organických látek, na jehož konci působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů vzniká bioplyn. Vedlejším produktem výroby bioplynu je tzv. digestát, který zůstává jako tekutý zbytek z fermentoru po proběhnutí procesu anaerobní digesce. 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 metanu. 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 fytomasy 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. Surovinou vhodnou pro produkci bioplynu jsou také odpady ze stravování. Pod pojmem kuchyňské odpady nebo odpady ze stravování obvykle rozumíme odpadní materiály pocházející ze stravoven – restaurace, jídelny, občerstvení, ale v širším pojetí také bioodpady z domácností a potraviny s prošlou dobou spotřeby. Podle svého původu se mohou vlastnosti těchto odpadů celkem výrazně lišit, obvykle však tyto odpady bývají svými vlastnostmi pro výrobu bioplynu velmi vhodným substrátem. Mívají vyvážený poměr uhlíkatých a dusíkatých látek blížící se optimu a vysoký podíl proteinů a tuků, které mají vyšší měrou výtěžnost metanu než polysacharidy a obvykle vyžadují i kratší dobu zdržení ve fermentoru.

#### MATERIÁL A METODY

Pokusy byly zaměřeny na ověření možností výroby bioplynu z kuchyňských odpadů a vliv biotechnologické předúpravy vstupních substrátů na výtěžnost metanu. V provedených pokusech byly použity odpady ze závodního stravovacího zařízení, které se dávkuje do BPS Kněžice. Jako inokulum byl použit digestát rovněž z BPS Kněžice. Základní vlastnosti těchto substrátů jsou uvedeny v tabulce 1. Testované substráty byly namíchány v hmotnostním poměru sušiny (HPS) 1:1.

Tab. 1 Základní vlastnosti vstupních substrátů z kuchyňských odpadů

Substrát	Obsah sušiny (% hm.)	Obsah OS v sušině (% hm.)	C:N	pH
Kuchyňské odpady	23,93	92,41	18,4	5,47
Inokulum/digestát	5,82	58,97	11,1	8,45
Směsný substrát (HPS 1:1)	8,0	75,69	14,7	7,15

Obsah sušiny a organických látek ve vzorcích byly stanoveny gravimetricky - vysoušením 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 a ČSN EN 15169. Obsah celkového dusíku byl stanoven Kjeldahlovou metodou analyzátozem Kjeltec 1030. Hodnoty pH byly určeny pomocí pH-metru WTW pH/Cord 340i.

### Postup stanovení výtěžnosti metanu

Laboratorních pokusy s výtěžností bioplynu byly prováděny v malých fermentorech o objemu 1,5 l. Sada fermentorů byla umístěna ve vyhřívané vodní lázni, která umožňuje nastavení a udržování stálé teploty. Každý fermentor má svůj plynovej

bioplynu. Obsah metanu v bioplynu byl stanoven analyzátozem plynu Dräger X-am 700. Pro ilustraci je laboratorní zařízení pro určení produkce bioplynu znázorněno na obrázku 1. Všechny pokusy probíhaly tzv. dávkovým způsobem, v mezofilních podmínkách (teplota 40 °C), bez průběžného míchání a ve třech opakováních pro každou směs vstupních materiálů.

U varianty 2, která má stejné složení vstupních substrátů jako varianta 1, bylo navíc do směsí dávkováno aditivum Gasbacking v množství výrobcem předepsaném a ověřeném předchozími pokusy. Jedná se o enzymatický a bakteriální biotechnologický přípravek složený zejména ze směsi 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 metanu.



Obr. č. 1: Sada dávkových laboratorních fermentorů ve vyhřívané lázni s plynovej

### VÝSLEDKY A DISKUZE

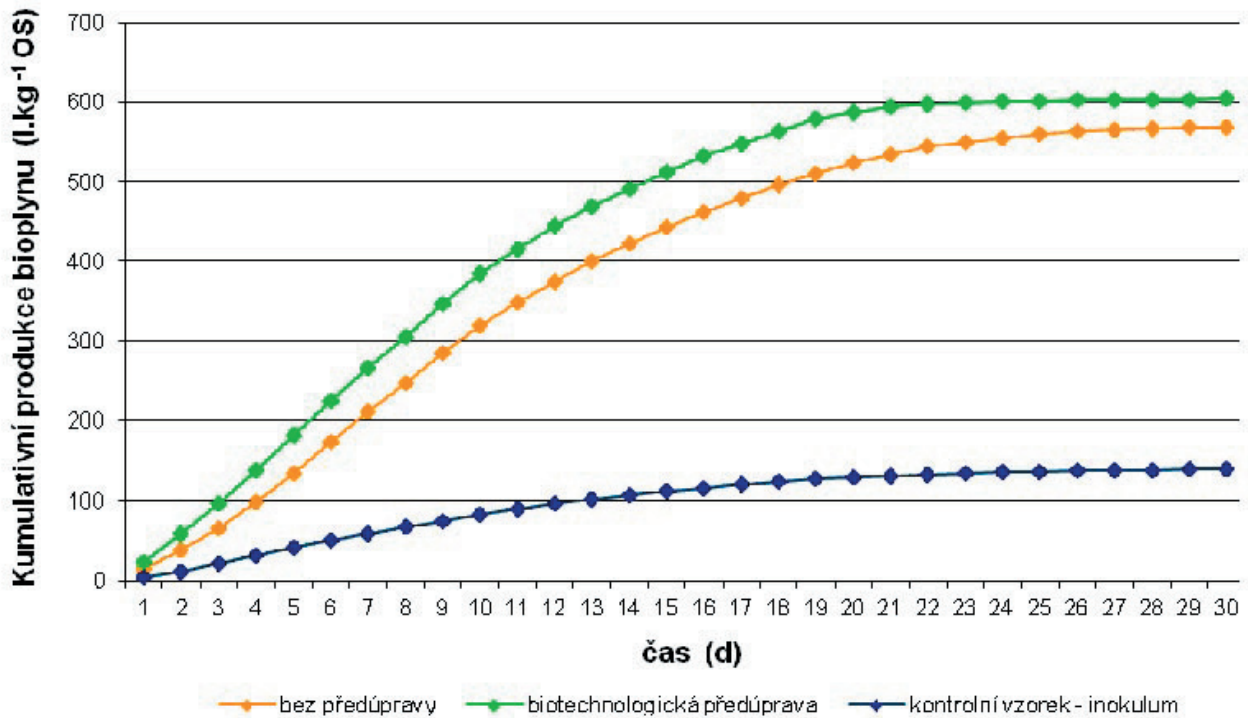
Pokus probíhal v takřka ideálních mezofilních podmínkách při teplotě 40 °C. Uváděné produkce bioplynu i metanu jsou vždy průměrné hodnoty ze tří opakování pokusů přepočtené na množství dávkované organické sušiny (OS). Hodnoty jsou rovněž očištěny od vlivu inokula, aby bylo možné lépe posoudit vhodnost testovaných substrátů pro výrobu bioplynu. Od celkové produkce bioplynu resp. metanu ze sledovaných vzorků je tedy odečteno adekvátní množství bioplynu či metanu vyprodukovaného z digestátu a tyto hodnoty jsou přepočítány na množství dávkované organické sušiny kuchyňských odpadů. Takto přepočtené výsledky představují skutečnou měrnou produkci bioplynu z těchto substrátů. Množství odbourané organické hmoty,

vyjádřené procentuálně jako poměr rozložených látek k původnímu obsahu organických látek v substrátu je naopak stanoveno ze směsných substrátů včetně digestátu.

Nejvyšší kumulativní produkce bioplynu i metanu bylo dosaženo u varianty s dávkováním biotechnologických prostředků – bioplyn 603,2 l kg<sup>-1</sup> OS, resp. metan 380,6 l kg<sup>-1</sup> OS. U varianty bez biotechnologické předúpravy bylo dosaženo průměrné výtěžnosti bioplynu 568,1 l kg<sup>-1</sup> OS a metanu 351,7 l kg<sup>-1</sup> OS, jak je patrné z tabulky 2 a obrázků 2 a 3. Pro srovnání El-Mashad et al. (2010) dosáhl produkce 657 litrů BP z kilogramu OS a metanu 353 l kg<sup>-1</sup> OS za 30 dní při teplotě 35 °C. Liu et al. (2009) v mezofilních podmínkách (35 °C) docílil v 25 dnech velmi vysoké výtěžnosti bioplynu 784 l kg<sup>-1</sup> OS a metanu 531,3 l kg<sup>-1</sup> OS. Ve všech případech byly fermentory

pravidelně míchány, což částečně vysvětluje dosažení vyšších měrných produkcí bioplynu. Výtěžností bioplynu byly prezentovanému pokusu výrazně blíže výsledky Zhanga et al. (2007) – 600 l kg<sup>-1</sup> OS BP a 435 l kg<sup>-1</sup> OS metanu v termofilních podmínkách (50 °C) za 28 dní zdržení vsázky ve fermentoru. Měrná produkce bioplynu a metanu z kuchyňských odpadů v našich pokusech tedy lehce zaostává za očekáváním. Na tuto skutečnost poukazuje i množství odbourané OS, které se pohybovalo ve většině variant pod 50 % hm., což je málo v porovnání

s ostatními autory. Qiao et al. (2011) docílil 78,8 % hm. odbourané organické sušiny a El-Mashad et al. (2010) dokonce 82 % hm. Nabízí se tedy možnost prodloužení pokusu, aby v důsledku delší doby zdržení substrátu ve fermentoru došlo k rozkladu většího množství organických látek, a tím i vyšší produkci metanu. Jak je však patrné z obrázku 4, produkce metanu byla po 25 dnech trvání pokusu už téměř zanedbatelná a delší doba zdržení by tedy k navýšení produkce nepřispěla.



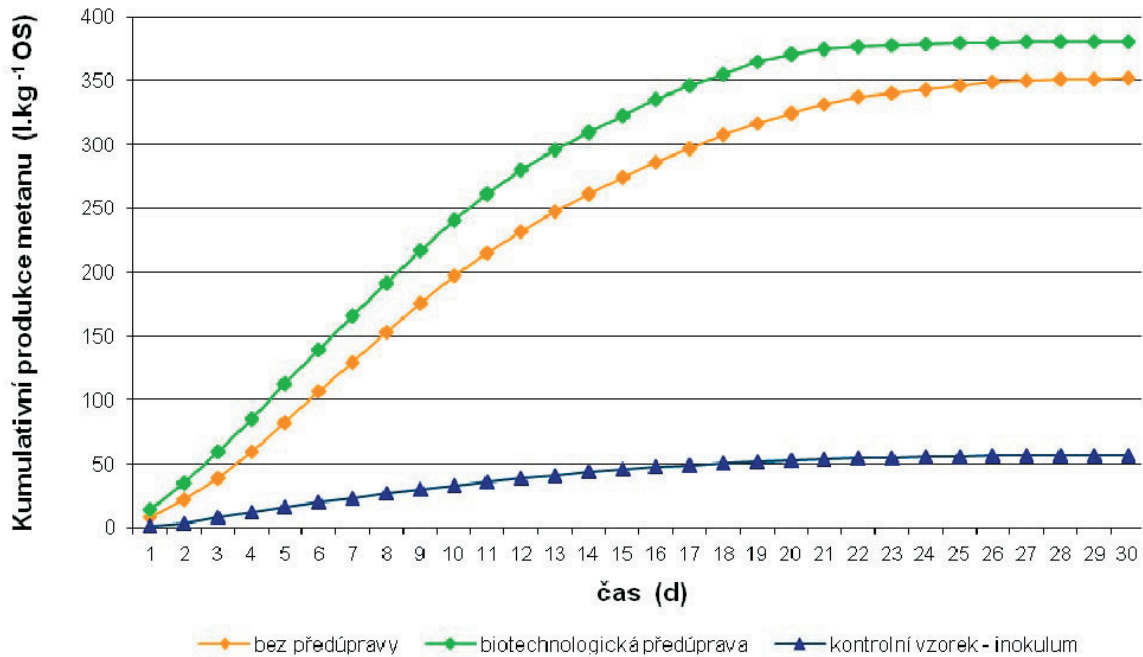
Obr. č. 2: Měrná kumulativní produkce bioplynu z kuchyňských odpadů

Laboratorní pokusy byly doplněny o ekonomickou kalkulaci přínosů biotechnologické předúpravy. Ekonomické vyhodnocení experimentu bylo spočítáno pro podmínky bioplynové stanice Kněžice, z níž pochází vstupní substráty použité při laboratorních experimentech. Tato obecní bioplynová stanice patří s instalovaným elektrickým výkonem 330 kW a jednostupňovým fermentorem o objemu 2500 m<sup>3</sup> spíše mezi menší. Vzhledem k tomu, že velká část BPS v ČR ekonomicky využívá pouze vyprodukovanou elektrickou energii a přebytečné teplo využívá omezeně či vůbec, jsou do kalkulací výnosů započítány jen tržby za extra vyprodukovanou elektřinu, a to za cenu garantovanou

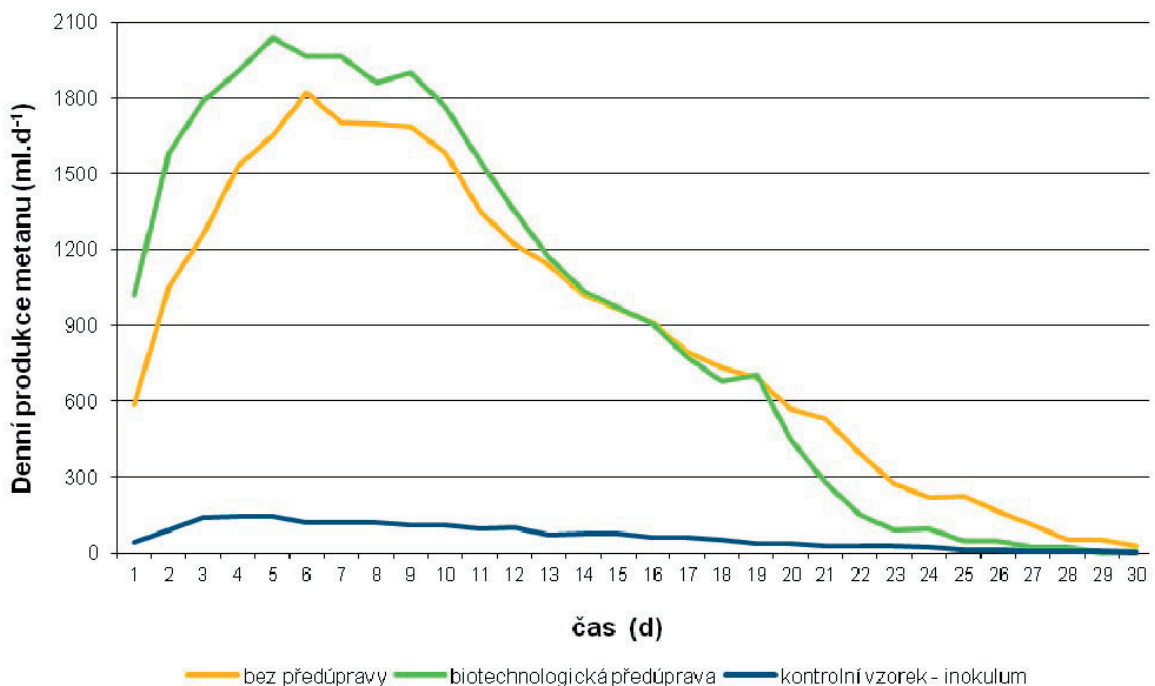
ERÚ. Elektrická účinnost kogenerační jednotky je počítána 36 %. Na straně nákladů jsou zahrnuty pouze náklady na pořízení a dávkování aditiv. Rozdíl mezi výnosy za extra vyprodukovanou elektrickou energii a náklady na tuto produkci vynaloženou by při navýšení produkce metanu o 8,2 % obj. představoval přibližně 670tis. Kč ročně. K vytvoření zisku by v našich podmínkách došlo již při navýšení výtěžnosti metanu o 2,1 % obj. Biotechnologické předúprava vstupních substrátů navíc v porovnání s ostatními způsoby intenzifikace výroby bioplynu (termická, mechanická předúprava) přináší nejnižší ekonomická rizika, protože nevyžaduje žádné vstupní investice.

Tab. 2 Měrná kumulativní produkce bioplynu a metanu z kuchyňských odpadů

Předúprava vstupních substrátů	Počet měření	Měrná produkce BP (l kg <sup>-1</sup> OS)		Měrná produkce metanu (l kg <sup>-1</sup> OS)		Obsah metanu (% obj.)	Odbouraná OS (% hm)
		Průměr	SO	Průměr	SO		
Bez předúpravy	3	568,1	11,8	351,7	7,3	61,9	48,2
Biotechnologická	3	603,2	13,1	380,6	8,3	63,1	52,4
Kontrolní vzorek	3	138,5	8,1	57,0	3,4	41,1	14,1



Obr. 3 Měrná kumulativní produkce metanu z kuchyňských odpadů



Obr. 4 Denní produkce metanu z kuchyňských odpadů

## ZÁVĚR

Výsledky provedených dávkových laboratorních experimentů potvrdily, že kuchyňské odpady jsou pro výrobu bioplynu vhodným substrátem. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo solidní výtěžnosti bioplynu i metanu, i když dosažené výsledky lehce zaostávají za výsledky obdobných pokusů provedených na jiných pracovištích. V porovnání s jinými testovanými substráty ve stejných podmínkách byl průběh procesu rychlý a produkce metanu relativně vysoká.

Významným výsledkem provedených experimentů bylo i ověření vlivu dávkování biotechnologického přípravku na produkci bioplynu a metanu. Biotechnologická předúprava

vstupních surovin by měla vést ke zvýšení rozložitelnosti organických látek, zrychlení jejich rozkladu a zvýšení produkce bioplynu. V prezentovaných dávkových pokusech se podařilo prokázat pozitivní vliv biotechnologické předúpravy vstupních substrátů, která přinesla navýšení produkce metanu o 8,2 % obj. Jakoukoliv metodu intenzifikace procesu anaerobní digesce je třeba hodnotit i z ekonomického hlediska. Dosažené navýšení produkce elektrické energie by v našich podmínkách vedlo k vytvoření ročního zisku okolo 670tis. Kč. Provedené experimenty tedy dokázaly, že biotechnologická předúprava vstupních surovin přispívá k intenzifikaci procesu anaerobní digesce, zvyšuje produkci metanu a je ekonomicky efektivní.

**PODĚKOVÁNÍ**

Tyto výsledky byly získány v rámci řešení výzkumného projektu NAZV MZe ČR “QI101C246 Využití fytohmasy z trvalých travních porostů a z údržby krajiny”

**LITERATURA**

PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVÍČ, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie. Praha FCC Public 2004. ISBN 80-86534-06-5

EL-MASHAD, H. M., ZHANG, R.: Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste, *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 11, 2010, p. 4021-4028, ISSN 0960-8524

LIU, G., ZHANG, R., EL-MASHAD, H. M., DONG, R.: Effect of feed to inoculum ratios on biogas yields of food and green wastes, *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 21, 2009, p. 5103-5108, ISSN 0960-8524

QIAO, W., YAN, X., YE, J., SUN, Y., WANG, W., ZHANG, Z.: Evaluation of biogas production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment, *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 12, 2011, p. 3313-3318, ISSN 0960-1481

ZHANG, R., EL-MASHAD, H. M., HARTMAN, K., WANG, F., LIU, G., CHOATE, C., GAMBLE, P.: Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, Volume 98, Issue 4, 2007, p. 929-935, ISSN 0960-8524

**ABSTRACT**

Tento příspěvek se zabývá laboratorním ověřením možnosti využití kuchyňských odpadů pro produkci bioplynu. Laboratorní pokusy s výtěžností bioplynu probíhaly v dávkových fermentorech o objemu 1,5 litru v mezofilních podmínkách. Vliv dávkování biotechnologického prostředku na produkci metanu z kuchyňských odpadů byl rovněž experimentálně ověřen. Experiment potvrdil, že kuchyňské odpady jsou pro produkci bioplynu vhodným substrátem s rychlým průběhem procesu anaerobní digesce a relativně vysokou výtěžností metanu. Průměrná produkce metanu ze tří opakování pokusu byla 351,7 l kg<sup>-1</sup> OS během 30 dní zdržení substrátu ve fermentoru. Experiment také prokázal pozitivní účinek enzymaticko-bakteriálního biotechnologického přípravku, který ve všech opakování experimentu zvýšil produkci metanu. Biotechnologická předúprava kuchyňských odpadů zvýšila produkci metanu o 8,2 %.

**Klíčová slova:** bioplyn, anaerobní digesce, výtěžnost metanu, kuchyňské odpady, biotechnologická předúprava.

***Kontaktní adresa:***

*Ing. Oldřich Mužík*

*VÚZT, v.v.i.*

*Drnovská 507*

*161 01 Praha 6 - Ruzyně*

*Tel.: 233 022 531*

*e-mail: oldrich.muzik@vuzt.cz*

***Recenzovali:*** Ing. M. Šperl, Ph.D., Ing. M. Macourek, Ph.D.