

POSSIBILITIES OF THE LEAN LANDFILL GAS UTILIZATION ON THE CLOSED LANDFILL SITE

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ZBYTKOVÉHO SKLÁDKOVÉHO BIOPLYNU UZAVŘENÉ SKLÁDKY

Kamarád L., Groda B.

Ústav potravinářské a environmentální techniky, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: xkamaral@mendelu.cz, groda@mendelu.cz

ABSTRACT

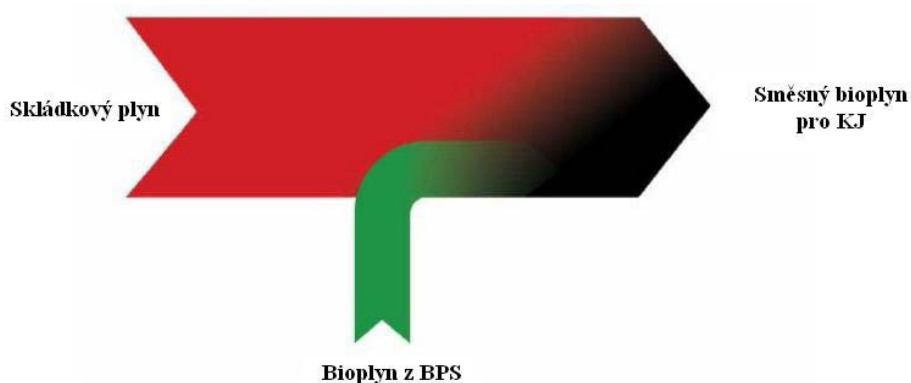
Goal of this diploma thesis is focused on the possibilities of an energetic utilization of the lean landfill gas (< 30% CH₄). The running of the biogas motor was not by only lean landfill gas burning stable enough. On the investigated closed landfill site was established a pilot plant for an energetic utilization of the lean landfill gas in combination with a biogas produced in a pilot biogas plant. By burning of the mixed biogas in a biogas motor are produced an electricity and a heat energy. The investigated source data were analyzed. Topics of this diploma were analyses of feed substrate and process parameters of the pilot biogas plant and biogas yield. Further were assessed the chemical parameters of the fermentation process in the pilot biogas plant to optimize the biogas treatment and compare the results with recommended values, which were got by investigations in IFA Tulln in Austria. There were made suggestions to optimize the fermentation process. Due to analyses of the pilot plant for the mixed biogas energetic utilization was made a decision, that the mixed biogas burning works and makes the running of the biogas motor more stable. The next result is that the fermentation process optimization is necessary to reach a higher efficiency by the biogas plant.

Key words: biogas, energetic utilization, lean landfill gas, anaerobic digestion, process optimization

ÚVOD

Téma, kterým se tato práce zabývá, je reakcí na snižující se koncentraci metanu ve skládkovém plynu z uzavřené skládky. Plyn je zde odčerpáván a energeticky využíván. Pokles koncentrace CH_4 ve skládkovém plynu pod 30% objemových se však stává kritickým, ohrožuje ekonomiku provozu odplyňovacího zařízení a v neposlední řadě jeho chod jako takový. Jestliže se tak stane, nezbývá než provoz zařízení ukončit nebo přemýšlet o vhodné alternativě řešení.

Pro prodloužení možnosti využívání skládkového bioplynu bylo na zadané skládce ke stávajícím objektům čerpačí stanice plynu a kogeneračních jednotek přistavěno pilotní zařízení anaerobní digesce. Jedná se o horizontální, vysokosušinyový bioplynový reaktor o objemu 70m^3 . Bioplynová stanice má zpracovávat biologicky rozložitelné odpady vhodné pro anaerobní digesti a sloužit jako pokusné zařízení pro ověřování vlastností a získávání zkušeností s různými substráty. Zároveň má být ověřena možnost spalování směsi bioplynu (viz Obr.1) z bioplynové stanice o vysokém obsahu metanu a skládkového plynu o nízké koncentraci metanu v kogenerační jednotce (KJ). Produkovaný směsný bioplyn je v KJ energeticky využíván za zisku elektrické energie a tepla.



Obr. 1: Schéma směšování skládkového plynu a bioplynu z pilotní bioplynové stanice

MATERIÁL A METODIKA

Na základě naměřených dat byla zhodnocena situace a perspektivy energetického využití skládkového bioplynu na zadané skládce. Dále byly vyhodnoceny provozní data projektu spalování skládkového bioplynu o nízké koncentraci metanu a bioplynu z pilotní bioplynové stanice (BPS) za rok 2006. Po zanalyzování provozních dat z energetického využití směsného bioplynu a BPS byl s pomocí chemických rozborů hodnocen provoz fermentoru pilotní bioplynové stanice.

Byla provedena kvanti-kvalitativní analýza digestátu, produkovaného bioplynu a vstupních surovin BPS. Podle výsledků chemických analýz obsahu fermentoru, je možné získat informace o stavu fermentačního procesu a v případě potřeby navrhnout optimalizační

opatření. Výsledky chemických analýz byly porovnány s optimálními hodnotami procesu fermentace v bioplynových stanicích, které vzešly z výzkumu pracoviště IFA Tulln (viz Tab.1), přičemž zelená barva odpovídá optimálnímu, žlutá kritickému a červená toxickému stavu prostředí pro metanogenní mikroorganismy ve fermentoru.

Celkem byly odebrány tři vzorky digestátu a výsledky chemických rozborů byly porovnány s hodnotami uvedenými v Tab.1. Hodnocené chemické parametry u digestátu byly pH, chemická spotřeba kyslíku, sušina, organická sušina, celkový dusík, amoniakální dusík a těkavé mastné kyseliny (TMK).

Vedle teploty v bioplynovém reaktoru byly sledovány kvanti-kvalitativní vlastnosti substrátu dávkovaného do BPS, množství a kvalita vyrobeného bioplynu a jeho podíl na celkovém energetickém využití směsi skládkového plynu a bioplynu z bioplynové stanice. Zároveň bylo vyhodnoceno množství čerpaného skládkového plynu, obsah metanu ve skládkovém plynu a směsném bioplynu spalovaného v kogeneračních jednotkách.

Tab.1: Oblasti hodnot k popsání stavu fermentorů bioplynových stanic (Laaber et al., 2006)

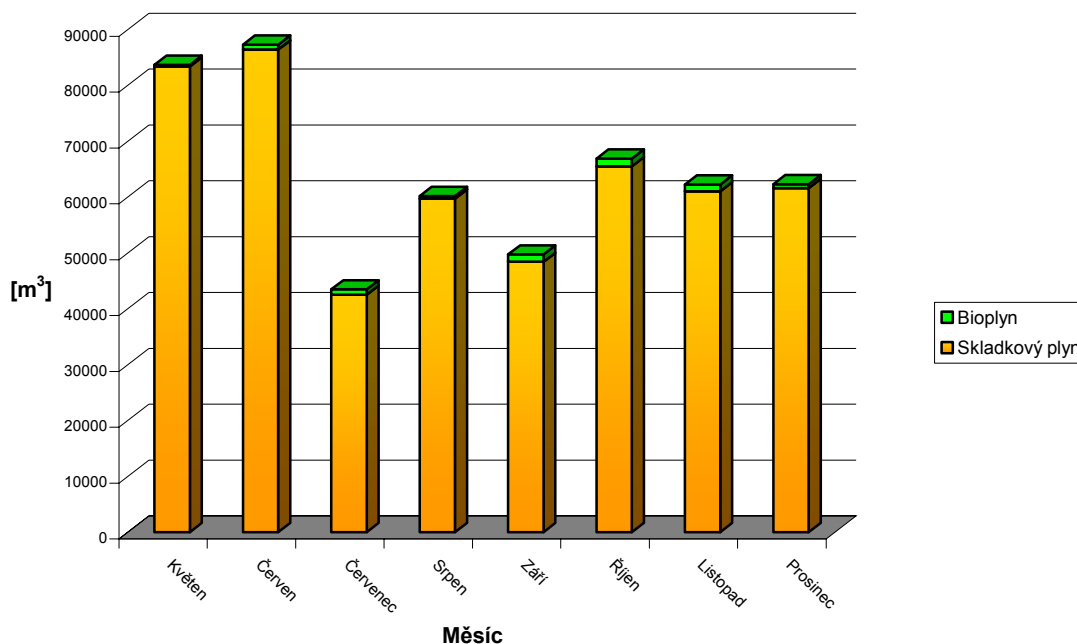
Parametr	Jednotka	Optimální, kritické a toxické hodnoty pro bioplynový reaktor		
		Zelená	Žlutá	Červená
pH	[-]	7,5 - 8,1	7,1 - 7,5	< 7,1; > 8,1
CHSK	[g/kg]	40 - 90	< 40; 90 - 110	> 110
Sušina	[%]	3 - 9	< 3	> 9
Org. sušina	[%]	2,4 - 5,5	< 2,4; 5,5 - 6,5	> 6,5
TKN	[g/kg]	< 6	> 6	-
NH ₄ -N	[g/kg]	< 5	> 5	-
UAN*	[mg/l]	< 600	600 - 800	> 800
kys. octová	[mg/l]	0 - 1000	1000 - 3000	> 3000
kys. propionová	[mg/l]	0 - 250	250 - 1000	> 1000
kys. i-máselná	[mg/l]	0 - 50	50 - 300	> 300
kys. máselná	[mg/l]	0 - 50	50 - 100	> 100
kys. i-valerová	[mg/l]	0 - 50	50 - 150	> 150
kys. valerová	[mg/l]	0 - 20	20 - 100	> 100
TMK celkem	[mg/l]	0 - 1500	1500 - 4500	> 4500

VÝSLEDKY A DISKUZE

Pro analýzu možnosti spoluspalování skládkového plynu a bioplynu z pilotní bioplynové stanice byla použita data poskytnutá provozovatelem a realizátorem projektu. V do jisté míry podobném zařízení v Horním Rakousku jsou skládkový plyn a bioplyn z BPS spoluspalovány v poměru 2:1. Bylo zjištěno, že na zadané skládce je tento poměr pro skládkový plyn a bioplyn z BPS 71:1.

Průměrný podíl bioplynu z pilotní BPS na celkovém množství energeticky využívaného plynu (viz Obr.2) tvoří za sledované období pouze 1,5%. Maximální dosažený podíl činil 2,5% v září. Toto je způsobeno především malou kapacitou pilotního zařízení. Zároveň je však nutno dodat, že průměrná hodnota 1,5% zatím nedosahuje projektovaných předpokladů. I při takto malém podílu však má pilotní zařízení hmatatelný podíl na zvýšení

průměrné koncentrace metanu ve směsném plynu spalovaném v kogenerační jednotce. Samotný skládkový plyn měl průměrnou koncentraci metanu 29,9%. Energetické využívání plynu s takovýmto obsahem metanu už přináší provozní komplikace v podobě výpadků kogeneračních jednotek. Díky dodávkám bioplynu z BPS o průměrné koncentraci 66,6% stoupla průměrná koncentrace metanu ve směsném bioplynu na 30,4% a tím byla překročena kritická hranice pro stabilní chod kogenerační jednotky. Spoluspalování se ukázalo jako bezproblémové a funkční. S optimalizací procesu BPS lze předpokládat vyšší dodávky bioplynu s vysokým obsahem metanu a tím dosažení ještě vyšší koncentrace metanu ve směsném bioplynu pro kogenerační jednotky. Při stavbě větší bioplynové stanice, by bylo možné se výrazně přiblížit podobnému spalovacímu poměru, kterého dosahují ve zmiňovaném Horním Rakousku.

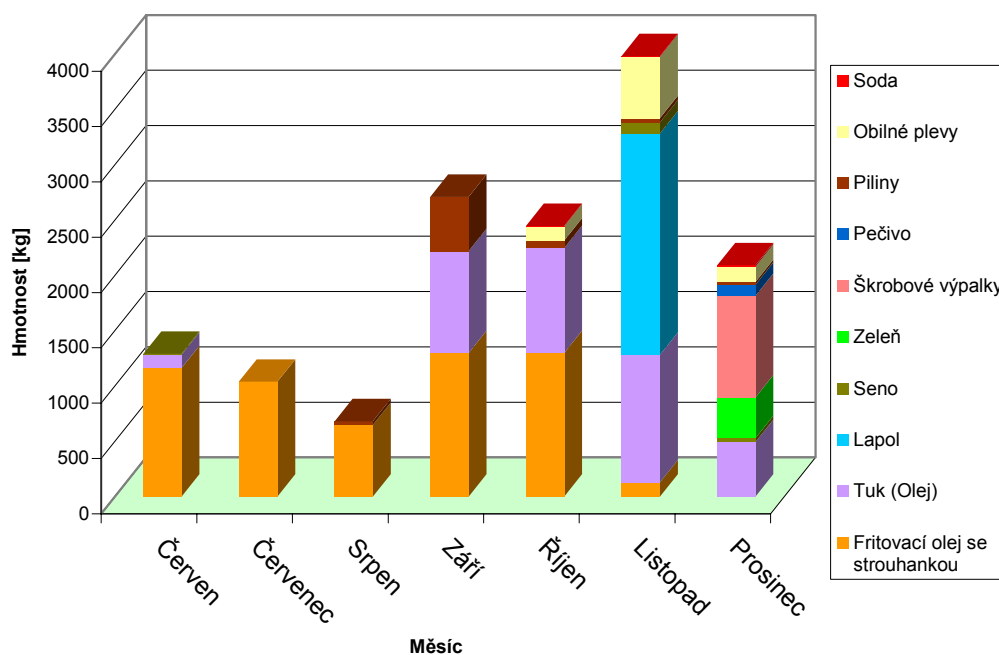


Obr. 2: Podíl skládkového plynu a bioplynu na celkovém množství energeticky využitého plynu

Během sledovaného období červen až prosinec 2006 byly do fermentoru dávkovány různé substráty. Jediným použitým substrátem, který by bylo možné označit za monosubstrát byly látky tukové povahy. Tuky místy tvořily až 100% denní dávky organické sušiny. Toto je v praxi provozování bioplynových stanic poměrně neobvyklé. Většinou bývají tuky používány pouze při kofermentaci jako kosubstrát a v mnohem menším podílu na dávkované organické sušině. Podle zkušeností z praxe i slov jednoho rakouského provozovatele BPS totiž při dávkování tuků větším než 30% z denní dávky může docházet k pění až vypění fermentoru. Proto je třeba při dávkování tuků postupovat obzvlášť obezřetně. Předávkování tuky se stalo velmi pravděpodobně i v případě pilotní BPS příčinou nekontrolovaného pění ve fermentoru. Zeman (2005) udává, že olej obsahuje přibližně 99% organické sušiny. Tuky

se rovněž vyznačují dlouhým uhlíkatým řetězcem a hydrofobními vlastnostmi, což znamená, že jejich rozklad za anaerobních podmínek je složitější než například u cukrů.

Při denní dávce 130kg oleje, byla tedy dávkována organická sušina v množství přibližně 127,5 kg/d. Při přepočtení na 60 m³ aktivního objemu fermentoru, činilo látkové zatížení organickou sušinou 2,1 kg /m³.d. Schulz a Eder (2004) udávají jako absolutní horní hranici zatížení organickou sušinou 5 kg/m³.d. Zatížení 2,1 kg/m³.d snášel reaktor bez potíží a vykazoval stabilní produkci bioplynu. Při zvýšení denní dávky oleje na 260 kg stoupl automaticky látkové zatížení reaktoru na 4,2 kg/m³.d. Toto by při jiném druhu substrátu nemuselo mít kromě možného, ale nikoli nutného, látkového přetížení další následky. V případě tuků však tato skutečnost byla doprovázena nekontrolovatelným bouřlivým pěněním. Následkem toho musel být reaktor na několik dní nuceně odstaven, neboť metanogeneze téměř ustala. Proces tak byl několik týdnů významně inhibován. Tato událost se stala v druhé polovině července a negativně se projevila jak na množství vyrobeného bioplynu za měsíc srpen (viz Obr.4), tak na malém množství zpracovaného odpadu (Obr.3). Pro korekci klesajícího pH byla do reaktoru v odůvodněných případech dávkována rovněž soda.

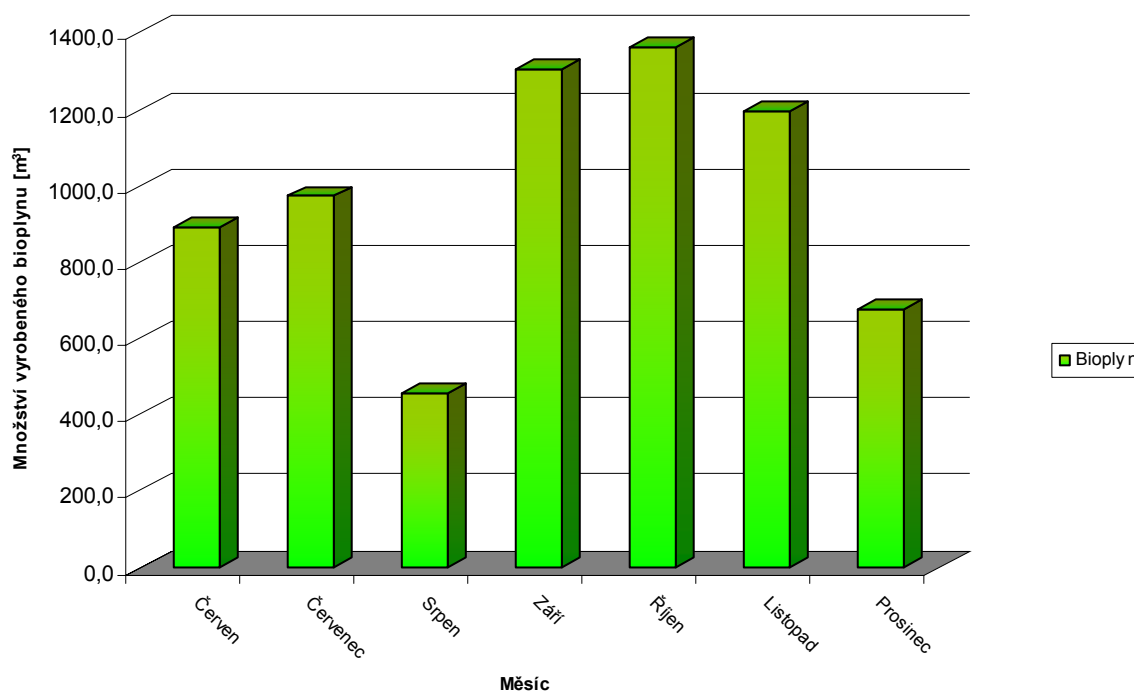


Obr. 3: Kvalitativní a kvantitativní zastoupení dávkovaných substrátů

Potvrdilo se, že nejlepší výsledky ohledně kvality a množství produkovaného bioplynu měly substráty tukové povahy, což potvrzují i Schulz a Eder (2004), kteří udávají výtěžek 1,25 m³ bioplynu na 1 kg sušiny a obsah metanu 68%. Dalšími zajímavými substráty byly škrobové výpalky a pečivo, které jsou bohaté především na sacharidy. U sacharidů stejní autoři udávají výtěžek 0,79 m³ bioplynu na 1 kg sušiny a obsah metanu 50%. Tukové substráty v praxi opravdu vykazovaly mnohem lepší parametry jak v kvalitě, tak i kvantitě vyrobeného bioplynu.

Pro produkci a kvalitu bioplynu nepřinosné, se ukázaly být piliny, jakožto ligninový materiál. Přínos obilných plev nemohl být vzhledem k dávkovaným množstvím prokázán. Význam dávkování sena a zeleně nelze potvrdit ani vyloučit, neboť tyto materiály byly dávkovány jako kosubstráty a v relativně malém množství, aby bylo možné hodnotit jejich vliv na tvorbu a kvalitu bioplynu.

V prosinci část tuků nahradily škrobové výpalky a pečivo. Tyto substráty obsahují především sacharidy, které se od tuků odlišují rychlejším odbouráváním, nižším výtěžkem bioplynu na 1 kg organické sušiny a rovněž nižší kvalitou produkovaného bioplynu. To potvrzují výše Schulz a Eder (2004). Je nutno dodat, že výpalky obsahovaly pouze 6% sušiny, což znamená, že 94% z hmotnosti dávkovaného množství tohoto substrátu činila voda. Z Obr.3 a Obr.4 je patrné, že v červenci bylo sice zpracováno asi o 50% méně odpadu než v prosinci, ale přesto bylo vyrobeno o 30% více bioplynu. Obr.4 dále ukazuje, že byl v měsíci prosinci zaznamenán oproti září, říjnu a listopadu, jak významný pokles množství vyrobeného bioplynu, tak pokles obsahu metanu v bioplynu (viz Obr.5).



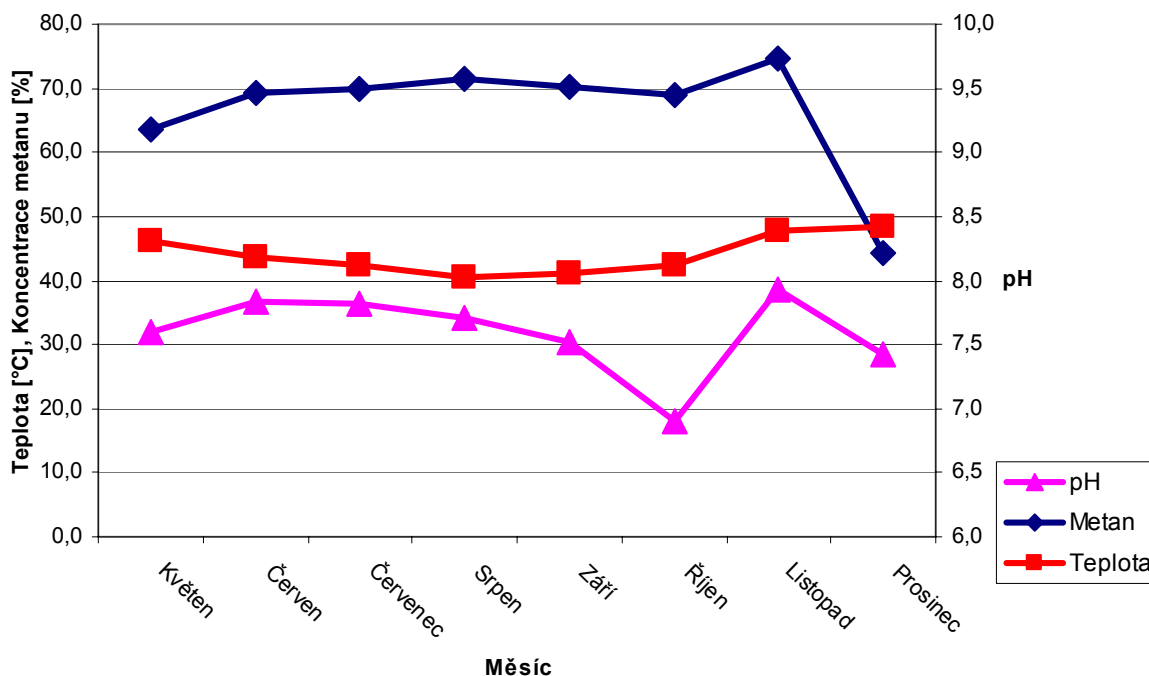
Obr. 4: Množství vyrobeného bioplynu

Kaltwasser (1980) se zmiňuje o vlivu teploty na dosažitelný výtěžek bioplynu, kdy jsou termofilní bakteriální kmeny v tomto směru úspěšnější než kmeny mezofilní. Baader et al. (1978) uvádí, že čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad substrátu a tím vyšší je produkce bioplynu. Zároveň se zkracuje doba fermentace a snižuje se obsah metanu v bioplynu. Toto je částečně v rozporu se zkušenostmi z provozu pilotní BPS. Zvýšení provozní teploty z průměrných 42°C v říjnu na 48°C v listopadu se pravděpodobně projeví, při dávkování substrátu tukové povahy, na nejvyšším průměrném obsahu metanu v bioplynu

za celé sledované období. Ten činil 74,6% objemových. V prosinci však po změně substrátu na převážně sacharidovou povahu klesl při stejné teplotě na pouhých 44,2% metanu. Toto mohlo být způsobeno rovněž adaptačním procesem metanogenních mikroorganismů.

Podle provedených analýz a porovnání výsledků (viz Tab.2) s Tab.1 lze označit analyzovaný fermentor jako nestabilní. Obsah sušiny a organické sušiny byl zhodnocen jako kritický. Fermentor je sice konstruován na obsah sušiny až 25%, ale výsledky analýz ukazují, že tento potenciál je při zjištěné sušině kolem 3% značně nevyužit. Nízká sušina je způsobena jak množstvím použitého substrátu, tak jeho vlastnostmi. Jestliže jsou do fermentoru dávkovány pouze nebo především tuky, není možné sušinu s ohledem na výše zmiňované obtíže, které jsou s dávkováním tuků spojené, zvyšovat. Při zvýšení dávek tuků by totiž mohlo dojít k úplnému kolapsu systému.

Jako jednoznačný ukazatel, pro konstatování, že fermentační proces ve sledovaném reaktoru neprobíhá optimálně, jsou zjištěné koncentrace těkavých mastných kyselin (TMK). Parametr sumy koncentrací TMK se u všech tří analyzovaných vzorků nachází v toxickém pásmu. Straka (2003) udává jako maximální přípustný poměr koncentrace kyseliny propionové a kyseliny octové hodnotu 1,4. U všech tří vzorků je však tento ukazatel výrazně překročen.



Obr. 5: Průměrné měsíční hodnoty sledovaných parametrů

Resch et al. (2006) o TMK píše jako o jednom z charakteristických metabolitů anaerobní digesce, který při vysokých koncentracích působí inhibičně. Jako další indikátor

silně inhibovaného a nevyrovnaného systému udává tentýž autor výrazný pokles množství produkovaného bioplynu. Při svém pokusu se substrátem o vysokém obsahu tuků zjistil, že při vyšším látkovém zatížení s přibývajícím časem docházelo k akumulaci hůře rozložitelných látek a jejich reziduí ve fermentoru. Toto bylo doprovázeno výrazným nárůstem koncentrace TMK, především pak kyseliny propionové. Množství vyrobeného bioplynu a výsledky chemických rozborů jeho slova potvrzují.

Mezi výše popsaným vývojem a vývojem v analyzovaném reaktoru lze pozorovat určitou analogii. Ve fermentoru pilotní BPS pravděpodobně rovněž došlo k akumulaci hůře rozložitelných látek na úroveň toxickou pro metanogenní bakteriální kmeny. Tím docházelo k inhibici metanogeneze, která byla jasně patrná především v měsíci srpnu.

Tab. 2: Tabulka výsledků chemických analýz

Parametr	Jednotka	Analyzované vzorky		
		Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3
pH	[-]	8,1	7,68	7,41
CHSK	[g/kg]	18,9	61,8	55,4
Sušina	[%]	2,5	3,96	3,2
Org. sušina	[%]	1,9	2,7	2,51
TKN	[g/l]	5,8	4,55	4,81
NH ₄ -N	[g/l]	3,7	2,11	2,23
kys. octová	[mg/l]	2383	1594	952
kys. propionová	[mg/l]	5998	4315	6372
kys. i-máselná	[mg/l]	19	0	515
kys. máselná	[mg/l]	1073	695	103
kys. i-valerová	[mg/l]	0	0	520
kys. valerová	[mg/l]	0	695	70
TMK celkem	[mg/l]	9473	7299	8532

ZÁVĚR

Analýzou provozních dat pilotního zařízení bylo potvrzeno, že společné energetické využívání skládkového plynu a bioplynu z BPS je funkční a projekt je v tomto smyslu úspěšný. I přes relativně malý rozměr pilotní bioplynové stanice a určitou neoptimálnost jejího provozu, byl zaznamenán její hmatatelný podíl na zvýšení výsledné koncentrace metanu v bioplynu dodávaném do kogenerační jednotky. Byl tak položen základní kámen pro realizaci podobných zařízení ve větším měřítku. S nastupujícím zájmem o výstavbu bioplynových stanic by mohla být tato koncepce zajímavá jak pro potenciální provozovatele

či investory do podobných zařízení, tak i pro producenty biologicky rozložitelného odpadu. Pro provozovatele skládek nebo obce, v jejichž katastru se skládka nachází, může jít do budoucna o elegantní skloubení technologií využívajících energii uloženou v biologicky rozložitelných odpadech. Přitom může provozovatel skládky výrazně prodloužit dobu, po kterou bude moci využívat skládkový plyn i při nízkých koncentracích metanu. Obě zařízení mohou využívat společnou kogenerační jednotku, což vede k výrazné finanční úspoře oproti navzájem nezávislé realizaci. Při instalaci plynoměrů na obě přívodní větve bioplynu, lze vyrobenou elektrickou energii prodávat za různé výkupní ceny, přičemž elektrická energie vyrobená z bioplynu z BPS je cenově zvýhodněna. Bioplynovou stanicí pak lze nadále provozovat i po ukončení tvorby skládkového plynu v tělese skládky.

Vzhledem k získaným zkušenostem s provozem pilotní BPS, je nutné zlepšení stávajícího monitoringu procesu a důsledná kvantitativní i kvalitativní analýza potenciálních substrátů. Je třeba přenést těžiště využívaných substrátů od látek především tukové povahy k substrátům s rovnoměrnějším zastoupením sacharidů, tuků a bílkovin.

Při chemické analýze vzorků z fermentoru pilotní BPS a porovnání s daty získaných z rakouských bioplynových stanic, byly u některých parametrů zjištěny rizikové i toxické hodnoty a proces se tak jeví jako nestabilní. Zvýšené koncentrace těkavých mastných kyselin jsou pravděpodobně zapříčiněny i zpracováním substrátu především tukové povahy. Soustavná akumulace meziproductů nedokonalého rozkladu hůře rozložitelných látek inhibuje proces metanogeneze a nedovoluje lépe využít energetický potenciál obsažený v substrátu. Zařízení je nutné za stávající situace pravidelně sledovat a analyzovat, aby bylo možné včas reagovat na hrozící komplikace. Pokud má provozovatel v úmyslu provozovat zařízení při vysokém látkovém zatížení nebo stávajícím složení substrátu, měl by vážně uvažovat nad investicí do druhého fermentačního stupně, což by umožnilo lepší rozklad i hůře rozložitelných látek a zároveň vyšší celkový výtěžek bioplynu. Problém je třeba řešit i změnou skladby a množstvím dávkovaného substrátu.

LITERATURA

- Baader W., Dohne E., Brenndörfer M.(1978): *Biogas in Theorie und Praxis*, KTBL-Schrift Nr. 229, Darmstadt.
- Kamarád L. (2007): *Možnosti využití zbytkového skládkového bioplynu uzavřené skládky*, Diplomová práce, MZLU v Brně, Brno.
- Kaltwasser B.J.(1980): *Biogas. Regenerative Energieerzeugung durch anaerobe Fermentation organischer Abfälle in Biogasanlagen*, Bauverlag Wiesbaden.
- Laaber M., Braun R., Kirchmayr R. (2006): *Biologische Prozessoptimierung von Biogasanlagen*, Informationsmagazin der ARGE Kompost und Biogas, 1/06, Linz.
- Resch C., Grasmug M., Smeets W., Braun R., Kirchmayr R. (2006): *Optimised anaerobic treatment of house sorted biodegradable waste and slaughterhouse waste in a high loaded half technical scale digester*, WATER SCI TECHNOL, 53: 213-221; ISSN 0273-1223.
- Schulz H., Eder B. (2004): *Bioplyn v praxi*, přel. Marie Šedivá, 1. české vydání, nakladatelství HEL, Ostrava.
- Straka F. (2003): *Bioplyn, příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*, 1. vydání, GAS s.r.o., Říčany.
- Zeman L. (2005): *Krmivářské tabulky*, Skriptum MZLU v Brně, Brno.