

Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu

Lukáš Pospíšil

Úvod

Do současnosti existovalo pouze velmi málo relevantních poznatků o procesu „suché“ fermentace. Bioplynových stanic pracujících na tomto principu je v Evropě pouze několik desítek. Projekt **Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účel vývinu bioplynu** spolufinancovaný z prostředků Ministerstva průmyslu a obchodu z programu Trvalá prosperita si klade za cíl zvýšit sumu poznatků v tomto oboru a především postupně optimalizovat celý proces „suché“ fermentace. Za tímto účelem bylo zřízeno v Šumperku světově unikátní pracoviště na výzkum „suché“ fermentace, které navazuje na provozní bioplynovou stanici o el. instalovaném výkonu 526 kWh.

Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci

Základním principem bioplynových stanic obecně je anaerobní rozklad biologicky rozložitelných materiálů (biomasa – cíleně pěstované zemědělské plodiny a produkty jejich zpracování, hnůj z živočišné výroby, travní zeleň, BRO, ...) na bioplyn a jeho přeměna na elektrickou energii a teplo. Na konci procesu zůstává pevný zbytek (fermentát) a tekutý zbytek (perkolát).

Bioplynové stanice pracující na principu „suché“ fermentace zpracovávají především biomasu s vyšším obsahem sušiny, která je do garážovitého fermentoru navážena v sypkém stavu kolovým nakladačem. Je zde možné zpracovávat především netekuté substráty jako jsou:

- hnůj z živočišné výroby
- travní senáž
- kukuřičná siláž
- tráva z veřejných prostranství
- různé druhy biologicky rozložitelných odpadů – prošlé ovoce, zelenina, odpady ze supermarketů
- vytríděné biologicky rozložitelné komunální odpady

Přednosti „suché“ fermentace oproti klasické v praxi hojně rozšířené „mokrě“ fermentaci jsou:

- vhodné pro biomasu s vyšším obsahem sušiny (25 % a více)
- vhodné pro získávání energie z biologicky rozložitelných komunálních, zemědělských a potravinářských odpadů
- nižší spotřeba el. energie – biomasa se ve fermentoru nemíchá ani do něj nečerpá
- jednoduché rozšíření stanice
- biomasu není nutné před vstupem do fermentoru rozmělnovat nebo jinak upravovat
- v případě navedení nevhodného materiálu (např. biomasa s přísadami antibiotik, problémové příměsi, které se mohou objevit v některé ze složek biologicky rozložitelném odpadu ...) nehrozí kolaps celé stanice. Vyveze se pouze jeden postižený fermentor a následně naplní čerstvou biomasou. Chod bioplynové stanice jako celku není ohrožen.
- nižší poruchovost stanice – nemá míchací zařízení, biomasa se naváží dovnitř kolovým nakladačem, nikoliv čerpadly

- díky zpracování odlišných substrátů je dosahováno vyššího obsahu metanu a nižšího obsahu síry než na mokřích bioplynových stanicích

Zatímco klasických „mokřích“ bioplynových stanic (kruhové válce do kterých je biomasa čerpána v tekutém nebo kašovitém stavu čerpadly) je po celé ČR cca 150 a v zahraničí tisíce, suché bioplynové stanice jsou ČR v provozu zatím pouze dvě. Jedna z nich byla v Šumperku Temenici uvedena květnu 2009 do zkušebního a v prosinci 2009 do plného provozu.

Výzkum „suché“ fermentace

V zahraničí, především v SRN, je „suchých“ bioplynových stanic zatím pouze několik desítek. Suma poznatků o provozování těchto zařízení byla do současné doby velmi omezená.

To byl hlavní důvod, proč se firma FORTEX-AGS, a.s. rozhodla realizovat projekt Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomas za účelem vývinu bioplynu. Dvouletý projekt realizovaný v letech 2008 – 2009 obdržel dotaci z Ministerstva průmyslu a obchodu z programu Trvalá prosperita. Na projektu úzce spolupracovala Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

Cílem projektu byla optimalizace procesu „suché“ fermentace (fermentace netekutých substrátů). Prostředkem k naplnění tohoto cíle bylo vybudování a provoz laboratorního pracoviště v Šumperku Temenici, kde byly jednotlivé substráty a jejich kombinace podrobně zkoumány. Výsledky byly poté ověřovány na provozní bioplynové stanici v Šumperku Temenici. Projekt se týkal především biologicky rozložitelných materiálů ze zemědělské výroby, doplnkově rovněž biologicky rozložitelných odpadů.

Laboratorní pracoviště

Prvním krokem k získání potřebného souboru dat bylo vybudovat laboratoř, sestavit a zprovoznit laboratorní reaktory. Vzhledem k absenci relevantních podkladů a informací a to jak na teoretické tak i praktické úrovni bylo velmi těžké a složité správně dimenzovat a provozovat speciálně zkonstruované reaktory, ve kterých testy probíhaly. Při návrhu a konstruování reaktorů se vycházelo ze zkušeností z již realizovaných zařízení obdobného charakteru pro zpracování tekutých substrátů. Bylo zkonstruováno 6 kovových reaktorů o objemu 0,5 m³ vybavených samostatným teplovodním okruhem pro ohřev biomasy přes mezistěnu, měřením množství vznikajícího bioplynu, okruhem pro aplikaci procesní tekutiny (perkolátu), měřením teplot perkolátu, biomasy a bioplynu, včetně prostupů pro odběr jejich vzorků.



Obr. 1: Laboratorní pracoviště



Obr. 2: Výzkumný fermentor

Vybudování a zprovoznění laboratorního pracoviště trvalo takřka rok. Nicméně byly vytvořeny světově unikátní podmínky pro výzkum „suché“ fermentace (někde nazývané fermentace netekutých substrátů), kde na jedné straně existuje laboratorní pracoviště, které může prozkoumat kterýkoliv biologicky rozložitelný materiál a na straně druhé vedle něj provozní bioplynová stanice, kde je možné ověřit zemědělské substráty v praxi. Vývojové pracoviště tohoto rozsahu nebylo do současnosti vybudováno nejen v naší republice, ale ani nikde v Evropě.

Provozní bioplynová stanice



Obr. 3: Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci



Obr. 4: Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci

Bioplynová stanice se skládá ze 6 garážových fermentorů o rozměrech 35*4,72*5,70 m. Celkový objem je takřka 1000 m³, což je 2000x více, než u laboratorních fermentorů. V každém fermentoru je zabudováno podlahové vytápění, které zahřívá biomasu na požadovaných 38 °C. Stanice je vybavena společným perkolátním okruhem. Biomasa je kropena tryskami na stropě. Poté co perkolát proteče biomasou je jímán v podlahových kanálcích a následně odváděn do dvou společných perkolátních tanků o objemu 120 m³. Vznikající bioplyn je odsáván do plynového vaku a následně transformován v kogenerační jednotku o výkonu 526 kWh na el. energii a teplo. El. energie je dodávána do sítě vysokého napětí a teplo je napojeno na nedalekou kotelnu a slouží k ohřevu topné vody a TUV na sídlištích.

Průběh výzkumu – sledované parametry

Při výběru sledovaných parametrů pro laboratorní bioplynovou stanici se vycházelo především ze zkušeností a poznatků z provozování obdobné laboratoře na tekuté substráty na Mendelově univerzitě v Brně. Testování probíhalo v mezofilních podmínkách, to znamená, že teplota biomasy uvnitř reaktoru i perkolátu byla udržována na hodnotě 38 °C ± 3 °C. Pokusy byly prováděny vždy na dvojicích reaktorů současně.

Každý den byly obsluhou zaznamenávány:

- množství vzniklého bioplynu za posledních 24 hod
- složení bioplynu - CH₄, CO₂, H₂S, O₂
- teplota bioplynu, biomasy a perkolátu
- pH perkolátu

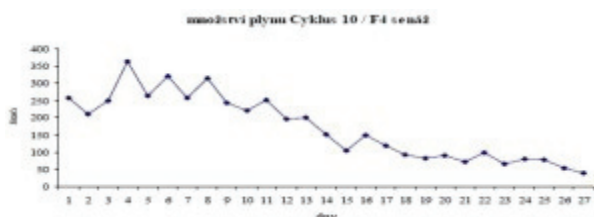
Jedenkrát týdně byly odebírány vzorky perkolátu a analyzovány v laboratoři firmy FORTEX AGS, a.s. a v laboratoři VÚCHS v nedalekém Rapotíně na:

- masné kyseliny - octová, propionová, mléčná
- rozpuštěné látky - sušina 60 °C, sušina 105 °C, organická sušina 550 °C, ztráta žíháním, N-NH₄
- nerozpuštěné látky - sušina 105 °C, organická sušina 550 °C, ztráta žíháním

Při každé výměně biomasy (tzn. 1x za 28 dnů) byly odebírány a analyzovány vzorky vstupní a výstupní biomasy na:

- sušina, popel
- N_{org}, N-NH₄, P_{celk}

Výsledky výzkumu



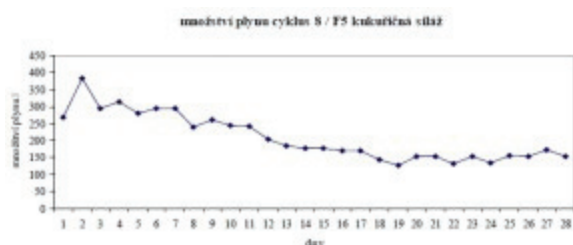
Obr. 5: Anaerobní proces - travní senáž

Travní senáž

Kvantita bioplynu se pohybovala kolem 150 litrů za den, přičemž maxima bylo dosaženo do 5 dnů ve výši kolem 300 l na fermentor za den. Na těchto hodnotách se křivka držela max. 5 dnů až týden a následoval pád na hodnoty kolem 150 l a dále pozvolný sestup až hodnoty pod 100 l za den ke konci cyklu. U senáž bylo častým jevem nedostatek perkolátu. Druhý den po naplnění bylo třeba dolévat perkolátní tekutinu nebo vodu. V případě nedostatku perkolátu docházelo k poklesu produkce bioplynu.

Anaerobní proces při mezofilních podmínkách má stabilní hodnotou pH s minimálními výkyvy. Hodnota pH oscilovala v rozmezí 7,3 – 8,0. Do procesu nebylo nutné zasahovat a upravovat pH.

Samotná travní senáž dosáhla hodnot přes 50 % CH₄ většinou do 6 dnů. Po zbytek cyklu se držela mezi 50 – 55 % CH₄.



Obr. 6: Anaerobní proces - kukuřičná siláž

Kukuřičná siláž

Maximálního objemu bioplynu bylo dosahováno již dva dny po naplnění fermentoru, což byl nejrychlejší náběh ze všech sledovaných substrátů. Maxima se držela cca 5 až 7 dnů kolem 300 l bioplynu za fermentor na den. Do poloviny cyklu poklesla produkce bioplynu na 150 – 200 l, aby po zbylých cca 14 dnů stagnovala okolo 150 l na fermentor za den. Průměrné denní množství bioplynu bylo kolem 220 l, což je cca o 50 až 70 l více než u travní senáže (především díky takřka dvojnásobným hodnotám ke konci cyklů).

Anaerobní proces při mezofilních podmínkách se vyznačoval proměnlivou hodnotou pH a to především na počátku cyklu. Počáteční nízké pH je typickým znakem siláže, která obsahuje nižší mastné kyseliny, především kyselinu mléčnou. U toho substrátu bylo nutné sledovat a případně upravovat hodnotu pH, která oscilovala v rozmezí pH 5- 8,6. V pásmu 6,5 -8,6 proces fungoval bez výraznějšího dopadu na produkci nebo kvalitu bioplynu. Při poklesu pH pod 6,5 začalo docházet k omezování produkce bioplynu a ke zhoršování jeho kvality, když převládla respirace mikroorganismů nad metanogenesí. Proces „fungoval“ i při pH 5, nicméně produkce bioplynu byla zhruba na jedné třetině průměrných hodnot pro tento substrát. Při poklesu pod pH 6 bylo intervenováno přiléváním vápenného mléka do perkolátu. To mělo za následek obrát pH a jeho srovnání v řádu několika dnů. U většiny cyklů má křivka pH tvar písmene „U“, kdy zpočátku během několika dnů klesne a následně po zbytek cyklu mírně roste. U kukuřičné siláže by bylo možné uvažovat jako u jediného z testovaných substrátů o prodloužení cyklu z 28 dnů např. na 35 dnů. I ke konci cyklu dosahovala relativně vysoké hodnoty bioplynu kolem 150 l na den.

Zatímco množství bioplynu dosáhne svých maximálních hodnot velmi rychle, kvalita bioplynu stoupá k 50 % CH₄ velmi pomalu. Trvá cca týden, než složení bioplynu dosáhne stabilních hodnot. Pokud dojde na počátku cyklu k výraznějšímu poklesu pH, může trvat ustálení složení bioplynu i několik týdnů. Hodnoty CH₄ se pohybují kolem 50 %.

U kukuřičné siláže se projevila velmi silné závislosti mezi pH/tvorbou masných kyselin/ množstvím vyprodukovaného bioplynu/ a kvalitou vyprodukovaného bioplynu.



Obr. 7: Anaerobní proces - hovězí hnůj

Hovězí hnůj

Množství vyprodukovaného bioplynu z tohoto materiálu se pohybovalo v rozpětí 30 – 60 litrů za den s typickými propady v produkci bioplynu v průběhu cyklu. Na chlévskou mrvu je možno pohlížet jako na materiál s nízkou produkcí bioplynu.

Anaerobní proces při mezofilních podmínkách se vyznačoval velmi stabilní hodnotou pH s výkyvy v minimálním rozpětí. Hodnota pH oscilovala v rozmezí 7,6 – 7,8. Z tohoto pohledu je možné považovat hovězí hnůj za nejstabilnější ze všech dále zkoumaných materiálů.

Doba náběhu na maximální tvorbu metanu činí cca 7 dnů. Po této době obsahuje bioplyn takřka 60 % CH₄. Poté až do konce cyklu podíl metanu mírně klesá z 60 % na cca 55 %.

Hovězí hnůj produkoval velmi málo relativně kvalitního bioplynu. Je vhodný především ke stabilizaci celého procesu. Během cyklu vznikají výrazné přebytky perkolátní tekutiny, která byla při výzkumu odlévána a následně skladována v zásobnících, aby ji bylo možno následně použít u materiálů s vyšším obsahem sušiny (travní senáž), kde naopak byl perkolátu nedostatek.



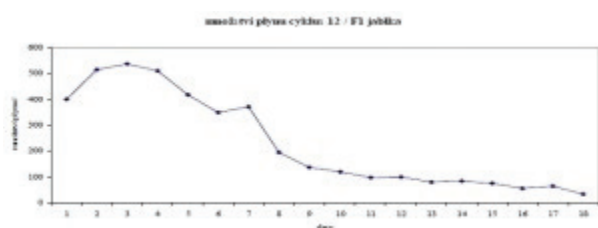
Obr. 8: Anaerobní proces - vepřový hnůj

Vepřový hnůj

Zatímco křivka množství vyprodukovaného plynu u hovězího hnoje připomínala tvar obráceného „W“, se dvěma vrcholy, u vepřového hnoje měla tato křivka již klasický tvar s rychlým náběhem, vrcholem a pozvolnějším poklesem. Maximálního objemu plynu bylo dosahováno do cca 4 dnů, tzn. o něco rychleji než u travní senáže, ale pomaleji než u kukuřičné siláže. Maximálních hodnot okolo 250 l za fermentor a den bylo měřeno cca 4 dny. Poté následoval propad až na hodnoty kolem 100 l za den. Poslední dva týdny křivka pozvolna klesala ze 100 l až na 50 l za den. U tohoto materiálu by bylo možné uvažovat se zkrácením cyklu z 28 dnů na cca 21 dnů. Poslední týden zdržení již byl z hlediska produkce bioplynu vysoce neefektivní. Průměrné hodnoty bioplynu při 28 denním zdržení se pohybovaly v rozmezí 120 – 150 l za fermentor.

Stejně jako u hovězího hnoje vykazoval i tento materiál velmi stabilní pH s minimálními výkyvy. Hodnota pH oscilovala v rozmezí 7,5 – 8. Ani v jednom cyklu nepokleslo pH pod 7. S tím souviselo i velmi nízké množství všech masných kyselin.

I v případě vepřového hnoje docházelo k velkým přebytkům perkolátu, který byl několikrát za cyklus z fermentoru odčerpáván. Díky svému složení a vysokému pH jsou u tohoto substrátu vykazovány nízké hodnoty masných kyselin.



Obr. 9: Anaerobní proces - odpad ze zemědělské prvovýroby ze sušení jablek

Odpad ze zemědělské prvovýroby ze sušení jablek

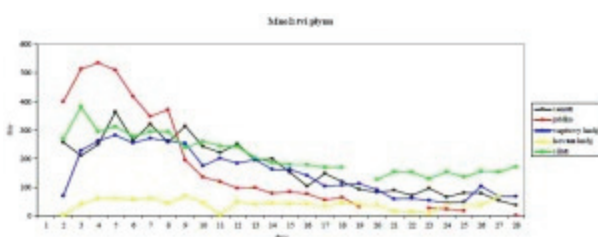
Kromě výše uvedených zemědělských surovin byl rovněž testován vedlejší produkt ze zemědělské prvovýroby vznikající při sušení jablek (ohryzky, slupky). Tento materiál jsme otestovali v laboratorních podmínkách samostatně a následně v kombinaci se senáží a GPS, jakožto s materiály s vyšším obsahem sušiny.

Tento substrát vykazoval velmi vysoké hodnoty bioplynu již 24 hod po naplnění. Na maximálních hodnotách (400 – 500 l za fermentor na den) setrval cca 4 – 5 dnů a poté následoval velmi prudký pád během několika dnů až na 100 l za den. Po dvou týdnech byl tento substrát prakticky vyčerpán a zbylých 14 dnů vykazoval minimální hodnoty kolem 50 l za den.

Hodnoty pH byly méně stabilní než např. u hnojů, ale stabilnější než u siláže. Nedošlo k dlouhodobějšímu poklesu pH pod 6,5. U většiny cyklů nejdříve pokleslo k hodnotám kolem pH 6,5 a poté pomalu rostlo na hodnoty 8 – 8,5.

Odpad z jablek vykazoval jednoznačně nejlepší výsledky z pohledu kvality bioplynu. Po 7 dnech překročila kvalita bioplynu 60 % CH₄.

Odpadní produkt ze sušení jablek může být vhodným materiálem především u kratších cyklů a jako vhodný startovací materiál na začátku každého cyklu. V menších množstvích nehrozí narušení stability procesu.



Obr. 10: Anaerobní proces - srovnání zkoumaných biomas

Srovnání zkoumaných biomas

Následující graf ukazuje srovnání množství vyprodukovaného plynu na fermentor za 1 den dle jednotlivých substrátů. Křivky jsou použity z předchozích kapitol.

Závěr

I přes často uváděnou podobnost anaerobního rozkladu tekutých a netekutých substrátů byl při srovnání obou procesů jasný rozdíl v kinetice procesů, zcela jiné koncentrace se objevily téměř u všech sledovaných parametrů především v ukazateli nižší mastné kyseliny, kdy koncentrace jednotlivých kyselin v průběhu anaerobní fermentace dosahovaly hodnot i několik tisíc mg/l což by pro anaerobní fermentaci tekutých substrátů představovalo zhroucení procesu. Díky testům provedeným v laboratorní bioplynové stanici bylo možno zprovoznit a spolehlivě řídit provozní bioplynovou stanici. Co se týká ověřovaných substrátů všechny testované se jeví jako vhodné s ohledem na množství produkovaného plynu. Jednoznačně je možno konstatovat, že chlévská mrva je použitelná jako inokulum pro náběh anaerobní fermentace netekutých substrátů. Z ostatních testovaných materiálů dosahovala nejlepších výsledků v produkci bioplynu opakovaně siláž, u které bude důležité použít vhodných odrůd a postupu konzervace, tak aby vstupní materiál negativně neovlivňoval průběh anaerobní fermentace.

K procesům fermentace netekutých substrátů je do současnosti jen velmi málo relevantních poznatků. Přitom tento způsob využití biologicky rozložitelných materiálů na energetické zdroje má značnou perspektivu jako obnovitelný zdroj energie. Tím, že bylo vytvořeno laboratorní pracoviště umožňující tyto materiály zpracovávat s možností provozního ověření, se vytvořil první předpoklad pro ekonomické využití biologicky rozložitelných materiálů s efektivním řízením těchto procesů.

Na vybudovaném pracovišti byly ověřeny základní poznatky o zpracování těchto materiálů a vytvořeny předpoklady pro zjištění kinetických a termodynamických závislostí probíhajících procesů, až po vytvoření ekonomického modelu jejich řízení.

Článek vyšel ve sborníku konference "Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010)". Citace tohoto článku:

POSPÍŠIL, Lukáš: Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2011-10-24 [cit. 2011-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.

BIOPLYNOVÁ STANICE LOUCKÝ DVŮR

více na: <http://www.vspgroup.cz/sluzby/bioplynova-stanice/>

