

Vědecký výbor výživy zvířat

Bioplynové stanice z pohledu výživy zvířat

**Dr. Ing. Pavel Tvrzník
Prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Ing. Martin Haitl**

Praha, listopad 2013



Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.
Přátelství 815, Praha - Uhřetěves,
PSČ: 104 01, www.vuzv.cz

Obsah:

I. Úvod	3
II. Aktuální přehled bioplynových stanic v ČR a zahraničí	5
III. Bioplyn	7
IV. Princip tvorby bioplynu	9
V. Podmínky anaerobního fermentačního procesu	12
VI. Rozdělení BPS	16
VII. Vstupní materiály	21
VIII. Procesní řízení a odstraňování poruch fermentačního procesu	27
IX. Výtěžnost metanu	37
X. Vliv předúpravy a manipulace se surovinou na výtěžnost metanu	39
XI. Ekonomika	42
XII. Závěr	44
XIII. Seznam použité literatury	45

I. Úvod

V posledních 8 letech se stala výroba bioplynu zajímavou podnikatelskou činností a mnoho lidí (osob, firem) se pustilo do staveb bioplynových stanic. Pro zemědělské podnikatele se tato oblast stala zajímavou doplňkovou činností vlivem především nastavení dotací. Tento první úspěch přivedl do této činnosti podnikatele, kteří již nejsou zemědělci a nemají zájem na doplňkové činnosti. Obvykle chápou „bioplyn“ jako investiční směr, který jim v krátké době vrátí příslušné vstupní náklady a chtějí, aby dotace na tuto činnost byla nasměrována na dlouhou dobu a v jejich prospěch. Proto také uvažují o intenzivní výrobě bioplynu (co nejmenší náklady), jako o jediném možném směru a snaží se z hektaru půdy vytěžit obvykle co největší výkon a za co nejmenších vstupních nákladů. Pro chod bioplynových stanic je třeba zajistit co nejlepší a největší množství biomasy a tím se mnohdy dostávají do konkurence s výživou zvířat.

Současná situace produkce bioplynu v České republice

Rozvoj v oblasti výroby bioplynu umožnilo přijetí zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře obnovitelných zdrojů energie (OZE) ve kterém byly stanoveny výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů včetně elektřiny vyrobené na bioplynových stanicích (BPS), v roce 2012 proběhla jeho novelizace na zákon č. 165/2012 Sb. Od roku 2005 došlo k rozvoji celého sektoru produkce energie z obnovitelných zdrojů. Počet BPS ve výstavbě a v provozu od roku 2005 roste každým rokem a tento trend pokračuje do současnosti. V roce 2013 byl zákon o podpoře OZE opět novelizován na zákon č. 310/2013 Sb. Důvodem přijetí novely byly rostoucí náklady na obnovitelné zdroje energie ze státního rozpočtu. Novela v přijatém znění ruší investiční a provozní podporu u většiny nových zařízení na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, včetně bioplynu, uvedených do provozu po 1. 1. 2014. Přijetím novely dojde k silnému omezení rozvoje a výstavby nových zdrojů bioplynu.

V celkovém počtu BPS převažují zemědělské bioplynové stanice. Výstavbou BPS došlo u řady podniků ke stabilizaci jejich ekonomické situace, zejména u podniků se živočišnou výrobou, kdy BPS využívá vedle rostlinných vstupních materiálů vedlejší produkty živočišné výroby (keжда, hnůj) a fermentační zbytek (digestát) je používán jako hnojivo.

Vzniklý bioplyn je spalován na kogeneračních jednotkách a přetvářen na elektrickou energii, která je dodávána do rozvodné elektrické sítě.

Na konci měsíce března Evropská komise zveřejnila Zelenou knihu - Rámec politiky pro klima a energetiku do roku 2030. Jedná se o konzultační dokument, kterým Komise otevírá

veřejnou diskusi napříč EU o hlavních aspektech dalšího rozvoje po roce 2020 a konkrétních krocích a cílech do 2030. Dokument navazuje na dosavadní diskuse o dlouhodobé strategii Evropské unie (EU) směrem k nízkouhlíkové ekonomice do roku 2050, nízkouhlíkové energetice podle cestovní energetické mapy 2050, na strategii EU pro oblast dopravy, sdělení o vnitřním trhu s energií z listopadu 2011 a sdělení o strategii rozvoje obnovitelných zdrojů energie z června 2012.

Zelená kniha uvádí, že včasné dosažení dohody nad rámcem do roku 2030 je klíčové pro:

- jistotu investorů, podporu inovací a tvorbu poptávky po nízkouhlíkových technologiích,
- vytváření konkurenceschopnějšího a udržitelnějšího evropského hospodářství se spolehlivějšími dodávkami energie,
- jasnější pozici EU ve vztahu k mezinárodnímu společenství a mezinárodní dohodě o boji proti klimatickým změnám, jejíž přijetí je plánováno na rok 2015.

Veřejná konzultace k Zelené knize byla ukončena 2. července 2013, poté ji EK vyhodnotila a představila její výstupy. EK v současnosti aktualizuje referenční energetické scénáře EU a připravuje analýzy dopadů, které by chtěla v krátké době dokončit. Rámec politiky EU v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030, který bude vycházet ze stanovisek vyjádřených členskými státy, orgány EU a zúčastněnými stranami, plánuje EK předložit do konce tohoto roku. V současné době není známa informace, zda půjde o soubor legislativních návrhů, či nikoli. EK však naznačila, že bude usilovat v rámci svého současného mandátu o stanovení cílů EU s tím, že o případné distribuci těchto cílů mezi členské státy a volbě nástrojů pro jejich dosažení by se jednalo později. Volby do Evropského parlamentu (EP), podobně i ustanovení „nové EK“ je plánováno přibližně na polovinu roku 2014.

II. Aktuální přehled bioplynových stanic v ČR a zahraničí

Aktuálně k 31. 7. 2013 je v České republice v provozu celkem 487 bioplynových stanic, z čehož je 317 zemědělských, 7 komunálních, 11 průmyslových, 55 na skládkách a 97 bioplynových stanic je provozováno v rámci čistíren odpadních vod. Podíl bioplynu na obnovitelných zdrojích energie byl 20,7 %, podíl OZE na výrobě elektřiny 11,9 %, výroba

z OZE 5 254 GWh. Instalovaný výkon BPS byl 363,24 MW, z toho elektrický výkon 1 406 GWh.

Německo

V Německu je výroba bioplynu nejrozvinutější ze všech evropských zemí. K 31. 12. 2012 zde bylo v provozu 7 515 BPS o celkovém instalovaném výkonu 3 352 MWel. V posledních letech se zde rozvíjí trend čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu (biometan) a jeho dodávek do veřejné sítě, aktuálně 108 BPS, či k pohonu motorových vozidel. V Německu se biometan přimíchává naprosto běžně do CNG a využívá síť 904 CNG stanic a přes 95 tisíc vozidel na zemní plyn. Ukázkovým příkladem je město Berlín. V rámci aktivní komunální politiky, která podporuje ekologická vozidla, vznikl projekt 1 000 vozů taxi a 100 vozů autoškol na CNG. Berlín navíc podporuje využívání ekologických paliv podobně jako ostatní německá města vyznačením nízkoemisních zón, do kterých mají povolený vjezd pouze vozidla splňující dané emisní limity stanovené třídami Euro. Uživatelé CNG vozidel mají díky nízkým emisím přístup do všech částí města bez omezení.

Švédsko

Bioplyn ve Švédsku má dlouhou tradici, již mnoho let je vyráběn v čistírnách odpadních vod a také, zejména v posledních 10-15 letech, v rostoucím počtu kofermentačních bioplynových stanicích, které využívají nejrůznější organické materiály a suroviny. Bioplyn je hlavně (60 %) vyráběn ve více než 200 stanicích z čistírenských kalů. Dalším zdrojem (30 %) jsou skládky a zbytek tvoří průmyslové odpadní vody a kofermentační stanice. Celková roční výroba bioplynu je zhruba 1 400GWh. Ve Švédsku v současnosti bioplyn využívá více než 130 městských autobusů. Nejvíce autobusů na bioplyn jezdí v Linköpingu, všech 62 městských autobusů. Bioplyn je ve Švédsku trvale od daně osvobozen v návaznosti na dodatek „EU Petroleum Directive“.

Švýcarsko

Naturgas je bioplyn (kompogas) upravený na kvalitu zemního plynu. Veřejné plnicí bioplynové stanice jsou ve Švýcarsku v těchto městech: Bachenbülach, Meilen, Otelfingen, Rümlang, Wädenswil, Zürich (2 stanice), Winterthur (2 stanice).

Celkově na metan jezdí ve Švýcarsku 11 500 aut, k dispozici mají 140 stanic. Bioplyn není zatížen daní.

Francie

V rámci evropského projektu Civitas je v Lille využíván bioplyn jako palivo pro městské autobusy. První bioplynové autobusy zahájily provoz v roce 1996. V roce 2008 počet plynových autobusů dosáhl 300, kdy 30 – 40 procent z nich jezdilo jen na biometan, ostatní na CNG. Plnicí stanice umístěná v depu je duální a při nedostatku biometanu dodává do vozidel CNG. Biometan by se měl začít také využívat pro svozová komunální vozidla a do konce tohoto roku by jich zde mělo jezdit přes 70. Další vozidla na CNG, resp. biometan by měla rovněž přibýt v souvislosti se závazkem samosprávy města ekologizovat třetinu služebních vozidel. Celkově ve Francii jezdí dnes 13 300 CNG vozidel a je zde 149 plnicích stanic. V dopravě se bioplynem rozumí palivo vzniklé biologickými procesy z organických hmot, které je pro účely pohonu motorových vozidel zbaveno nežádoucích příměsí, zejména oxidu uhličitého a sirovodíku, tak aby odpovídalo požadavkům na zemní plyn (obsah methanu vyšší než 95 %, výhřevnost srovnatelná).

Hlavní nevýhody používání bioplynu v dopravě jsou:

- jeho omezené množství
- lokální výroba (většinou jsou bioplynové stanice umístěny odlišně od místa potřeby – autobusová depa ...)
- nákladné čištění na kvalitu zemního plynu.

Bioplyn je ve většině evropských zemí převážně využíván pro přímé spalování nebo v kogeneračních jednotkách. V dopravě se využívá hlavně ve Švédsku, Švýcarsku, Německu, Francii nebo třeba na Islandu.

III. Bioplyn

Bioplyn je směsný plyn, jehož majoritními složkami jsou CH_4 a CO_2 , dále je v něm minoritní obsah N_2 , H_2S , O_2 , H_2 a vodní páry. Podíl zastoupení jednotlivých složek v bioplynu je odvislý od složení vstupního materiálu. Přibližné obsahy jednotlivých složek jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Složení bioplynu

Složka	Obsah
Metan CH ₄	45–75 %
Oxid uhličitý CO ₂	25–55 %
Voda H ₂ O	2 (20 °C) až 7 (40 °C)
Sirovodík H ₂ S	20 až 20 000 ppm (- 2 %)
Dusík N ₂	< 5 %
Kyslík O ₂	< 3 %
Vodík H ₂	< 1 %

Metan

Výhřevnou složkou bioplynu je metan. Metan je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Výhřevnost metanu je 36 MJ/m³. Obsah metanu v bioplynu je odvislý od složení vstupních materiálů.

Tab. 2: Odhad obsahu metanu v bioplynu pro jednotlivé živiny

Substrát	Obsah metanu v bioplynu [% obj.]
Sacharidy	50
Tuky	72
Proteiny	60

Metan je skleníkový plyn, má 58 krát větší skleníkový efekt než oxid uhličitý. Výrobou bioplynu je množství emisí metanu snižováno (Akademie für Umwelt und Energie, 1995). Produkce metanu má přímou souvislost s produkcí bioplynu,

Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je ve vodě rozpustný plyn, podílí se na pufracím systému fermentačního procesu. Vysoké produkce oxidu uhličitého v počátečních fázích anaerobní fermentace, hydrolytického rozkladu organických materiálů, s následným zvýšeným obsahem oxidu uhličitého v substrátu často způsobují pění (Gerardi, 2003).

Minoritní složky bioplynu

Kyslík

Jsou požadovány minimální koncentrace kyslíku v bioplynu. Jeho zvýšené obsahy jsou přípustné pouze v počátečních fázích, hydrolýza, acidogeneze, kterých účastní aerobní a fakultativně anaerobní mikroorganismy. Kyslík má svůj význam při biologickém odsíření, při kterém je přistříkovan vzduch do prostoru plynojemu.

Sirovodík

Sirovodík je nežádoucí složka bioplynu. Má silný zápach po zkažených vejcích a nebezpečím jsou jeho korozivní účinky na technologické prvky BPS, zejména Kogenerační jednotku. Zvýšené koncentrace sirovodíku zkracují intervaly výměny motorového oleje, mohou však mít i fatální následky na chod kogenerační jednotky. Zvýšené koncentrace sirovodíku jsou rovněž toxické pro metanogenní mikroorganismy.

Amoniak, amonný dusík

Obsahy amonných iontů a amoniaku jsou ve vzájemném poměru a mění se v závislosti na teplotě a pH prostředí. Amoniak je silně toxický pro metanogenní mikroorganismy. S rostoucí teplotou a pH roste obsah amoniaku ve fermentované směsi. Při zvýšených koncentracích amoniaku se hromadí v systému meziproducty, mastné kyseliny, zejména kyselina propionová a klesá míra jejich rozkladu.

Vodík

Vodík je významný meziproduct fermentačního procesu. Při hydrogenotrofní cestě spolu s oxidem uhličitým z něj vzniká metan. Zvýšené koncentrace odráží jeho hromadění v systému, namísto spotřeby pro vznik metanu, což ukazuje na nestabilitu fermentačního procesu. Koncentrace volného vodíku pro svou rychlou reakci na změny je spolehlivým a vypovídajícím parametrem pro kontrolu a řízení fermentačního procesu.

• **IV. Princip tvorby bioplynu**

Bioplyn je produktem anaerobního fermentačního procesu. Anaerobní fermentace je samovolný, přírodní proces, během něhož jsou rozkládány organické látky za nepřístupu vzduchu, je tvořena 4 základními fázemi:

- Hydrolýza
- Acidogeneze
- Acetogeneze
- Metanogeneze

Hydrolýza

V této první fázi dochází k rozkladu polymerních materiálů (polysacharidy, tuky, bílkoviny na mono- nebo oligomery). Na rozkladu polymerních látek se podílejí extracelulární enzymy celulóza, xylanáza, amyláza, lipáza proteáza (Weiland, 2010).

Rychlost a stupeň hydrolýzy materiálů je různý. Z cukrů jsou dobře hydrolyzovatelné hemicelulózy a celulóza, hůře pektiny a škrob vyžadující delší časové období, lignin je nehydrolyzovatelný. Stupeň hydrolýzy bílkovin je nižší než u cukrů a často nižší ve srovnání s tuky, u kterých je nutné zajistit jejich emulgaci tak, aby mohl působit enzym lipáza. Hydrolýza se stává limitujícím faktorem anaerobní fermentace v případě, pokud do ní vstupují těžko rozložitelné materiály (Gerardi, 2003)

Acidogeneze

Acidogeneze navazuje na hydrolýzu, účastní se jí fakultativně anaerobní a obligátně anaerobní kyselinotvorné bakterie a jsou v ní dále rozkládány meziprodukty hydrolýzy, na nižší mastné kyseliny, oxid uhličitý a vodík. Dále dochází ke vzniku alkoholů a kyseliny mléčné (Handreichung 2006). Bakterie podílející se na acidogenezi jsou charakterizovány značnou tolerancí k nízkým hodnotám pH.

Acetogeneze

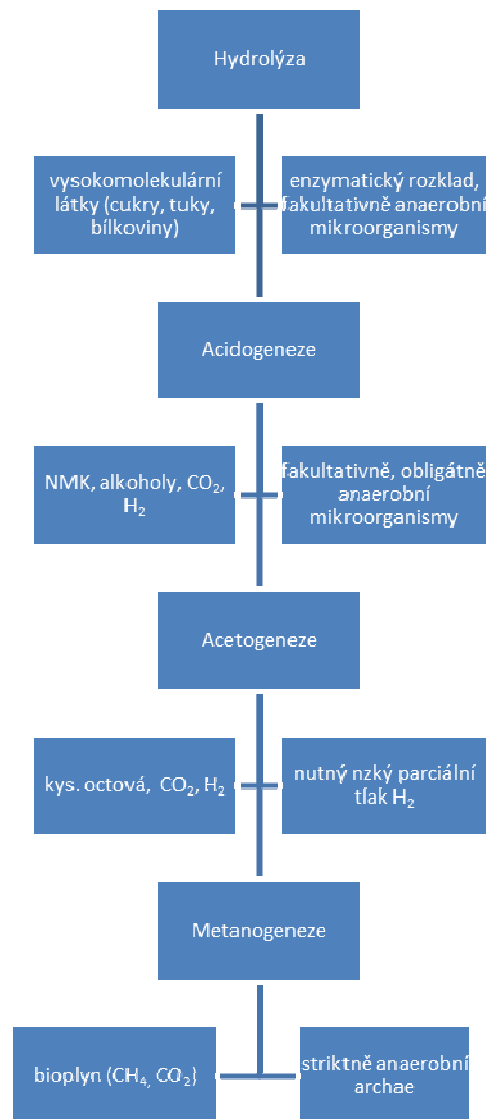
V této fázi vzniká kyselina octová, elementární vodík a oxid uhličitý. Bakterie podílející se na acetogenezi musí být v symbióze s metanogenními bakteriemi odebírající vodík z prostředí. K tomu aby mohla efektivně probíhat acetogeneze, je nutný nízký parciální tlak vodíku,

v prostředí, nejlépe $<10^{-4}$ atm. Při vysokém parciálním tlaku vodíku je inhibována oxidace kyseliny máselné, kapronové, propionové, a valerové a klesá produkce kyseliny octové, oxidu uhličitého a vodíku. Acetogenní mikroorganismy mají dlouhou generační dobu. Tato fáze velmi často silně ovlivňuje rychlost fermentačního procesu a finální stupeň rozkladu materiálu. Acetogenní mikroorganismy dosahují 2-4 krát nižší míry přeměny substrátu, při současně výrazně delší generační době ve srovnání s hydrogenotrofními metanogeny (Bischofsberger et al. 2005).

Metanogeneze

Je poslední fází anaerobní fermentace, produktem je bioplyn s majoritními složkami metanem a oxidem uhličitým. Striktně anaerobní metanogenní mikroorganismy podílející se na metanogenezi náleží do říše *Archae* a patří k nejstarším organismům na Zemi. Jedná se o početnou skupinu, je známo více než 50 druhů metanogenů. Na rozdíl od *Eubacterií* nemají buněčnou stěnu tvořenu mureinem, mají rovněž jinou skladbu cytoplasmatické membrány. Obsahují specifické koenzymy M a nikl obsahující koenzymy F420 a F430. Koenzym M slouží k redukci oxidu uhličitého na metan a nikl obsahující koenzymy jsou významné přenašeče vodíku (Gerardi, 2003). Metanogenní archae se dělí na hydrogenotrofy, k tvorbě bioplynu využívají vodík a oxid uhličitý, a acetotrofy, k tvorbě bioplynu využívají kyselinu octovou a metanol. Z celkového množství vzniklého metanu pochází 1/3 z činnosti hydrogenotrofních a 2/3 acetotrofních metanogenů.

Anaerobní fermentační proces:



Graf 1: Rozdělení anaerobního fermentačního procesu

- **V. Podmínky anaerobního fermentačního procesu**

Pro optimální průběh anaerobního fermentačního procesu je potřeba zajistit specifické procesní podmínky. Jednotlivé fáze procesu mají různé požadavky na podmínky prostředí (Tab. 3)

Tab. 3: Základní podmínky pro optimální průběh anaerobní fermentace (Bischofsberger et al. 2005)

Parametr	Hydrolýza/Acidogeneze	Acetogeneze/Metanogeneze
Teplota	25–35 °C	Mezofilní (32–42°C) Termofilní (45–58°C)
pH	5,2–6,3	7,5-8,2
C:N	10–45:1	20–30:1
Obsah sušiny	< 40 % sušiny	< 30 % sušiny
Redox potenciál	400–(-300) mV	< -250 mV
C:N:P	500:15:5–3	600:15:5–3
Stopové prvky	Fe, Ni, Co, Mo, Se	

Teplota

Teplota má zásadní vliv na průběh anaerobní fermentace. Na základě teploty (SHULZ, 2004) se fermentační proces dělí:

- Psychofilní 25 °C □
- Mezofilní 32–42 °C
- Termofilní 48–55 °C

BPS jsou v našich podmínkách provozovány v mezofilním a termofilním teplotním režimu. Psychofilní teplotní režim z důvodu nízké produkce bioplynu není využíván. Pokud nejsou splněny podmínky teplotního rozmezí jednotlivých metanogenních mikroorganismů, dochází k poklesu množství a kvality vzniklého bioplynu.

Mezofilní teplotní procesy jsou charakteristické vysokou stabilitou, ve srovnání s termofilním procesem je u nich dosahováno nižších měrných výnosů, nižšího zatížení fermentované směsi

a vyšší viskozity fermentované směsi. Naproti tomu u termofilních procesů je nutné počítat s vyšší citlivostí na změny procesních podmínek, skladbě a kvalitě vstupních materiálů. Teplotní změny v rozmezí 2-3°C jsou hraniční pro mezofilní procesy, změny v řádu desetin °C je limitující pro termofilní procesy. Vliv teploty se negativně projevuje zejména v zimním období, kdy je do fermentoru dávkován materiál o nízké teplotě.

pH

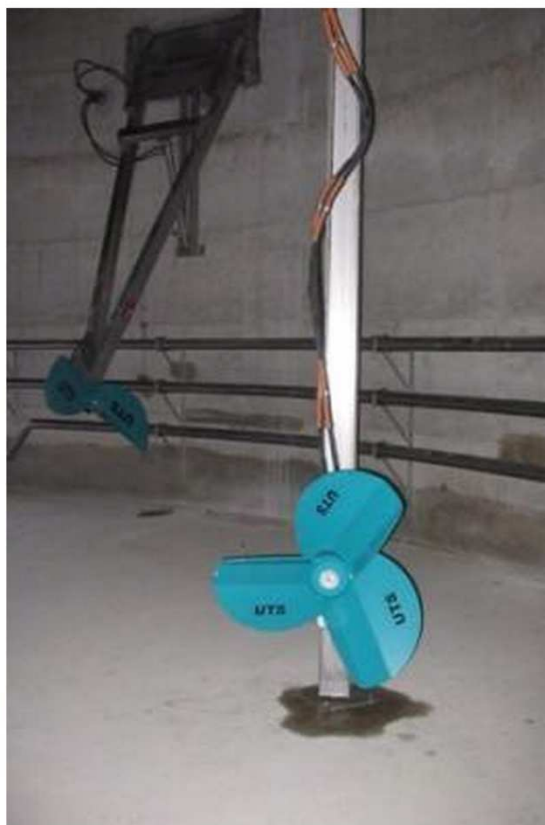
Metan vzniká anaerobní fermentací při úzkém rozpětí pH 6,5-8,5 s optimem 7-8 (Weiland). Na pH má vliv obsah nižších mastných kyselin, $N-NH_4$ a NH_3 . Při nárůstu koncentrace NMK pH klesá, s rostoucími koncentracemi amonných iontů a amoniaku pH roste. U pH se uplatňují pufrační vlastnosti a změny koncentrací NMK, amonných iontů se nemusí okamžitě projevit na změně pH. V těchto případech není pH reprezentativní parametr stavu fermentovaného materiálu. Narušení této rovnováhy bývá způsobeno náhlými změnami procesních podmínek, změnami v množství a skladbě vstupního materiálu, vysokém zatížení organickým látkami a krátkou dobou zdržení materiálu ve fermentoru.

Tlak v reaktoru

S rostoucím tlakem se zvyšuje množství CO_2 uvolněného do vody a tím dochází k nárůstu obsahu metanu v bioplynu a zvýšení jeho kvality. Odstranění materiálu ze dna fermentoru obsahujícího rovněž CO_2 , je jedním ze způsobů zvýšení kvality bioplynu (Kaltschmitt, 2001).

Míchání

Míchání fermentovaného materiálu v reaktoru je důležité, zajišťuje homogenitu rozložení pevných částic a teploty, omezuje tvorbu pěny a usazenin snižujících aktivní pracovní prostor reaktoru, čerstvý materiál je rychle naočkován. Z ekonomických důvodů se využívá diskontinuální míchání. Míchání v délce 1–3 hodiny 3–6krát denně je odpovídající alternativou ke kontinuálnímu míchání (Gerardi 2003). Míchání lze provádět hydraulicky nebo mechanicky. Hydraulické míchání zajišťuje obvykle centrální čerpadlo sloužící rovněž k čerpání vstupního a výstupního materiálu. Výhodou je absence pohyblivých částí v prostoru fermentoru, naopak nevýhodou je omezení využití na substráty o nízkém obsahu sušiny (Schulz, 2004). Hydraulické míchání je možné využít u materiálů, u kterých není nebezpečí tvorby krust a jejich nerovnoměrného rozložení. U mechanického míchání se používají vrtulová a pádlová míchadla (Obr. 1).



Obr. 1: Pomaloběžné míchadlo (vlevo), rychloběžné míchadlo (vpravo) (www.bioplyncs.cz, www.biom.cz)

Procesní podmínky

Doba zdržení materiálu v reaktoru

Doba zdržení materiálu (HRT) udává dobu jeho setrvání v reaktoru:

$$HRT = \frac{V_R}{V_M} [\text{den}]$$

V_R objem reaktoru

V_M objem denní dávky substrátu

HRT musí být zvoleno tak, aby nebylo větší množství metanogenních mikroorganismů z reaktoru odstraněno s výstupním materiálem, než které stačilo po tuto dobu narůst, případně bylo dodáno v novém substrátu (Kaltschmitt 2001). Aby nedocházelo k nadměrnému vyplavování metanogenních mikroorganismů, je zapotřebí minimální HRT v rozmezí 10–15 dní (Dieter 2008). Uvedené doby zdržení je nutné brát jako minimální. S kratší dobou zdržení Doba zdržení je kratší u termofilních procesů, u nichž je rychlejší růst metanogenní biomasy. Proto může být termofilní proces efektivně provozován při vysokém organickém zatížení a kratším HRT ve srovnání s mezofilním procesem (Weiland 2001). Délka doby zdržení má vliv na stupeň rozkladu substrátu. Z ekonomického hlediska je nejvhodnější HRT odpovídající odstranění $\frac{3}{4}$ obsahu CHSK (Kaltschmitt 2001). U BPS s krátkou dobou zdržení materiálu v reaktoru (30–40 dnů) je nutná výrazně vyšší dávka v porovnání s BPS s dlouhou dobou zdržení (70 a více dnů) pro dosažení stejného výkonu. Při návrhu BPS je proto nutné velmi pečlivě dimenzovat velikost fermentorů na substráty, které budou zpracovávány. Z pohledu použité technologie je dosaženo delší doby zdržení, lepšího využití materiálů u vícestupňových technologií (Heinrich, J., et al., 2009). S tím souvisí i analýza kvality vstupních materiálu a výpočet jejich teoretické produkce bioplynu. S velikostí fermentorů a množstvím dávkovaných krmiv souvisí parametr zatížení organické hmoty.

Zatížení reaktoru organickými látkami

Vedle doby zdržení je zatížení reaktoru organickými látkami jedním z určujících parametrů při návrhu BPS. Vyjadřuje množství organické hmoty denně dodané do m^3 fermentoru.

$$B_R = \frac{m \times c}{V_R} [\text{kg org. suš.} \times \text{m}^{-3}]$$

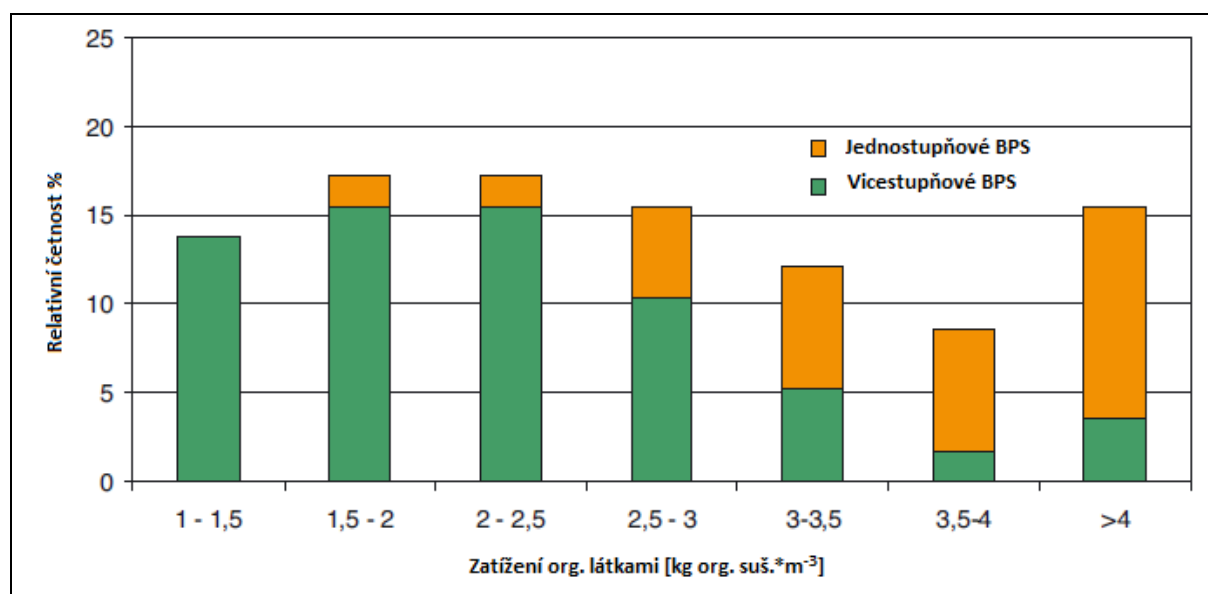
B_R zatížení organickými látkami

m denní dávka materiálu [kg/den]

c koncentrace org. suš. [% org. suš.]

V_R objem fermentoru [m^3]

Existuje vztah mezi dobou zdržení materiálu ve fermentoru a zatížením organickými látkami, kdy při vysokém zatížení roste celkové dávkované množství a zkracuje se doba zdržení. U jednostupňových BPS je větší zatížení z důvodu kratší doby zdržení (Graf 2). Výsledky pocházejí z porovnání provozu 62 BPS ve Spolkové republice Německo. Jednostupňové technologie jsou limitovány objemem fermentorů, pracují při vyšším zatížení a spotřebě materiálů.



Graf 2: Zatížení org. látkami na BPS (Heinrich et al. 2009)

• VI. Rozdělení BPS

Rozdělení dle původu zpracovaného substrátu

- Zemědělské – vstupní substráty rostlinného charakteru a statková hnojiva
- Čistírenské – anaerobní stabilizace čistírenského kalu, součást ČOV
- Ostatní – zpracování vybraných bioodpadů uvedených v zákoně o odpadech, případně substráty uvedené u předchozích BPS

Rozdělení dle obsahu sušiny zpracovaného substrátu

- BPS zpracovávající tekuté substráty – obsah sušiny v rozmezí 5–15 %
- BPS zpracovávající netekuté substráty – obsah sušiny v rozmezí 15–30 %

Rozdělení dle počtu procesních stupňů

- Jednostupňová
- Dvoustupňová
- Třístupňová

Rozdělení dle procesní teploty

- Mezofilní
- Termofilní

Psychrofilní teplotní režim se z důvodu nízké produkce bioplynu v podmínkách České republiky nepoužívá.

Z pohledu dávkování se v současnosti používají ve většině případů kontinuální technologie. Několikrát denně v pravidelných intervalech je dávkován materiál do fermentoru a stejné množství je z něj pomocí přepadu či pump odvedeno. Je potřeba kontrolovat množství denně dávkovaných krmiv, aby nedocházelo ke zkracování doby zdržení ve fermentoru a bylo docíleno jeho maximálního využití (Weiland et al., 2001). Diskontinuální dávkování se používá u netekuté fermentace garážového typu.

Zemědělské BPS

Nejrozšířenější typ BPS zpracovávající převážně tekuté substráty. Obsah sušiny substrátu (5–15 %) je omezen ekonomickými náklady na provoz těchto zařízení. Při velmi nízké sušině dochází ke zvýšeným nákladům na ohřev a čerpání fermentovaného materiálu při nízké produkci bioplynu. Vysoký obsah sušiny znamená riziko nedostatečné homogenity teplotní a materiálové, hrozbu tvorby krust. Preventivní opatření spočívající ve zvýšené intenzitě míchání sebou přináší zvýšené náklady na provoz zařízení.

Využívány jsou jak jednostupňové tak vícestupňové systémy (Obr. 2). Častější jsou využívány vícestupňové systémy v mezofilním teplotním režimu. Ve skladbě krmné dávky jsou zastoupeny materiály rostlinného a živočišného původu, nejčastěji kukuřičná siláž a kejda hospodářských zvířat. Fermentační zbytek z těchto BPS je využíván jako hnojivo zemědělské půdy.



Obr. 2: Vícestupňová zemědělská BPS (www.juwi.de)

Čistírenské BPS

Historický první typ BPS, není zde primární cíl získání energie, ale stabilizace čistírenského kalu anaerobní fermentací. Hojně rozšířeny v ČR, více než sto realizací v provozu. Výnosy bioplynu nedosahují výnosů zemědělských BPS, avšak i zde je bioplyn využíván kogenerací, získaná elektrická a tepelná energie slouží k pokrytí potřeb provozu ČOV, případné přebytky dodávány do veřejné sítě.

Ostatní BPS

Vzhledem k charakteristice zpracovávaných substrátů jsou zde větší nároky na technologické části, BPS musí být vybavena pasterizační jednotkou, případně zařízením zpracovávajícím tepelně materiály dle legislativních požadavků, vybaveno prostorem k čištění a desinfekci dopravních prostředků, kontejnerů a přepravních nádob před výjezdem dopravních prostředků ze zařízení. Nutnost kontrolovat parametry technologického procesu a sledovat předepsané ukazatele výstupů buď laboratoří vlastní, nebo jinou.

BPS na netekuté materiály

Obsah sušiny ve vstupním materiálu je zde vyšší než 15 %. Existuje několik technologických řešení netekuté fermentace.

Technologie BIOFERM - Garážový typ netekuté BPS

Jedná se o diskontinuální typ BPS pracující v mezofilním režimu (Obr. 3). K zajištění stabilní produkce bioplynu je na BPS instalováno více reaktorů (garáží). Vstupní materiál je smíchán s zfermentovaným za účelem jeho inokulace a následně navezen do prostoru vyhřívaného, vzduchotěsného reaktoru. Reaktor je poté uzavřen vzduchotěsnými vraty. Materiál je skrápěn perkolátním postřikem zajišťujícím potřebnou vlhkost materiálu a inokulaci anaerobní biomasou. Vzniklý bioplyn je odváděn mimo prostor reaktoru a jímán do plynového vaku



Obr. 3: Technologie BIOFERM: míchání substrátu (vlevo nahoře), navážení substrátu do reaktoru (vpravo nahoře), vzduchotěsná vrata reaktoru v pozadí další reaktor (vlevo dole), plynový vak (vpravo dole)

Technologie KOMPOGAS

Vznikla za účelem zpracování biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu. Na rozdíl od technologie BIOFERM je kontinuální, pracuje v termofilním režimu 55 °C a substrát je v horizontálním reaktoru míchán pomaloběžnými míchadly (Obr. 4). Před nadávkováním do reaktoru je substrát vytříděn a nadrcen. Doba zdržení je přibližně 14 dnů.

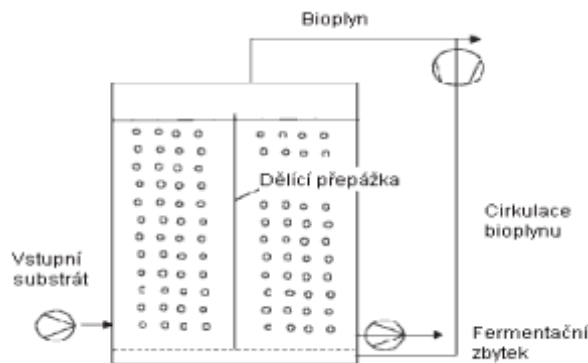


Obr. 4: Technologie KOMPOGAS - nevytříděný vstupní materiál (vlevo nahoře), třídící linka (vpravo nahoře), Horizontální fermentory s míchadly (vlevo a vpravo dole)

Fermentační zbytek je využit k výrobě kompostu v přílehlé kompostárně, jež je součástí tohoto zařízení na biologické zpracování komunálního odpadu.

Technologie VALORGA

Vyvinuta za účelem zpracování biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu, zbytků potravin a kalů (Obr. 5). Obsah sušiny fermentovaného materiálu je v rozmezí 25–35 %. Jednostupňová fermentace probíhá ve vertikálním fermentoru, díky čemuž je zajištěn gravitační pohyb substrátu bez nutnosti použití mechanických komponentů.

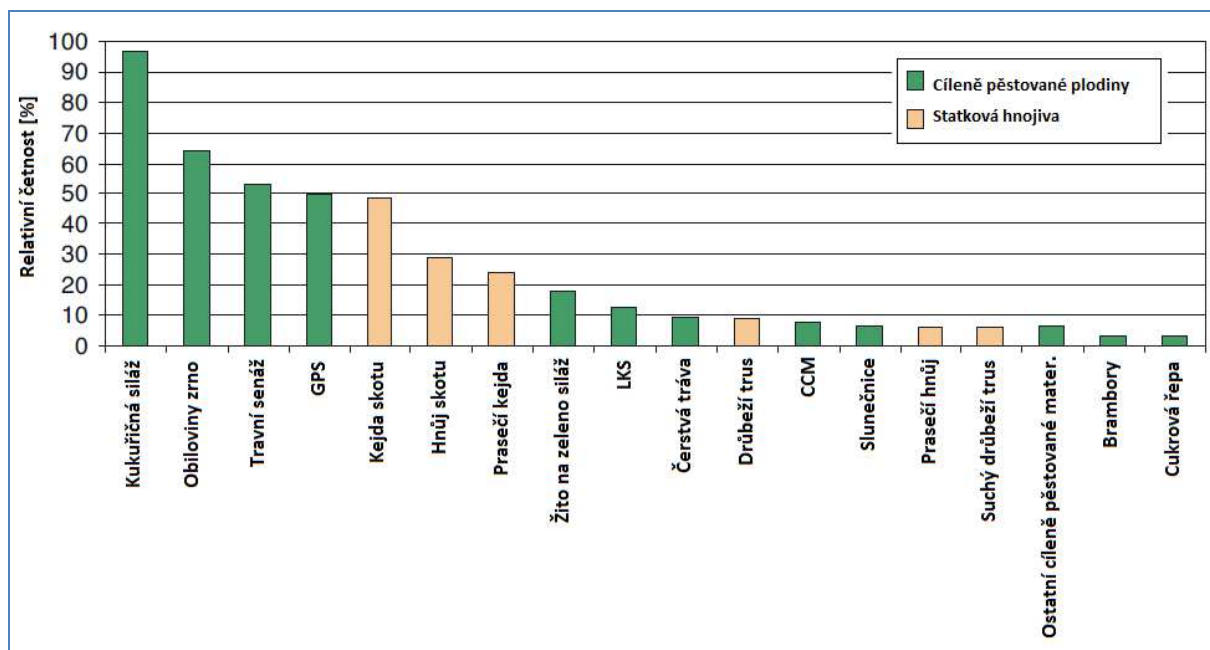


Obr. 5: Technologie Valorga

• VII. Vstupní materiály

Na BPS je možné zpracovávat k výrobě bioplynu širokou škálu materiálů a to jak rostlinného, tak živočišného původu.

Používané vstupní materiály živočišného původu jsou nejčastěji tvořeny exkrementy hospodářských zvířat (kejsa, chlévský hnůj), odpady z potravinářského průmyslu (jatka, mlékárny). Z rostlinných materiálů jsou na bioplynových stanicích nejčastěji používány kukuřičné siláže, travní senáž, GPS, rostlinné materiály odpadního charakteru cukrovarnické, lihovarnické řízky, výpalky, výlisky, ovoce, zelenina.



Graf 3: Relativní četnost používaných materiálu na BPS (Heinrich, 2009)

Cíleně pěstované rostlinné materiály

Cíleně pěstované rostlinné materiály jsou spolu se statkovými hnojivy nejhojněji zastoupeny v „krmných dávkách“ BPS. Aplikovány jsou většinou v silážovaném stavu, v čerstvém stavu jsou zkrmovány sezónní materiály, čerstvá seč a odpadní materiály.

Silážování se provádí z důvodu snížení ztrát, dlouhodobé stabilizace a zachování kvality materiálů. Sklizeň materiálů a jejich příprava jsou klíčové pro jejich vysokou kvalitu a následnou efektivní produkci bioplynu.

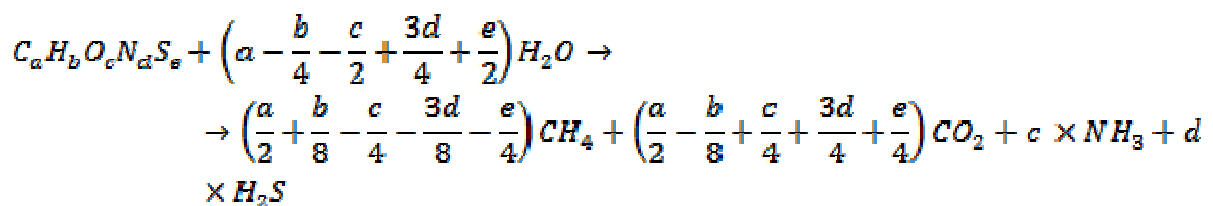
U produkce bioplynu je významná hektarová produkce metanu.

Charakteristika vstupních materiálů

Je potřeba sledovat množství a kvalitu používaných materiálů pro bilanci provozu BPS. Základním parametrem je obsah sušiny, organické sušiny (Weiland, 2001). Obsah sušiny slouží ke sledování spotřeby a celkové bilanci, není ovšem vypovídající z hlediska odbouratelnosti a měrné produkce bioplynu, k tomu je potřeba sledovat další kvalitativní parametry.

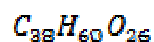
Pomocí fermentačních testů lze experimentálně stanovit produkci materiálů. Tato metoda je přesná, její nevýhoda je v časové a finanční náročnosti. Na základě laboratorních a provozních pokusů bylo vytvořeno několik modelů pro hodnocení kvality vstupních materiálů a predikci jejich teoretické produkce metanu.

Jako první byla použita rovnice Buswell (1952, cit. Dieter et al. 2008). Podle této metody je stanoveno množství vzniklého bioplynu na základě obsahu elementárních složek materiálů (C, H, O, N, S)

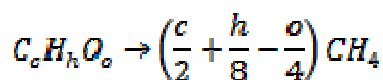


(Roati et al., 2012)

Bylo zjištěno přibližné složení rostlinné biomasy:



Pro výpočet produkce metanu lze použít zjednodušený tvar Buswell rovnice (Dieter et al. 2008):



Tento model udává maximální možnou produkci bioplynu, počítá s kompletním rozkladem materiálů, který není ovšem v praxi dosažen. Pro přesnější stanovení teoretické produkce bioplynu je nutné sledovat skutečnou míru rozkladu materiálu. Za tímto účelem byly vytvořeny modely vycházející z experimentálně zjištěných výsledků pomocí fermentačních testů. Během těchto testů byla zjišťována závislost produkce metanu a kvalitativních parametrů používaných v krmivářské praxi.

Profesor Thomas Amon vytvořil model MEVM (methane energy value model) vycházející z Weendské krmivářské analýzy. V tomto modelu jsou použity tyto parametry materiálů: dusíkaté látky (XP), tuk (XL), vláknina (XF), bezdusíkaté výtažkové látky (XX). Specifické produkce uvedených složek rostlinné hmoty jsou uvedeny níže v tabulce (Tab. 4).

Tab. 4: Měrná produkce bioplynu jednotlivých živin (Baserga, 1998)

	Měrná produkce bioplynu [l/kg oTS]
Proteiny	700
Tuky	1 250
Vláknina, BNLV	790

Na základě laboratorních testů byly stanoveny koeficienty parametrů pro výpočet teoretické produkce metanu jednotlivých plodin vztažené na kg organické sušiny.

Siláž kukuřice: $l_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg org. suš.}^{-1} = \text{XP} \cdot 15,27 + \text{XL} \cdot 28,38 + \text{XF} \cdot 4,54 + \text{XX} \cdot 1,12$

Travní senáž: $l_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg org. suš.}^{-1} = \text{XP} \cdot 2,19 + \text{XL} \cdot 31,38 + \text{XF} \cdot 1,48 + \text{XX} \cdot 1,85$

Obiloviny: $l_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg org. suš.}^{-1} = \text{XP} \cdot 5,90 + \text{XF} \cdot 3,79 + \text{XX} \cdot 1,35$

(Amon et al., 2007)

Přesnější analýza dle Van Soesta, z které vycházel i výše uvedený autor používá složky vlákniny (NDF, ADF, ADL) rozpustných cukrů a škrobu.

Profesor Friedrich Weißbach vytvořil model vycházející ze stanovení stravitelné složky organické sušiny (FoTS). Použity jsou zde hodnoty obsahu hrubé vlákniny a pro přesnější stanovení hodnota EulOS.

Zkouška EulOS je založena na účinku enzymů (celulázy a pepsin). Parametr EulOS je srovnatelný s obsahem hrubé vlákniny, s tím rozdílem, že na místo účinku kyselin a louhu jsou zde použity trávicí enzymy. Obsah stravitelné složky v materiálu představuje množství využitelné mikroorganismy při anaerobní fermentaci. Tento parametr má vysokou vypovídací hodnotu kvality materiálu. V porovnání s laboratorními fermentačními testy je tato metoda rychlejší a méně nákladná. Dále je zde standardizovaný postup stanovení, výsledky získané v různých laboratořích je možné vzájemně porovnat. Tento autor na základě laboratorních testů stanovil produkci metanu vztaženou na kg stravitelné organické hmoty: $420 l_N \text{ CH}_4 \text{ kg FoTS}^{-1}$ (Weißbach, 2008).

Rovnice pro stanovení FoTS [g/kg suš.] jednotlivých materiálů:

Obiloviny, siláže obilovin

Pšenice, žito $FoTS = 990 - (XA) - 1,89 (XF)$

Ječmen, oves $FoTS = 991 - (XA) - 1,38 (XF)$

Obiloviny celk. $FoTS = 991 - (XA) - 1,53 (XF)$

Siláž kukuřice, LKS, zrno kukuřice a jejich siláže

$$FoTS = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF)^2$$

GPS

Pšenice, Triticale $FoTS = 982 - (XA) - 0,53 (XF) - 0,00102 (XF)^2$

Žito $FoTS = 983 - (XA) - 0,82 (XF) - 0,00022 (XF)^2$

Ječmen $FoTS = 981 - (XA) - 0,81 (XF) - 0,00006 (XF)^2$

Čerstvá krmiva a jejich

siláže

Žito $FoTS = 975 - (XA) + 0,23 (XF) - 0,00230 (XF)^2$

Oves $FoTS = 976 - (XA) + 0,30 (XF) - 0,00297 (XF)^2$

Vojtěška $FoTS = 971 - (XA) - 0,41 (XF) - 0,00101 (XF)^2$

Tráva (intenzivní)

$$FoTS = 969 - (XA) + 0,26 (XF) - 0,00300 (XF)^2$$

Tráva, všechny intenzity

$$FoTS = 1000 - (XA) - 0,62 (EulOS) - 0,000221 (EulOS)^2$$

(Weißbach, 2008)

Pro získání přibližných hodnot produkce materiálů lze použít tabulkové hodnoty měrných produkcí bioplynu resp. metanu. Níže jsou uvedeny produkce materiálů používaných na BPS (Tab. 5):

Tab. 5: Kvalita a měrné produkce bioplynu, metanu materiálů vhodných k výrobě bioplynu (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2010)

	suš. [%]	org. suš. [%]	N- digest. [% suš.]	P ₂ O ₅ [% suš.]	K ₂ O [% suš.]	Bioplyn [Nm ³ /t ČH]	CH ₄ [Nm ³ /t ČH]	CH ₄ [Nm ³ /t org.suš.]
Statková hnojiva								
Hovězí kejda	10	80	3,5	1,7	6,3	25	14	210
Prasečí kejda	6	80	3,6	2,5	2,4	28	17	250
Hovězí hnůj	25	80	5,6	3,2	8,8	80	44	250
Drůbeží hnůj	40	75	18,4	14,3	13,5	140	90	280
Koňský hnůj	28	75				63	35	165
Cíleně pěstované plodiny								
Kukuřičná siláž	33	95	2,8	1,8	4,3	200	106	340
GPS	33	95	4,4	2,8	6,9	190	105	329
Žito ČH, siláž	25	90	150	79	324			324
Obilí zrno	87	97	12,5	7,2	5,7	620	329	389
Travní senáž	35	90	4	2,2	8,9	180	98	310
Cukrová řepa	23	90	1,8	0,8	2,2	130	72	350
Krmná řepa	16	90				90	50	350
Slunečnice	25	90				120	68	298
Čirok súdanský	27	91				128	70	286
Čirok cukrový	22	91				108	58	291
Žito na zeleno	25	88				130	70	319
Druhotné suroviny potravinářského průmyslu								
Pivní výlisky	23	75	4,5	1,5	0,3	118	70	313
Obilné mláto	6	94	8	4,8	0,6	39	22	385
Bramborové šlupky	6	85	9	0,7	4	34	18	362
Ovocné výlisky	2,5	95		0,7		15	9	285
Surový glycerin						250	147	185
Výlisky řepky	92	87	52,4	24,8	16,4	660	317	396

Bramborové výlisky	13	90	0,8	0,2	6,6	80	47	336
Melasa	85	88	1,5	0,3		315	229	308
Jablečné mláto	35	88	1,1	1,4	1,9	148	100	453
Vinné mláto	45	85	2,3	5,8		260	176	448
Seč na zeleno								
Travní seč	12	87,5	2,5	4		175	105	369

• VIII. Procesní řízení a odstraňování poruch fermentačního procesu

Pro docílení ekonomicky efektivní produkce bioplynu je nutné sledování a řízení fermentačního procesu. Pravidelným monitoringem procesních parametrů a sledováním stavu fermentačního procesu, lze předejít inhibičním stavům spojených s poklesem množství vzniklého bioplynu a jeho kvality.

Pokles produkce a kvality bioplynu je indikátorem poruch a rovnováhy fermentačního procesu. Pro docílení rovnovážného stavu mezi jednotlivými fázemi fermentačního procesu je nutné provádět jakékoli změny procesních podmínek a intenzity krmení pozvolna.

Faktory, které nejčastěji vyvolávají poruchy a nerovnováhu jsou tyto:

- změny teploty procesu
- změny v zatížení organickými látkami
- změny ve složení a vlastnostech zpracovávaného materiálu
- hydraulické přetížení
- expozice toxickými látkami

Existuje řada veličin, které je možné použít pro monitoring a procesní řízení. Lze je rozdělit do dvou základních skupin:

- veličiny procesního řízení
- parametry charakterizující stav biologie

Veličiny procesního řízení

Procesní řízení charakterizující veličiny jsou množství a intenzita dávkování krmiv, procesní teplota, intenzita míchání. S intenzitou krmení souvisí parametry zatížení organickými

látkami a doba zdržení materiálu ve fermentoru. Teplota fermentačního procesu souvisí s metabolickou aktivitou metanogenních mikroorganismů a vlivem inhibičních faktorů. Zatížení reaktoru spolu se složením substrátu je nejvýznamnější proměnnou, kterou můžeme ovlivňovat průběh procesu. Třetí proměnnou je dávkování chemikálií, využívá se při doplňování nutrientů a k úpravě neutralizační kapacity reakční směsi (www.czba.cz).

Parametry charakterizující stav biologie

Indikátory stavu biologie charakterizují průběh dílčích procesů a nebo celkového průběhu anaerobní fermentace. Tyto veličiny mohou charakterizovat plynnou, kapalnou nebo pevnou fázi reakční směsi.

V plynné fázi sledujeme: množství produkovaného bioplynu, složení bioplynu - obsah CH_4 , CO_2 , H_2 , CO , H_2S . Složení bioplynu se stanovuje nejčastěji plynovou chromatografií, produkce se stanovuje objemově nebo měřením tlaku. V kapalně fázi sledujeme následující proměnné: pH, celkovou koncentraci nižších mastných kyselin, jednotlivé nižší mastné kyseliny, kyselinovou a zásadovou neutralizační kapacitu (Fos/Tac), CHSK, celkový organický uhlík, rozpuštěné látky celkové, organické i anorganické (solnost), obsah amonného dusíku, koncentraci nutrientů a jiných specifických látek, oxidačně-redukční potenciál. V tuhé fázi sledujeme: koncentraci suspendovaných látek a jejich organickou frakci, koncentraci organického dusíku (často slouží jako měřítko množství biomasy), sedimentační a filtrační vlastnosti suspendovaných látek, další specifické metody jsou používány pro sledování aktivity biomasy (www.czba.cz).

Provozovatel může snadno sledovat kvalitu a množství vzniklého bioplynu. Existuje řada automatických systémů, které umožňují on-line měření a záznamy procesních parametrů a intenzity produkce. Ve srovnání s výsledky z laboratorních experimentů, jsou okamžitě k dispozici, při nižších nákladech. Při volbě automatických on-line zařízení je nutné brát v potaz velikost a možnosti dané technologie BPS. On-line měření se používá pro tyto parametry: teplota, pH, množství a kvalita vzniklého bioplynu

Plyny z nichž se bioplyn skládá, mají různou dynamiku a na základě jejich obsahu lze charakterizovat stav biologie. Složení bioplynu lze ovlivnit procesním řízením pouze částečně. V první řadě závisí na složení vstupních materiálů (FNR, 2010).

Koncentrace volného vodíku

Koncentrace volného vodíku je rychlým a vypovídajícím ukazatelem. Při rovnovážném stavu jednotlivých fází fermentačního procesu je vodík jako meziproduct využíván acetogenními mikroorganismy a jeho koncentrace jsou na nízké úrovni. K nárůstu koncentrací vodíku dochází z důvodů předávkování, či inhibice acetogenních mikroorganismů, spojených s poklesem produkce bioplynu.

Koncentrace metanu

Metan je výhřevnou složkou bioplynu, avšak má spíše indikační charakter při procesním řízení. Mimo uvedené složení krmné dávky je koncentrace metanu v bioplynu ovlivněna provozními podmínkami jako teplota fermentace, doba zdržení v reaktoru, organické zatížení, výskyt poruch biologie a využívání biologického odsíření (FNR, 2010). Při vysokém zatížení klesá koncentrace metanu v bioplynu, při nízkém naopak stoupá.

Koncentrace oxidu uhličitého

Vypovídací hodnota tohoto indikátoru stability procesu nemá vždy stejnou váhu. Podstatně citlivějším indikátorem stability procesu je poměr koncentrace CH_4 a CO_2 . Poměr CH_4/CO_2 je dán charakterem organických látek v přítoku a při stabilním provozu se příliš nemění. Zvyšování koncentrace CO_2 v bioplynu souvisí se zvýšeným zatížením a vyčerpáním neutralizační kapacity. Nejnižší poměr CH_4/CO_2 v bioplynu mají sacharidické substráty a je blízký hodnotě 1, jeho náhlé snížení indikuje nestabilitu procesu (www.czba.cz)

Hodnota pH

Parametr pH není spolehlivým ukazatelem aktuálního stavu fermentačního procesu. Nereaguje dostatečně citlivě na změny a je ovlivněn pufrační kapacitou systému.

Fos/Tac

Hodnota Fos/Tac je poměr sumy nižších mastných kyselin vyjádřené ekvivalentem kyseliny octové a neutralizační kapacity tvořené hydrogenuhličitanovým systémem. Jeho stanovením lze snadno a rychle zjistit stav fermentační biologie. Zkouška Fos/Tac je velmi často využívána pro svou jednoduchost a dostupnost, zejména při náběhu provozu BPS.

Koncentrace nižších mastných kyselin

Nižší mastné kyseliny patří mezi jeden z nejcitlivějších indikátorů stavu (stability) procesu. Podstatně větší vypovídací hodnotu má sledování koncentrace jednotlivých mastných kyselin než celkové sumy mastných kyselin. Mezi nejdůležitější patří kyselina octová, kyselina propionová a kyselina máselná. Tyto proměnné indikují metabolickou aktivitu dvou nejcitlivějších skupin mikroorganismů a to vodík produkujících acetogenů a acetotrofních metanogenů. Akumulace mastných kyselin v systému ukazuje na nerovnováhu mezi aktivitou mikroorganismů produkujících a rozkládajících mastné kyseliny, což je typickým znamením stresové situace v anaerobním reaktoru. Mnoho autorů se snažilo kvantifikovat koncentraci individuálních mastných kyselin, při které dochází k destabilizaci procesu. Doporučené koncentrace nižších mastných kyselin ve fermentované směsi:

NMK	mg/l
Kyselina octová	□ 3 000
Kyselina propionová	□ 500 (nebo 1/2 obsahu k. octové)
Kyselina máselná	□ 200
Kyselina valerová	□ 200

Avšak, již z povahy procesu vyplývá a bylo to experimentálně i v praxi potvrzeno, že není možné obecně definovat limitní koncentrace mastných kyselin indikující stabilitu nebo nestabilitu procesu. Maximální koncentrace mastných kyselin, při které lze anaerobní proces udržet v ustáleném stavu, závisí na celé řadě faktorů zahrnující složení substrátu, podmínky vlastní fermentace (zatížení, doba zdržení, teplota, neutralizační kapacita, adaptace biomasy, pH) a technologické uspořádání (jednostupňová nebo vícestupňová fermentace, biomasa ve formě suspenze, granulí nebo biofilmu, hydraulické uspořádání reaktorů). Náhlé změny technologických podmínek zejména teploty a zatížení způsobují následné zvýšení koncentrace všech mastných kyselin. Nebezpečí tohoto zvýšení závisí na jeho velikosti a na „volné výkonnostní“ kapacitě systému (www.czba.cz).

Nárůst koncentrací mastných kyselin je nejčastějším projevem poruch fermentačního procesu, bez ohledu na to, jaká je příčina. Obvyklý průběh při poruchách stability je následující:

- Nárůst koncentrací nižších mastných kyselin

- Nejprve kyselina octová a propionová
- Při pokračování zvýšeného zatížení systému, nárůst kyseliny iso-máselné a iso-valerové
- Pokračující nárůst hodnoty Fos/Tac
- Pokles obsahu metanu v bioplynu
- Pokles produkce bioplynu při konstantní krmné dávce
- Pokles pH, překyselení systému
- Zastavení produkce bioplynu

(FNR, 2010)

U faktorů, které mohou vyvolat poruchy fermentačního systému jako výkyvy teplot, nedostatek stopových prvků, výskyt inhibičních látek (antibiotika, desinfekce, plísně, sirovodík, amoniak), špatná intenzita dávkování je důležité jejich včasné odhalení.

Pokles teploty

Náhle poklesy teplot mohou být vyvolány technologickou poruchou, výpadkem kogenerační jednotky. Pokud není závada včas odstraněna, při zvýšeném poklesu dojde ke snížení aktivity metan produkujících mikroorganismů, s následným nárůstem koncentrací nižších mastných kyselin a poklesem pH. V takovém případě je nutná redukce dávkovaných krmiv. Obdobná situace může nastat při dávkování velkého množství studeného materiálu, zejména v zimním období. Zde je nutné krmnou dávku rozdělit a krmit v kratších intervalech. Změny teploty vyšší než +/- 3 °C za den vedou u mezofilního procesu k omezení produkce bioplynu, u termofilního procesu se změny teploty vyšší než 1 °C za den projeví silně inhibičně (Weiland 2001, Gerardi 2003)

Dávkování krmiv

Při dávkování krmiv je nutné se vyvarovat náhlých změn v jejich množství, při přechodu na nová krmiva je potřeba jejich pozvolné začleňování do krmné dávky. Intervaly mezi jednotlivými dávkami nemají být příliš dlouhé. Při přetížení systému je vhodné snížení množství dávkovaných krmiv do doby, než dojde k poklesu koncentrací nižších mastných kyselin, které se projeví nárůstem koncentrace metanu v bioplynu.

Úprava krmné dávky

Pokud je příčinou poruchy biologie vstupní materiál je nutné omezit jeho dávkované množství, případně jej z krmné dávky vyřadit. Zařazení nových krmiv může do systému vnést potřebnou energii, či stopové prvky významné pro fermentační proces.

Recirkulace digestátu

Recirkulací digestátu je docíleno dvojího účinku, jednak dojde k rozředění fermentované směsi a zároveň jsou do reaktoru přivedeny metanogenní mikroorganismy schopné se podílet na odbourávání vzniklých meziproductů a stabilizaci procesních podmínek. Při použití recirkulátu je nutné sledovat koncentrace amonného dusíku (amoniaku), aby nedošlo k inhibici fermentačního procesu v důsledku zvýšených koncentrací amoniaku.

Nedostatek mikroprvků

Pro optimální průběh fermentačního procesu jsou významné zejména tyto mikroprvky: Fe, Co, Se, Ni, Mo, Mn. Nejčastějším zdrojem mikroprvků v krmné dávce je kejda prasat a skotu, chlévský hnůj, drůbeží trus. V případě jejich nedostatku nebo úplné absence v krmné dávce, dochází k poruchám a kolísáním produkce bioplynu. Uvedené mikroprvky se podílejí na enzymatické činnosti důležité pro hydrolytický rozklad krmiv (Zandvoort et al., 2006). V případě monofermentace rostlinné biomasy, je nutný přírůstek stopových prvků k dosažení stabilních procesních podmínek (Kube et al., 2008, Abdoun and Weiland 2009, Jarvis et al., 1997).

Inhibice amoniakem

Primárně dochází k inhibici v důsledku zvýšených koncentrací amoniaku při aplikaci bílkovinných krmiv. Eliminací bílkovinných krmiv spolu se snížením teploty a úpravou poměru C:N lze docílit stabilizace procesu. Další možností je použití přípravků schopných vyvazovat amonné ionty a amoniak z fermentované směsi.

Nedoporučuje se záměrné snižování pH za účelem snížení koncentrací amoniaku (FNR, 2010).

Nízké zatížení fermentované směsi

Při nízkém zatížení a využití krmiv, které se projeví snížením množství vzniklého bioplynu, se doporučuje aplikace energetických krmiv. Docílí se tak prodloužení doby zdržení ve

fermentorů. Vhodná je aplikace enzymů na podporu rozkladu hůře rozložitelných vstupních krmiv.

Inhibice sirovodíkem

Zvýšené koncentrace sirovodíku jsou nežádoucí jak v kapalně, tak v plynné fázi fermentované směsi. V plynné fázi má negativní vliv v důsledku korozivních účinků na technologické části BPS, zejména kogenerační jednotky. V kapalně fázi sirovodík inhibuje metabolickou aktivitu metanogenních mikroorganismů, snižuje využitelnost mikroprvků vznikem těžce rozložitelných sulfidů. Snížení koncentrací sirovodíku lze docílit eliminací krmiv, jejichž rozkladem se sirovodík uvolňuje (krmiva se zvýšeným obsahem bílkovin). Další možností je biologické odsíření založené na přístřikováním vzduchu do plynového prostoru plynojemů, pro zajištění životních podmínek sírných bakterií. Při nedostatečném biologickém odsíření je rychlým a účinným nástrojem ke snížení koncentrací sirovodíku aplikace železitých solí do fermentované směsi (www.biogas-forum-bayern.de).

Tvorba krust, nehomogenita fermentované směsi

Nejčastěji dochází k tvorbě krust při vysokých dávkách vláknitých krmiv. Pokud není zajištěno dostatečné míchání, ať z důvodu použité technologie či omezeného míchání k většímu účinku biologického odsíření, hrozí vznik mocných krust. Vzniku krust lze předcházet vizuálním sledováním fermentované směsi. Aplikace hydrolytických enzymů zvýší rozklad vláknitých materiálů a homogenitu směsi.

Pěnění

Zvýšené pěnění může mít řadu příčin, při jeho dlouhodobém výskytu se snižuje výkonnost BPS, jelikož pěna zabírá aktivní prostor fermentoru. Příčinami může být výskyt inhibujících faktorů v krmivech, například aplikace závadných, zaplísňených krmiv. Zvýšené dávkování na bílkoviny bohatých krmiv a nepravidelné dávkování, kdy dochází k přetěžování systému, vyvolávají rovněž pěnění. K eliminaci pěnění je nutné eliminovat nevhodná krmiva, zkrátit časové intervaly mezi krmeními, použití odpěňovacích prostředků (například rostlinné oleje) či hydrolytické enzymy (www.biogas-forum-bayern.de).

Použití enzymatického přípravku na BPS

Pro lepší využití vstupních materiálů je na zemědělské BPS o elektrickém výkonu 1 MWh el. aplikován enzymatický přípravek obsahující směs enzymů (celulázy, hemicelulázy, beta-

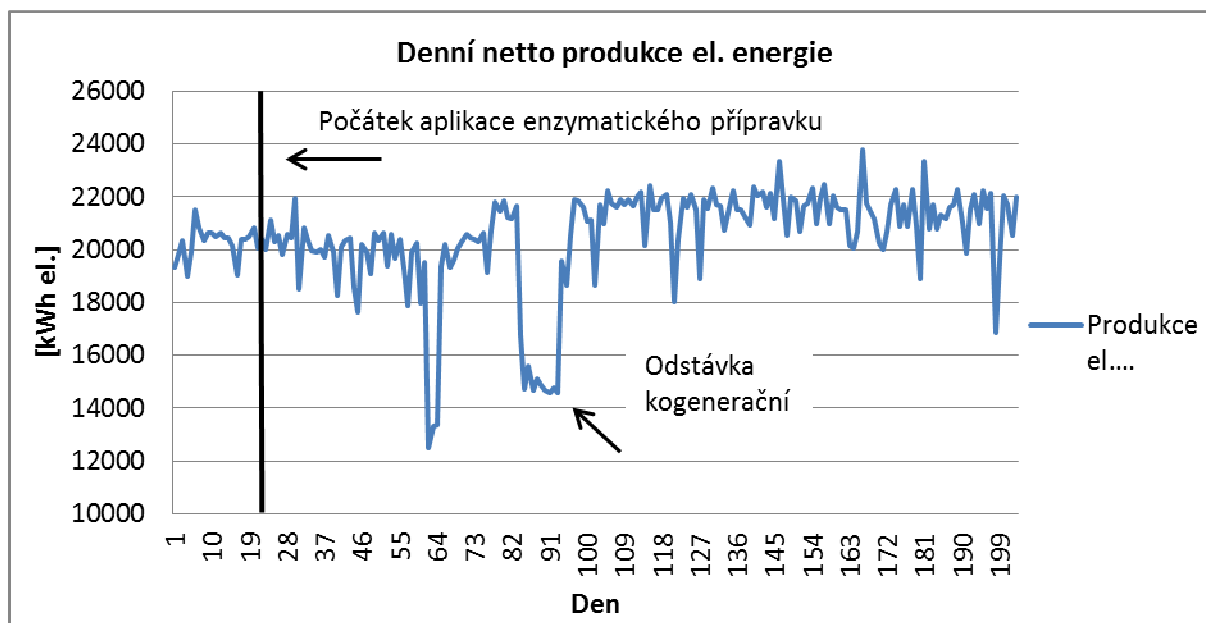
glukanázy, arabinózy). Sledovaná BPS je charakteristická pestrou krmnou dávkou s menšinovým podílem kukuřičné siláže a vysokým zastoupením slamnatého hnoje, travních senází a dalších hůře rozložitelných materiálů (Tab. 6). Během aplikace enzymatického přípravku v období od dubna do října 2013 došlo ke změnám ve složení krmné dávky. Zastoupení silážní kukuřice a slamnatého hnoje v krmné dávce pokleslo, naopak vzrostlo zastoupení travních senází, nově byla zařazena GPS a prasečí kejda.

Tab. 6: Složení denní krmné dávky BPS 1 MWh el.

Složení denní krmné dávky [%]									
	Hnůj	Siláž kukuřice	Siláž čiroku	GPS	Nedožerky	Fugát	Travní senáž	Kejda	Voda
4. 13	28,6	37,4	3,6	0,0	3,6	8,9	0,0	0,0	17,9
4.-10. 13	24,2	27,2	4,3	3,0	3,0	1,2	10,5	12,0	14,7
10. 13	18,5	27,8	0,0	6,7	0,0	0,0	13,4	33,6	0,0

Došlo k nárůstu denní produkce el. energie (Graf 4). Při denních nákladech na přípravek 1278 Kč bylo navýšení tržeb za prodanou elektrickou energii 1948 Kč, což znamená dodatečný denní zisk 670 Kč (výkupní cena 4,12 Kč/ kWh el.).

Aplikaci enzymatického přípravku lze hodnotit pozitivně. Došlo ke snížení zastoupení silážní kukuřice, v krmné dávce, která byla nahrazena zejména travní senází a GPS žita, při současném nárůstu elektrického výkonu.



Graf 4: Výsledky aplikace enzymatického přípravku na zemědělské BPS, výkon 1MWh el.

Plné využití kapacitních bioplynové stanice (BPS)

Obecně lze toho dosáhnout zvýšením výkonnosti stávající bioplynové stanice optimálním využitím stávající (již nainstalované) technologie BPS a zlepšením využití daného substrátu – zvýšením výtěžnosti bioplynu. Současný provoz zemědělských bioplynových stanic je založen vedle odpadů z velkochovů hospodářských zvířat především na zpracování cíleně pěstované fytomasy jako hlavního substrátu. Určité množství fytomasy (ligno-celulozových materiálů) je obsaženo také v substrátech pro BPS zpracovávající komunální odpady nebo čistírenské kaly. Produkce rostlinných surovin pro bioplynové stanice je omezena výkonností zemědělství, proto další zvyšování produkce bioplynu může být dosaženo pouze lepším využitím zpracovávaných surovin. To znamená zvýšení biologické rozložitelnosti zpracovávaného substrátu s cílem dosažení zvýšené transformace organického uhlíku do bioplynu.

Zvýšení výkonnosti bioplynové stanice.

Zlepšení výkonnosti bioplynové stanice lze dosáhnout především optimalizací provozu stanice. To jest zabezpečení optimálních podmínek pro využití stávajících technologických komponent BPS a optimalizací podmínek procesu vhodným dávkováním substrátu, dostatečným mícháním reaktorů, dodržováním technologických parametrů správného zatížení a doby zdržení, zabezpečení konstantní teploty a pod.

Důležitá je identifikace příčiny problémů provozu stanice, což může být vysoká koncentrace amoniaku nebo sulfidů. Pak lze například zařadit intenzivnější odstraňování sulfidů (zvýšení mikroaerace nebo srážení sloučeninami železa) nebo úpravou technologie na méně citlivou na vysokou koncentraci amoniaku – termofilní provoz, dvoustupňový provoz, srážení amoniaku apod.

Další možností zvýšení výkonnosti bioplynové stanice je volba skladby substrátu ve prospěch lépe rozložitelných substrátů s vyšší výtěžností bioplynu nebo s nižším obsahem organického dusíku.

Zvýšení výtěžnosti bioplynu

Zvýšení biologické rozložitelnosti a tím i výtěžnosti metanu lze dosáhnout vhodnou předúpravou suroviny. Všechny metody předúpravy jsou založeny na zpřístupnění složek materiálu enzymovému rozkladu. Zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymovému rozkladu, u některých metod předúpravy dochází i k hydrolýze makromolekulárních látek.

Teoretické možnosti zvyšování efektivity anaerobní fermentace

Intenzifikace fermentačních procesů musí vycházet ze základních vlastností procesu. Mikroorganismy, které se fermentace zúčastňují, se vyznačují nízkými růstovými rychlostmi a nízkou rychlostí odstraňování substrátu a jejich biomasa narůstá velmi pomalu. Úsilí intenzifikace musí být tedy především zaměřeno na **rychlost rozkladu** a na **množství a aktivitu** anaerobní mikrobiální kultury.

Rychlost rozkladu

Anaerobní fermentace je souborem následných i souběžných reakcí. V takovémto případě limitující reakcí celého systému je reakce nejpomalejší. Tou může být hydrolýza

makromolekulárních látek, rozpuštěných i nerozpuštěných (např. fytomasa) nebo za určitých okolností v případě snadno rozložitelných substrátů to může být i metanogeneze. Z dalších limitujících reakcí přicházejí v úvahu reakce rozkladu kyseliny propionové a kyseliny máselné, které jsou velmi důležité z hlediska udržení dynamické rovnováhy celého systému.

Kvalita a množství biomasy v reaktoru

Rychlost rozkladu organických látek závisí na množství a kvalitě aktivní kultury mikroorganismů, proto je snahou udržovat jejich koncentraci v reaktoru co nejvyšší. Koncentrace biomasy mikroorganismů v reaktoru závisí přímo úměrně na koeficientu produkce biomasy, množství odstraněného substrátu a době zdržení biomasy mikroorganismů a nepřímo závisí na hydraulické době zdržení. Reaktory na bioplynových stanicích pracují z hydraulického hlediska v režimu kde je doba zdržení biomasy mikroorganismů stejná jako hydraulická doba zdržení. To znamená, že koncentrace biomasy mikroorganismů bude záviset pouze na produkční konstantě biomasy a množství odstraněného substrátu. Zvýšení koncentrace biomasy mikroorganismů můžeme tedy za dané hydraulické doby zdržení dosáhnout buď zvýšením produkce biomasy mikroorganismů stimulací jejich činnosti nebo zvýšením množství rozloženého substrátu například výběrem lépe rozložitelného substrátu nebo zvýšením jeho rozložitelnosti.

- **IX. Výtěžnost metanu**

Vliv chemického složení substrátu na výtěžnost metanu.

Biologická rozložitelnost a tím i výtěžnost bioplynu závisí na chemickém složení substrátu, na obsahu sacharidů, tuků, proteinů, na podílu celulózy, hemicelulóz a ligninu eventuelně dalších inertních složek materiálu a na poměru jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponent v různých druzích suroviny je různý, odlišná je i jejich rozložitelnost a výtěžnost metanu.

Polysacharidy

Jsou součástí veškeré rostlinné biomasy, patří sem škrob, celulóza a hemicelulózy. Z polysacharidů je nejlépe rozložitelný škrob, který se poměrně snadno hydrolyzuje amylolytickými enzymy. Celulóza je polymerem glukózy, v biotechnologickém procesu je relativně málo rozložitelná. Pro její hydrolýzu je nutná přítomnost celulolytických enzymů, které jsou produkovány hydrolytickými mikroorganismy a v přírodě jsou přítomny v

zaživacím traktu přežvýkavců. Další skupinou polysacharidů jsou heteropolysacharidy - hemicelulózy, které tvoří rozvětvené řetězce s prostorovou strukturou. Hemicelulózy podléhají snáze a rychleji enzymatické hydrolýze než celulóza.

Lignin

Vedle biologicky rozložitelných sacharidů a polysacharidů obsahuje rostlinná biomasa i látky jejichž biologická rozložitelnost je velmi nízká až nulová. Mezi tyto látky patří především lignin. Lignin je organickou součástí nejenom každé rostlinné biomasy, ale materiálů z ní pocházejících, jakou jsou například různé druhy kejdy nebo hnoje a je hlavní součástí biologicky nerozložitelné frakce organických látek v stabilizovaném zbytku po anaerobní fermentaci.

Lipidy

Společnou charakteristikou lipidů je přítomnost mastných kyselin s dlouhým alifatickým řetězcem a malým počtem atomů kyslíku v jejich molekulách. To je důvod, že tuky mají nejvyšší výtěžnost metanu ze všech skupin substrátů. Podléhají relativně snadno enzymové hydrolýze. Problémem může být technické zvládnutí rozkladu tuků, které díky své hydrofobicitě mohou mít tendenci vyplouvat k hladině, oddělovat se z vodní fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny.

Proteiny

Proteiny patří mezi dobře biologicky rozložitelné látky. Proteiny jako jediné s výše uvedených substrátových skupin obsahují ve svých molekulách heteroatomy. Kromě uhlíku, vodíku a kyslíku obsahují také síru a hlavně dusík. Dusík při anaerobní fermentaci přechází amoniak, který při vyšších koncentracích může způsobovat inhibici tvorby metanu.

Poměr C:N

je důležitý pro dobrý průběh anaerobního procesu. Jestli je tento poměr vysoký, dochází k deficitu dusíku. Při nízkém poměru dochází k vysoké produkci amoniaku, který je při vyšších koncentracích toxický pro anaerobní bakterie, zejména metanogeny. Toxicky působí nedisociovaná forma amoniaku, jejíž koncentrace závisí především na pH, s vyšším pH silně vzrůstá. Optimální poměr C:N pro anaerobní fermentaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci

exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečních a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19. Za kritický se považuje poměr C:N 12.

V technologické praxi se většinou setkáváme s komplexním složením suroviny pro anaerobní fermentaci, v níž jsou zastoupeny v různém poměru (podle původu a zpracování suroviny) všechny výše uvedené skupiny substrátů. Jak již bylo uvedeno, ne všechny organické látky přítomné v surovině se v průběhu procesu rozloží, část jich zůstává jako tzv. nerozložitelný zbytek ve zfermentovaném materiálu. Jaký podíl organických látek zůstane nerozložený závisí i na technologických podmínkách procesu (teplota, doba zdržení, předúprava).

- **X. Vliv předúpravy a manipulace se surovinou na výtěžnost metanu**

Ke zvýšení biologické rozložitelnosti různých druhů surovin pro anaerobní fermentaci se začínají stále více uplatňovat různé metody předúpravy zpracovávaného materiálu. Cílem předúpravy je:

prohloubení biologického rozkladu a tím zvýšení produkce metanu (bioplynu),

hygienizace fermentovaného materiálu, kde to požaduje legislativa,

minimalizace množství výstupního stabilizovaného materiálu (u čistírenských kalů).

Vzhledem k tomu, že většina zpracovávaných organických látek je v partikulární formě, nejdůležitějším procesem rozkladu je jejich převedení do roztoku - hydrolyza. Ta probíhá v důsledku přítomnosti bakterií produkujících hydrolytické enzymy a její rychlost může být podstatně zvýšena různými způsoby dezintegrace a fyzikální nebo chemické předúpravy zpracovávaného materiálu.

Mechanické metody

sem patří různé způsoby dezintegrace tuhých složek substrátu – mletí, drcení a pod. Zmenšením velikosti částic dochází ke zvětšení celkového povrchu a ke zlepšení přístupnosti organických látek v substrátu enzymatickému rozkladu.

Chemické metody

mezi chemické metody patří například působení alkálií, kyselin, nebo oxidačních činidel (např. ozon), které vede k destrukci složitých organických látek – hydrolýze. Přídavkem chemikálií (např. H_2SO_4) se ale do systému mohou vnášet nežádoucí složky (síra).

Fyzikální metody

na příklad termická hydrolýza, ionizující záření, působení ultrazvuku. Dochází k destrukci složitých organických látek. Termická předúprava požadovaná legislativou může být pasterizace při 70 °C nebo hygienizace při 130 °C podle druhu suroviny, obě metody vedle sanitačního efektu fungují jako termická hydrolýza a zvyšují výtěžnost bioplynu.

Biotechnologické metody

enzymová nebo mikrobiální předúprava – použití čistých komerčně vyráběných enzymů – např. celuláz , přímé použití mikroorganismů s vysokou celulázovou aktivitou - bacherové kultury, anaerobní houby. *Dotování fermentační směsi mikronutrienty* jako například Co, Ni, Mo může v případě průmyslových jednodruhových substrátů podstatně vylepšit proces.

Enzymatické předúpravy

S cílem vyhodnocení ekonomických výhod kterých může být dosaženo aplikací enzymatické předúpravy, byla vypracována ekonomicko-finanční analýza, založená na experimentálních výsledcích výše uvedeného testu. Tato analýza vedla ke kalkulaci čistého ročního zisku, který tvořil částku 280,149 €. Pozitivní hodnota ročního zisku spolu s ostatními organizačními výhodami (snadnost aplikace, žádné zásahy do technologie, žádné další náklady na proud atd.) proto naznačuje, že používání hydrolytických enzymů je ekonomicky výhodným řešením předúpravy vstupních surovin do bioplynové stanice.

Způsob zacházení a skladování suroviny

Vzhledem k tomu, že zpracovávaná surovina je většinou nesterilní směsí různých snadno i hůře rozložitelných organických látek, jsou přítomny i různé mikroorganismy a tudíž mohou probíhat samovolné biologické procesy rozkladu podle podmínek prostředí. Obvykle při tom dochází k úniku vznikajících plyných nebo těkavých látek a k poklesu organických látek. Při delším skladování např. prasečí kejdy může dojít k úbytku až 40 % celkové CHSK a v tomto poměru se sníží i výtěžnost metanu.

Prakticky všechny uvedené způsoby intenzifikace a zvýšení rozložitelnosti je však třeba hodnotit individuálně podle konkrétního substrátu, místních podmínek. Je vypracovaná celá řada fyzikálních, chemických a termochemických metod umožňujících efektivní hydrolýzu složek rostlinné biomasy avšak jejich technická a ekonomická náročnost zatím nedovoluje jejich využití na bioplynových stanicích.

Kromě mechanické dezintegrace a termické hydrolýzy, které se již v provozu používají, jsou nejvíce nadějně biotechnologické metody zvýšení rozložitelnosti. Používání čistých enzymů (celuláz) je již komerční záležitostí, avšak je zde ještě mnoho nedořešených otázek. Výrobky různých producentů reagují různým způsobem, neexistuje jednoznačná metodika jejich aplikace, která by zaručovala výrobcem deklarované výkonnosti. Zatím nejsou prozkoumány závislosti funkce enzymových přípravků různých výrobců na změny technologických podmínek anaerobní fermentace. Negativním faktorem je také vysoká cena enzymových přípravků a nutnost pravidelného dávkování do reaktoru. Slibná je i biotechnologická metoda aplikace mikroorganismů se zvýšenou celulázovou aktivitou přímo do anaerobního reaktoru ve směsi s ostatními mikroorganismy fermentace, je však zatím ve stadiu výzkumu. Současné problémy anaerobní fermentace organických materiálů nejsou spojeny jen se vstupními surovinami a technologickými parametry, ale také s technickým řešením bioplynové stanice, kvalitou a správným výběrem jednotlivých komponent a jejich funkčnosti. Potom i náhradou některých zařízení za účinnější a spolehlivější je možno intenzifikovat provoz stanice.

- **XI. Ekonomika**

Ekonomika provozu BPS za současných podmínek je pro jejich majitele při zvládnutí procesního řízení fermentačního procesu a dosažení instalovaného výkonu jednoznačně přínosná. Výkupní ceny za elektřinu vyrobenou v bioplynových stanicích doznaly změn s novelizací zákona č. 165/2012 Sb. Dle tohoto nařízení zůstává výše podpor u BPS-AF1 uvedených do provozu před 31. 12. 2011 včetně na úrovni 4,12 Kč/kWh, u BPS-AF2 uvedených do provozu do 31. 12. 2012 včetně na úrovni 3,55 Kč/kWh. U zařízení uvedených do provozu v období 1. 1. 2013 až 31. 12. 2013 je výkupní cena stanovena dle instalovaného elektrického výkonu:

Uvedení zařízení do provozu	Instalovaný el. výkon [kWh]		Výkupní cena [Kč/kWh]	Zelené bonusy [Kč/kWh]
1. 1. 2013 – 31. 12. 2013	0	550	3,55	2,49
1. 1. 2013 – 31. 12. 2013	550	-	3,04	1,98

Podmínkou poskytnutí výše uvedených podpor je využití užitečného tepla z obnovitelných zdrojů minimálně na úrovni 10 % vůči vyrobené elektřině z OZE v daném kalendářním roce. V novele schválené v roce 2013 se již nepočítá s investiční a provozní podporou zařízení uvedených do provozu po 1. 1. 2014.

Při efektivním provozu BPS o instalovaném elektrickém výkonu 1 MWh při používání materiálů z vlastní produkce je možné dosáhnout měsíčního provozního zisku okolo 1 000 000 Kč. I přes omezení státní podpory, ke které došlo přijmutím novely č. 310/2013 Sb. zůstávají zemědělské BPS stabilizačním prvkem zemědělských podniků.

Při srovnání BPS a fotovoltaických elektráren mají BPS několik výhod:

- nižší zátěž pro daňové poplatníky (cca **4 Kč za 1 kWh** z BPS oproti původním cca **12 Kč za 1 kWh** z FVE)
- díky kontinuální výrobě 24/7 elektrické energie představuje tento zdroj nižší zátěž pro elektrickou distribuční síť (DS)
- návaznost na zemědělskou výrobu a ekonomická stabilizace zemědělských podniků

Z pohledu vývoje není zatím jasno, kterým směrem se sektor produkce bioplynu a jeho podpora ze strany státu budou vyvíjet. V západních zemích se intenzivně rozvíjí a jsou podporovány technologie na produkci biometanu. V podmínkách České republiky není provozní podpora výroby biometanu, roste tlak na využití tepla vzniklého při spalování bioplynu v kogenerační jednotce. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla KVET je podmínkou pro získání provozní podpory. Právě plnohodnotné a efektivní využití tepla je v řadě případů nedostatečné. Dalším trendem je využívání vstupních materiálů nepocházejících z cílené zemědělské produkce.

Orientační ekonomická kalkulace:

	zemědělská BPS-AF1	odpadová BPS-AF2
investiční náklady	30 - 100 mil. Kč	120 - 250 mil. Kč
tržby za příjem odpadu	-	300 - 2 000 Kč / t
příjem z prodeje tepla	0 - 300 Kč / GJ	0 - 300 Kč / GJ
náklady na nákup siláže	700 - 900 Kč / t	-
návratnost investice	5 - 8 let	5 - 8 let

Uvedené kalkulace počítají s investiční a provozní podporou ze strany státu.

Návratnost investice záleží na mnoha okolnostech:

- prodejní ceny elektrické energie, tepla nebo biometanu
- u odpadových BPS cena za příjem odpadu
- u zemědělských BPS cena za nakupovanou siláž
- získání/nezískání dotace na výstavbu
- kapacita BPS
- účinnost kogenerační jednotky
- náklady na úvěr
- a mnoha dalších

XII. Závěr

Bioplynové stanice jsou dnes nedílnou součástí zemědělské výroby a používají ke své činnosti produkty ze zemědělské činnosti. Protože jejich „krmivem“ mohou být jak produkty pouze určené k výživě zvířat (siláže kukuřičné, siláže travní, vedlejší výrobky z hlavní zemědělské činnosti (řízky, chlévská mrva, kejda, aj) je třeba se zamyslet nad tím, aby povolení k jejich činnosti především dostávaly ty podniky, které je používají k doplňkové zemědělské činnosti (zpracování kejdy, chlévské mrvy, aj.). Samozřejmě by mělo být do budoucna povolováno postavit toto zařízení především těm, kdo provozují

živočišnou výrobu. Ekonomika pouze rostlinných farem s výrobou bioplynu (a tepla) je sice lepší, ale z hlediska udržení zaměstnanosti a strategické soběstačnosti ve výrobě potravin v tomto případě by komplexní zemědělská činnost měla být preferována. Vzhledem k poklesu rozsahu živočišné výroby dnes výroba bioplynu není přímým konkurentem chovu zvířat, protože s poklesem živočišné výroby poklesl i požadavek na pěstování krmných plodin. Dá se konstatovat, že „výživa“ bioplynových stanic je pro zemědělské podniky doplňkovou výrobou proměňenou v trvalý (na určitou dobu) přísun finančních prostředků.

XIII. Seznam použité literatury:

- Abdoun, E., Weiland, P.: Optimization of monofermentation from renewable raw materials by the addition of trace elements. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 68, 69-78, 2009
- Baserga, U.: Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen; FAT- Berichte Nr. 512, 1998
- Bischofsberger, W., Dichtl, N., Rosenwinkel, K. H., Seyfried, C. F., Böhnke, B.: *Anaerobtechnik 2. vollständig überarbeitete Auflage*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 3-540-06850-3, 2005
- Dublin, D., Steinhauser, A.: *Biogas from waste and renewable resources*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 978-3-527-31841-4, 2008
- Gerardi, M. H., *The microbiology of anaerobic digesters*, John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 9780471468967, 2003
- Gerardi, M., H.: *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, John Wiley & Sons, New Jersey, ISBN 0-471-20693-8, 2003
- Heinrich, J., Gemmeke, B., Rieger, Ch., Weiland, P., Schröder, J.: *Biogas-Messprogramm II*, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, ISBN 978-3-9803927-8-5
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- Kube, J., Friedman, H.: Optimierung der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen durch den Einsatz von Mikronährstoffen-ein Erfahrungsbericht, In: *Tagungsband 17. Jahrestagung des Fachverbandes Biomas*, Nürnberg, pp 125-130, 2008
- Roati, C., Flore, S., Ruffino, F., Marchese, D., Novarino, D., Zanetti, M.C.: Preliminary Evaluation of the Potential Biogas Production of Food-Processing Industrial Wastes, *American Journal of Environmental Sciences* 8 (3): 291-296, 2012, ISSN 1553-345X
- Schulz, H., Eder, B.: *Bioplyn v praxi*, 167 stran, HEL, Ostrava, ISBN 80-86167-21-6, 2004
- Weiland, P.: *Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate*; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19–32; VDI-Verlag, 2001
- Weiland, P.; Rieger, Ch.: *Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich*; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie und Systemtechnik / Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2001

Weißbach, F.: Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen, LANDTECHNIK, 6/2008

Zandvoort, M. H., van Hullebusch, E. D., Feroso, F. G., Lens, P. N. L.: Trace Metals in Anaerobic Granular Sludge Reactors: Bioavailability and Dosing Strategies, Engineering in Life Sciences, volume 6, issue 3, pages 293-301, June 2006

Biogas Forum Bayern: Prozessbiologische Störungen in NawaRo- und Gülleanlagen, Nr. III – 4/2010, 2010

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Förderkennzeichen (FKZ): 22005108: Leitfaden Biogas von der Gewinnung zur Nutzung, ISBN 3-00-014333-5, Rostock, 2010

<http://www.bioplynovestance.cz/ekonomika/>

<http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stance/>

www.axpo-kompogas.ch

www.czba.cz

TVRZNIK, P., ZEMAN, L., HAITL, M.: Bioplynové stanice z pohledu výživy zvířat. Expertní studie VVZ při MZe, VUŽV Praha Uhřetěves, 2013, 46 s.

Studie pojednává o bioplynových stanicích a jejich významu ve vztahu k výživě zvířat. K datu 31. 7. 2013 je v České republice v provozu celkem 487 bioplynových stanic, z čehož je 317 zemědělských, 7 komunálních, 11 průmyslových, 55 na skládkách a 97 bioplynových stanic je provozováno v rámci čistíren odpadních vod. Podíl bioplynu na obnovitelných zdrojích energie byl 20,7 %, podíl OZE (obnovitelné zdroje energie) na výrobě elektřiny 11,9 %, výroba z OZE 5 254 GWh. Instalovaný výkon Bioplynových stanic byl 363,24 MW, z toho elektrický výkon 1 406 GWh. Studie dále pojednává o principech tvorby bioplynu a z jakých substrátů se plyn tvoří. Jaké vstupní materiály jsou vhodné anaerobní fermentační procesy a produkci metanu. Pro plánování efektivnosti využití bioplynových stanic je podrobně popsán matematický definována produkce bioplynu (metanu) ze substrátů konkrétního složení. Ve studii je také pojednáno o mechanických zařízeních (linkách, fermentorech, úpravnách, aj.) používaných v bioplynových stanicích. Pro výrobu bioplynu (především jeho hlavní složky metanu) se nejčastěji používá a je nejvhodnější substrát na bázi kukuřice, který se vhodně doplňuje vedlejšími produkty ze zemědělské nebo potravinářské výroby. Závěrem expertní studie je úvaha o tom, že budoucnost v bioplynových stanicích by měla být spojena se zemědělskou živočišnou výrobou.

Klíčová slova: Bioplynová stanice, bioplyn, metan, substráty, fermentor, výživa zvířat,

TVRZNIK, P., ZEMAN, L., HAITL, M.: The biogas plants from animal nutrition perspective. The expert study of the Scientific research base at the Ministry of Agriculture, The Institute of Animal Science, Prague Uhřetěves, 2013, p. 46

The study discusses the biogas plants and their significance in relation to animal nutrition.

There operates a total of 487 biogas plants in the Czech Republic as of July 31st 2013, of which 317 are agricultural, 7 municipal, 11 industrial, 55 at landfills and 97 of them are operated at wastewater treatment plants. The share of biogas from renewable energy sources (RES) was 20.7%, the share of RES to generate electricity was 11.9%, the production from RES was 5 254 GWh. The installed capacity of biogas plants was 363,24 MW, of which electric power made 1,406 GWh. The study also discusses the principles of biogas production and substrates the biogas is generated from. The suitable raw materials for anaerobic fermentation processes and subsequent production of methane are mentioned as well. The mathematical model for planning effective utilization of biogas plants is described in detail as well as the production of biogas (methane) from specific composition of substrates is defined. The study also discusses the mechanical equipment (lines, fermenters, treatment plants, etc.) frequently used in biogas plants. The most commonly used and suitable substrate for the biogas production (mainly methane as its key component) is based on maize, which complements the byproducts of agriculture and food production very well. The conclusion of the expert study is the reasoning that the future of biogas plants should be linked to agricultural livestock production.

Keywords: Biogas plant, biogas, methane, substrates, fermenter, animal nutrition,