



Společnost pro techniku prostředí

**KONFERENCE
ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE 2014**



1. - 3. ČERVENCE 2014, KROMĚŘÍŽ

sborník přednášek

VYUŽITÍ TRAVNÍ BIOMASY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY SE ZAMĚŘENÍM NA PRODUKCI BIOPLYNU

Jan Frydrych¹, Pavla Volková¹, David Andert², Ilona Gerndtová², Helena Raclavská³,
Dagmar Juchelková³, Ondřej Zajonc³

¹OSEVA vývoj a výzkum s.r.o., Zubří

²Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i, Praha

³Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava

ANOTACE

Hledání alternativních zdrojů energie se stává celosvětovou záležitostí. V České republice se stále zvyšuje výměra travních porostů, které nejsou využívány v zemědělské výrobě pro výrobu potravin. Dalším významným zdrojem obdobné biomasy je produkce z údržby krajiny a veřejné zeleně ve městech a obcích. Vzhledem k výraznému poklesu objemu živočišné výroby a zájmu o produkci z trvalých travních porostů se z této produkce stále častěji stává zbytková biomasa. Jednou z možností racionálního využití této biomasy je i výroba bioplynu. Cílem výzkumu bylo zjistit možnosti využití travních porostů na produkci bioplynu. Na základě výsledků a zkoušek potenciálu biomasy lučních porostů pro produkci bioplynu jsme zjistili, že hmota z trvalých travních porostů je využitelná pro výrobu bioplynu. Hlavní produkce bioplynu probíhá do 30 dnů. Vyšší výtěžnost bioplynu je dosahována u trav v raném stádiu zralosti 20-30 % sušiny. Pro bioplyn je zpracovatelná i travní hmota s vyšším obsahem sušiny. Rozbory trav na uhlík a dusík potvrdily pozitivní poměr C : N na výrobu bioplynu, u mladých rostlin se pohyboval v blízkosti optima 30 : 1.

ÚVOD

V České republice se stále zvyšuje výměra travních porostů z důvodu přebytku zemědělské půdy, která není potřebná pro výrobu potravin. Dalším významným zdrojem obdobné biomasy je produkce z údržby krajiny a veřejné zeleně ve městech a obcích. Vzhledem k výraznému poklesu objemu živočišné výroby a zájmu o produkci z trvalých travních porostů se z této produkce stále častěji stává zbytková biomasa. Jednou z možností racionálního využití této biomasy je i výroba bioplynu [5]. Na současné úrovni technologických poznatků, cen energií a ekologické nezbytnosti substituce fosilních energetických zdrojů celá řada autorů doporučuje výrobu bioplynu z biomasy energetických rostlin a z rostlinných odpadů [2, 3, 6]. Někteří autoři [7] uvádějí, že výroba bioplynu je způsobem využití nadbytku travního porostu a produkování bioenergie pro vytápění. Další autoři [8] uvádějí, že trvalé travní porosty mohou být jedním z nejdůležitějších poskytovatelů biomasy pro produkci bioplynu, ačkoliv na většině farem např. v Polsku jsou hlavním zdrojem krmiva pro přežvýkavce.

Travní biomasa je uváděna jako materiál, který lze pro anaerobní fermentaci velmi dobře využít, neboť splňuje základní předpoklady, které jsou na vstupní substrát pro výrobu bioplynu kladeny [1]. Obsahuje vysoké procento organické hmoty, blíží se optimálnímu poměru C : N a obsahuje málo popelovin. Podle výzkumu, ve kterém se kofermentovala travní fytomasa s kejdou a digestátem, by měl být optimální podíl travní fytomasy ve zpracovávaném substrátu 35–50 %, aby bylo dosaženo co nejvyšší produkce bioplynu.

MATERIÁL A METODIKA

Pro hodnocení energetického využití fytomasy druhově pestrých porostů jsme využili porosty v Zubří založené v roce 2000, které již měly stabilizované složení. Pro stanovení produkce bioplynu jsme v letech 2007-2010 vybrali tyto varianty směsí:

- 1) Bylinná obchodní směs, založeno výsevem 10 kg.ha⁻¹ (BS)
- 2) Regionální směs trav a leguminóz s přidavkem bylin, založeno výsevem 40 kg.ha⁻¹ (RS + LS)
- 3) Regionální směs (ad 2) přiseta v pásu do obchodní luční směsi RS
- 4) Úhor - spontánní úhor bez zásahu

Vzorky pro stanovení produkce bioplynu jsme odebírali každoročně v průběhu let 2007-2010 v první dekádě června a v říjnu.

Produkce a složení fytomasy pro analýzu na bioplyn

Tab. 1 Průměrné složení fytomasy (hmotnostní %)

Druh	Úhor	BS	RS + LS	RS
Chrpa luční	2	5	2	10
Jetel bílý	20	2	5	10
Kostřava červená	2	5	5	5
Medyněk vlnatý	5	4	2	5
Pampeliška srstnatá	4	2	3	
Svízel povázka	2			2
Tolice dětelová	60	50	30	6
Tomka vonná	5			2
Štírovník růžkatý		30	50	60
Úročník bolhoj		2		
Trojštět žlutavý			3	

Legenda: BS - bylinná směs, RS - regionální směs, LS - luční směs

Postup stanovení výtěžnosti bioplynu

Z jednotlivých typů trav jsme při stejných režimech anaerobního vyhnívání zjišťovali produkci bioplynu a jeho chemické složení. Pro výrobu bioplynu ze speciálních substrátů bylo upraveno laboratorní pracoviště. V laboratorních pokusech se testovaly 4 směsi biomasy z porostů s různou druhovou diverzitou pro výrobu bioplynu na malých zařízeních o objemu 2 l se vsázkou 1 kg směsného materiálu. Sadu fermentorů jsme umístili ve vyhříváném termoboxu. Každý fermentor měl svůj plynovod pro odečet produkce bioplynu. Pro analýzu vznikajícího bioplynu jsme použili analyzátor AIR LF, se kterým je možné měřit obsah oxidu uhličitého a metanu, případně i kyslíku. Směsi odzkoušené s dobrými výsledky v malých fermentorech jsme dále ověřovali ve větších laboratorních fermentorech o objemu 100 l. Dvojice reaktorů umožňuje optimalizovat složení fermentační směsi, lépe kontrolovat průběh procesu a sledovat vliv provozní teploty.

Pro inokulaci procesu metanogeneze jsme použili vyhnílý fugát z bioplynové stanice. U každého vstupního materiálu jsme stanovili obsah veškeré sušiny a pro výpočet výtěžnosti též organické sušiny. Používaný fugát měl obsah sušiny v rozmezí 2-5 %. U všech pokusů jsme nastavili stejné podmínky. Fermentory pracovaly při teplotě 37 °C, to je v termofilní oblasti. Hmotnostní procento sušiny výchozí směsi namíchaných substrátů bylo mezi 4-8 %. Výsledná produkce bioplynu v m³ byla vždy vztažena na hmotnost 1 t sušiny vzorku. Pokusy jsme každoročně zakládali ve dvou termínech. Vzorky pro první termín byly z první seče ve vyšším stupni zralosti. Trávy byly ve fázi sloupkování, metání a kvetení, což bylo nejspíš příčinnou pomalejšího nárůstu produkce bioplynu. Vzorky pro druhý pokus jsme odebrali

z druhé seče. Trávy nebyly v tak vysokém stupni zralosti, a proto jsme dosáhli větší výtěžnosti bioplynu.

Tab 2 Měřené hodnoty analyzátoru AIR LF

Senzor	Typ	Rozsah	Přesnost	Rozsah
CH ₄	Infračer.	0-100 %	± 5 % měř. vel.	10-100 %
CO ₂	Infračer.	0-50 %	± 5 % měř. vel.	5-50 %
O ₂	El.chem.	0-21 %	± 5 % měř. vel.	1-21 %
CO	El.chem.	0-4000 ppm	± 5 % měř. vel.	100-4000 ppm

Pro výzkum trav konzervovaných senážní technologií byly realizovány tzv. minisenáže (užitný vzor minisenáže: přihlašovatel/majitel: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha). Technologie minisenáže je registrována jako užitný vzor. Měrná hustota vzorků byla 405–514 kg.m⁻³ (minimální požadovaná měrná hustota je 200 kg.m⁻³). Standardní doba fermentace byla 90 dní při teplotě 25°C. Sledování prokázalo, že všechny materiály měly poměrně malé ztráty mezi 2 a 5 %_{hm.}. Vzorky minisenáže byly skladovány při běžných podmínkách (teplota 15 až 20 °C) až do celkové doby 365 dnů. I při tomto dlouhodobém skladování se ztráty organické hmoty pohybovaly do 11,4 %. Byly provedeny kvalitativní rozborů senáže z květnaté louky a siláže z kukuřice uvedené v tab. 3 a 4.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Konverze fytomasy na bioplyn

Hlavní produkce bioplynu se odehraje do 30 dnů. Z opakovaných pokusů lze konstatovat, že pro výrobu bioplynu je vhodná fytomasa ze všech sledovaných typů porostů, ovšem vyšší produkce bioplynu jsme dosáhli u fytomasy s vyšším podílem jetelovinové složky. Naopak produkci bioplynu snižovala přítomnost chrpy luční (*Jacea pratensis*). Negativní vliv chrpy na metanogenezi jsme ověřili i v samostatném pokusu s fytomasou pouze chrpy luční, kdy výtěžnost bioplynu výrazně klesla. Zajímavostí je, že se výtěžnost bioplynu výrazně snížila i u samostatně testované fytomasy štírovníku růžkatého (*Lotus corniculatus*) a také u fytomasy z regionální směsi, ze které jsme štírovník odebrali, přičemž fytomasa regionální směsi v daném roce (2008) poskytla nejvyšší výtěžnost bioplynu [4].

Obecně je vhodné používat směsi v raném stadiu zralosti. Například u parkové směsi s výškou do 20 cm jsou dosahovány měrné produkce bioplynu až o 20 % vyšší. Vzorky fytomasy pro stanovení metanogeneze měly velký podíl organické hmoty (90-92,3 % v sušině). Ve všech pokusech byl dosažen vysoký stupeň odbourání organické sušiny na 65 až 71 %.

Nejvyšší produkce bioplynu jsme dosáhli u regionální směsi přiseté do luční směsi. Na této skutečnosti se nejvíce podílela výtěžnost bioplynu, která byla o 13 až 20 % vyšší než u ostatních směsí. Naopak nejnižší produkci bioplynu jsme stanovili u fytomasy z regionální směsi, přestože zde byla dosažena nejvyšší průměrná produkce fytomasy. Žádný ze stanovených rozdílů nebyl statisticky významný, ať už se jedná o výtěžnost ($p = 0,113$) nebo celkovou produkci bioplynu ($p = 0,572$).

Tab. 3 Výsledné parametry senážování květnaté louky v letech 2010-2011

Parametr	Jednotky	Senážovaná louka		
		průměr	SD (n=4)	variální koef. (%)
Sušina	%	32,5	0,27	0,84
Popel	g.kg ⁻¹	131,8	2,54	1,93
Hrubá vláknina	g.kg ⁻¹	208,3	0,49	0,23
NDF	g.kg ⁻¹	440,9	1,58	0,36
ADF	g.kg ⁻¹	281,1	0,77	0,28
ADL	g.kg ⁻¹	56,8	0,76	1,33
Dusíkaté látky	g.kg ⁻¹	121,3	0,16	0,13
Tuk	g.kg ⁻¹	30,7	0,97	3,17
Škrob	g.kg ⁻¹	18,7	2,35	12,55
Cukry	g.kg ⁻¹	17,6	2,76	15,63
pH výluhu	g.kg ⁻¹	4,2	0,01	0,23
Kyselost vod. výluhu	mg _{KOH} /100g vz.	198,7	6,15	3,10
Amoniak	g.kg ⁻¹	0,5	0,01	1,34
Formolová titrace	g.kg ⁻¹	0,2	0,01	5,80
Stupeň proteolýzy	%	9,8	0,17	1,74
Etanol	g.kg ⁻¹	21,3	0,69	3,23
Kyselina octová	g.kg ⁻¹	2,5	0,25	10,23
Kyselina mléčná	g.kg ⁻¹	22,8	1,86	8,17

Tab. 4 Výsledné parametry silážování kukuřice v letech 2010-2011

Parametr	Jednotky	Silážní kukuřice		
		průměr	SD (n=4)	variální koef. (%)
Sušina	%	24,7	0,13	0,54
Popel	g.kg ⁻¹	41,1	0,09	0,21
Hrubá vláknina	g.kg ⁻¹	247,7	0,82	0,33
NDF	g.kg ⁻¹	509,5	2,24	0,44
ADF	g.kg ⁻¹	295,8	1,82	0,62
ADL	g.kg ⁻¹	24,8	0,74	2,97
Dusíkaté látky	g.kg ⁻¹	63,3	0,74	1,17
Tuk	g.kg ⁻¹	22,1	0,74	3,37
Škrob	g.kg ⁻¹	121,7	4,00	3,28
Cukry	g.kg ⁻¹	30,9	1,68	5,44
pH výluhu	g.kg ⁻¹	3,8	0,02	0,45
Kyselost vod. výluhu	mg _{KOH} /100g vz.	179,6	0,00	0,00
Amoniak	g.kg ⁻¹	0,2	0,01	4,22
Formolová titrace	g.kg ⁻¹	0,1	0,00	1,10
Stupeň proteolýzy	%	11,0	0,44	3,99
Ethanol	g.kg ⁻¹	27,0	0,75	2,78
Kyselina octová	g.kg ⁻¹	2,2	0,13	5,75
Kyselina mléčná	g.kg ⁻¹	16,7	0,63	3,77

Stručný komentář k výsledným parametrům

Sušina zabalených vzorků siláže postupně klesá, jedná se o přirozený proces fermentace. U ostatních organických rozborů nebyly předpokládány změny v základních ukazatelích, proto se dělal tento rozbor každý třetí měsíc. Kolísání ukazatelů je v rámci variability. Obsah rozpustných cukrů v průběhu fermentace klesl, cukry jsou postupně fermentovány. pH výluhu kolísá v rámci variability, zjištěné hodnoty odpovídají typu fermentované hmoty. Obsah amoniaku postupně mírně vzrostl, tato skutečnost byla pravděpodobně způsobena proteolýzou. Hodnoty formolové titrace jsou v rámci variability. Stupeň proteolýzy s časem mírně vzrostl, podle normy 2004 je hraniční hodnotou 11 %, tato hodnota nebyla dosažena. Ethanol vykazuje nízké hodnoty, hodnocený vzorek ze září je i vzhledem k ostatním parametrům nestandardní. Obsah 1-propanolu se začíná od říjnového vzorku zvyšovat, zatím nelze hodnotit další průběh. Obsah TMK (těkavé mastné kyseliny) je v rámci variability (mimo vzorek září).

Závěrečný komentář k výsledkům a produkci bioplynu

Celková doba fermentace byla 83 dnů: Mezi minisilážemi v rámci daného typu siláže byla nízká variabilita (viz variační koeficienty jednotlivých parametrů). Vyšší variační koeficienty (> 10 %) byly pouze u parametrů stanovovaných blízko detekčního limitu. Fermentační ukazatele a nutriční hodnota siláží byla vyhodnocena na podkladě ukazatelů uvedených v "Normě 2004" (květnatá louka byla vyhodnocena jako travní senáž). Kukuřice byla sklizena při nižší sušíně než doporučuje "Norma 2004", přesto byly parametry fermentace (proteolýza) v normě (bez penalizace). V případě květnaté louky byl zjištěn nižší obsah NL ($110 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) proti doporučenému ($> 140 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). Produkce bioplynu byla porovnávána z čerstvé a ze silážované hmoty. Porovnávali jsme kukuřici a květnatou louku. Produkce bioplynu čerstvé hmoty květnaté louky byla $250\text{-}270 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ org. sušiny, senážované hmoty $270\text{-}290 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ org. sušiny, u čerstvé kukuřice $300\text{-}320 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ org. sušiny a silážované kukuřice $320\text{-}350 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ org. sušiny. Ve všech sledováních vyšla produkce bioplynu ze silážované hmoty vyšší než z čerstvé. U kukuřice byl nárůst produkce bioplynu až 9 %, u květnaté louky byl velmi malý. Co se týká délky skladování siláže, nebyl pozorován statisticky průkazný vliv na produkci bioplynu. Na základě rozborů můžeme konstatovat, že 80 % produkce bioplynu se odehraje do 14 dnů. Podíl organické hmoty se u trav pohyboval mezi 91,20 % až 94,16 %, pouze kukuřičná siláž měla 25,4 %. Sušina vzorku byla poměrně vyrovnaná a pohybovala se kolem 30 %. U všech vzorků došlo k vyrovnanému odbourání organické hmoty. Stupeň odbourání organické hmoty v reaktorech byl kolem 70 %.

Současný výzkum travní biomasy pro produkci bioplynu

Zejména v současnosti je v zemědělské praxi zájem o bioplynové stanice. Bioplynové stanice fungují bez problémů, je-li k dispozici dostatek kejdy skotu či prasat a fytomasa je využita pouze v malých dávkách při kofermentaci. Vzhledem k radikálnímu poklesu stavu skotu i prasat jsou však často hospodářství bez živočišné výroby. Pro tato stanoviště je třeba nalézt vhodné celoroční složení vsázky bez nutnosti přídavku kejdy. Současný výzkum řeší rovněž vhodné způsoby konzervace rostlinné hmoty pro zabezpečení celoročního provozu, protože bioplynové stanice pracují nejúčinněji při vsázce s co nejmenším kolísáním poměru vstupních substrátů. Současně bude zjištěna i ekonomika tohoto procesu. V zemědělské praxi se jeví perspektivní využití travních senáží. Pro výzkum trav konzervovaných touto technologií byly realizovány tzv. minisenáže.

Vliv vstupní vlhkosti senáže na fermentační ztráty

Sledování jsme prováděli na minisenážích. Technologie minisenáží je registrována jako užitečný vzor. Měrná hustota vzorků byla 405–514 kg.m⁻³ (minimální požadovaná měrná hustota je 200 kg.m⁻³), u sušších vzorků byla dosahována nižší a u vlhčích vyšší. Standardní doba fermentace byla 90 dní při teplotě 25 °C. Sledování prokázalo, že všechny materiály měly poměrně malé ztráty mezi 2 a 5 %. U mladých porostů nemá vlhkost statisticky významný vliv na ztráty, pouze u vzorků se sušinou přes 50 % jsou ztráty trochu vyšší. Vzorky minisenáží jsme dále skladovali při běžných podmínkách (teplota 15 až 20 °C) až do celkové doby 365 dnů. I při tomto dlouhodobém skladování se ztráty organické hmoty pohybovaly do 11,4 %.

ZÁVĚR

Význam využívání travních porostů pro energetické účely nabývá na důležitosti zejména z hlediska využití ladem ležící půdy pro cílené pěstování energetických rostlin a dále v souvislosti s biomasou produkovanou trvalými travními porosty v krajině. Využití této travní biomasy pro energetické účely se jeví jako perspektivní řešení. Dosavadní výzkumné poznatky nabízejí dvě cesty využití vzniklé biomasy a to suchou biomasu spalovat a vlhkou zpracovat anaerobní digescí na bioplyn a hnojivý substrát.

Trávy a travní směsi jsou využitelné pro produkci bioplynu. Hlavní produkce bioplynu probíhá do 30 dnů. Vyšší výtěžnost bioplynu je dosahována u směsi v raném stádiu zralosti 20-30 % sušiny. Pro bioplyn je zpracovatelná i travní hmota s vyšším obsahem sušiny. Rozbory trav na uhlík a dusík potvrdily pozitivní poměr C : N na výrobu bioplynu, u mladých rostlin se pohyboval v blízkosti optima 30 : 1 (sklizeň v první dekádě června). Perspektivní pro produkci bioplynu se jeví konzervace trav senážováním, kde i při dlouhodobém skladování jsou nevýznamné ztráty na sušinu.

Pro využití trav pro produkci bioplynu je zapotřebí píce z raných růstových stádií, proto by první seč měla proběhnout dle místních podmínek nejpozději do poloviny června a způsob využití porostů by měl být 2-3 sečný.

LITERATURA

- [1] FUKSA P., HAKL, J. *Využití pícních plodin pro výrobu bioplynu*. Biom.cz [online]. 2009-11-25 [cit. 2011-01-11]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-picnich-plodin-pro-vyrobu-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] GOSCH A. *Grundlagen und Anwendungsbereiche der Anaerobtechnik*. In: Wiemer, K., Kern, M. (Hrsg.): *Biologische Abfallbehandlung*, Witzzenhausen, M.I.C. Baeza-Verlag, 1993.
- [3] KERN M., SPRICK W. *Neue Ergebnisse zur aeroben Abfallbehandlung*. In: K. Wiemer, M., Kern, M.I.C.(Hrsg.) *Verwertung biologische Abfälle*, Baeza – Verlag, Witzzenhausen, 1994.
- [4] MACHÁČ R., FRYDRYCH J., ŠRÁMEK P. *Možnosti zvyšování druhové diverzity travních porostů a jejich využití pro energetické účely*. Uplatněná certifikovaná metodika. Zubří: OSEVA PRO s.r.o., Výzkumná stanice travinařská, 2011, s. 26. ISBN 978-80-260-0627-5.
- [5] MUŽÍK O., KÁRA J., ABRHÁM Z. *Možnosti využití produkce travních porostů anaerobní digescí* – In sborník z mezinárodní vědecké konference *Travní porosty – účast horského ponohospodářství a krajiny v Báňské Bystrici*, 2006.
- [6] SCHULTZ H., MITTERLEITNER H. *Industrielle Verwertung und Nutzung zur Biogasgewinnung von Grünlandaufwucht*. Studie des Verbandes Deutscher Naturlandstiftungen e.V., s. 22, 1995.

- [7] TILVIKIENE V., KADZIULIENE Z., DABKEVICIUS Z. *Biomass of cocksfoot and tall fescue as a substrate for biogas production*. In Cagaš, B., Macháč, R., Nedělník, J. (eds): *Alternative Functions of Grassland. Book of Abstracts. International Occasional Symposium European Grassland Federation Brno, Czech Republic 7-9 September 2009*, p. 35. ISBN 978-80-86908-16-8.
- [8] WASILEWSKI Z., GUTKOWSKA A. *Grasslands in Poland and their potential for use for biogas production*. In Cagaš, B., Macháč, R., Nedělník, J. (eds): *Alternative Functions of Grassland. Book of Abstracts. International Occasional Symposium European Grassland Federation Brno, Czech Republic 7-9 September 2009*, p. 51. ISBN 978-80-86908-16-8.

Výsledky byly získány za přispění grantového projektu NAZV QI101C246 „Využití fytomasy z trvalých travních porostů a z údržby krajiny“ a projektu NPV II 2B06101 „Optimalizace zemědělské a říční krajiny v ČR s důrazem na rozvoj biodiverzity“ financovaného MŠMT.