

*Matej POLÁK*

## EKONOMICZNA ANALIZA PRODUKCJI ENERGII Z BIOMASY

### ANALYSIS OF ENERGY PRODUCTION FROM BIOMASS

Univerzita Ekonomická Bratislava, PFH Koszyce  
ul. Tajovského 13, 041 30 Košice, e-mail: polak@euke.sk

**Abstract.** The analysis of amount of the thermal and electric energy produced by utilizing one type of biomass and organic additions as well as the realization of economical analysis of conversion of primary energy of the batch to the end electric and thermal energy were the aim of this work. Investigations were conducted at the biogas production station Kapušany equipped with the cogeneration unit of 120 kW in power. As basic fermentative raw material maize was used besides liquid manure and dung that were used as additions. It was stated that with help of the applied cogeneration unit the acreage needed to maize cultivation was ca 70 ha. It is possible to produce 16 800–19 600 kWh of electricity and ca from 14 000 to 16 000 kWh of heat from 1 ha. The profit achieved from annual exploitation of the biogas station was 869 400 Sk.

**Słowa kluczowe:** biogaz, biomasa, fermentacja anaerobowa, stacja biogazu.

**Key words:** anaerobic fermentation, biogas, biomass, biogas station.

## WSTĘP

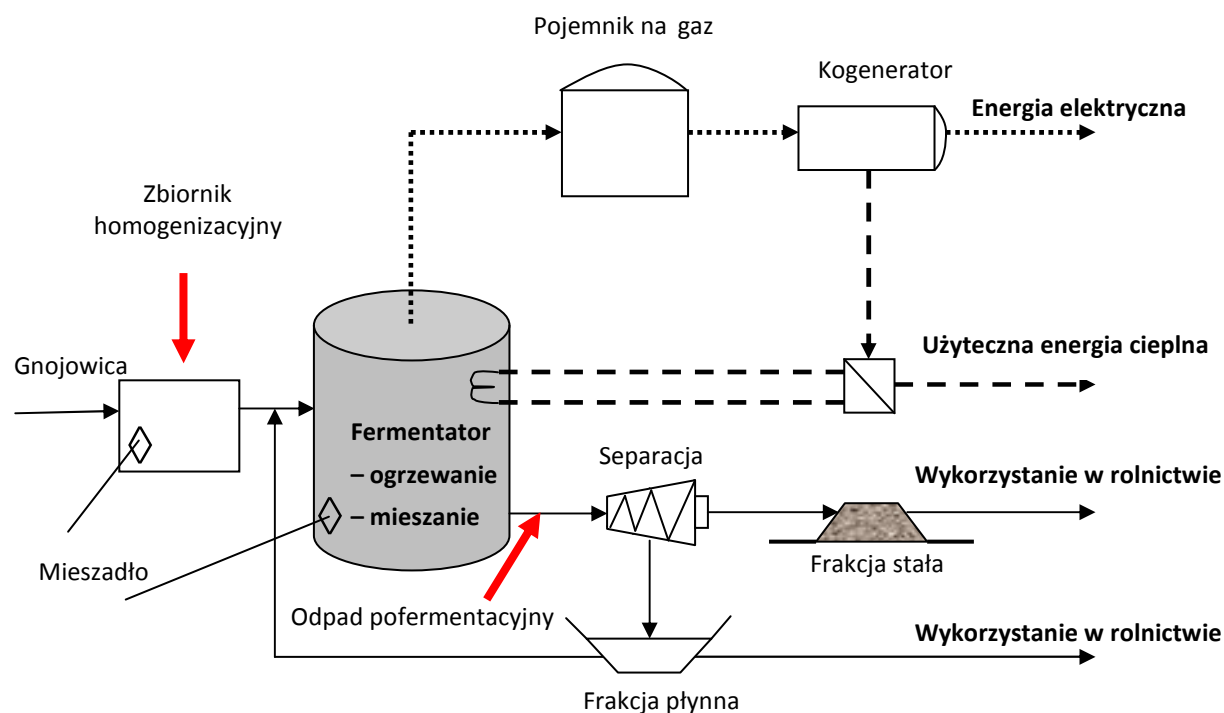
Energia jest kluczowym fenomenem rozwoju każdego społeczeństwa. Do życia potrzebna jest energia w postaci ciepła, światła, materiałów pędnych itp. Jeszcze przed trzema, czterema pokoleniami, co z punktu widzenia rozwoju ludzkości jest bardzo krótkim okresem, biomasa była jedynym źródłem energii – ciepła. Lecz wystarczyło jedno stulecie, aby w wyniku znacznego rozwoju transportu i przemysłu w sposób konwencjonalny rozumiana i produkowana biomasa w nowoczesnej energetyce została zastąpiona paliwami kopalnymi – węglem, ropą naftową, gazem itp. (Viglaský 2006). Obecnie na świecie dominują paliwa kopalne, a ich zużycie w Słowacji stanowi prawie 80% pierwotnych źródeł energetycznych. Udział energetyki jądrowej stanowi 17%, a pozostałe 3% to energetyka wodna i inne odnawialne źródła energii.

Z punktu widzenia warunków przyrodniczych, dostępności, ceny i możliwych rozwiązań alternatywnych biomasa jest najbardziej perspektywnym nośnikiem energii w Słowacji.

Biomasa ma wiele ukrytych cech i jest w stanie zaspokoić zapotrzebowanie energii na produkcję prądu elektrycznego, ciepła i paliw. Jest bardzo atrakcyjnym surowcem, ponieważ generuje zysk w sferach komunalnej, rzemieślniczej i przemysłowej. Biomasa ma jedną wielką zaletę, a mianowicie jest do dyspozycji w dowolnym czasie, eliminuje wszelkie ryzyko i jest ważnym źródłem bezpiecznego zaopatrzenia w energię. W krajach wysoko rozwiniętych (Austria, Niemcy, Szwecja, Dania) jej udział w globalnym zapotrzebowaniu na bioenergię stanowi obecnie 6–8%. Przy czym potencjał biomasy do 2020 roku ma pokryć 20–24%

obecnego zapotrzebowania energii potrzebnej na produkcję prądu elektrycznego i energii cieplnej. Obecnie energia z biomasy stanowi zaledwie 4% energii całkowitej zużywanej przez Słowację. Według szacunków bioenergetyczny potencjał Słowacji wynosi 20–30%. Biomasa w Słowacji i w UE może zastąpić znaczną (20–40%) część paliw kopalnych. Biomasa jest podstawą zamkniętego obiegu CO<sub>2</sub> w przyrodzie. W procesie spalania uważana jest za paliwo neutralne. Wprawdzie podczas spalania wydzielany jest CO<sub>2</sub>, ale w ilości w przybliżeniu równej zapotrzebowaniu podczas jej wegetacji w procesie asymilacji. Biomasa wraz z innymi źródłami energii odnawialnej (oprócz tego, że umożliwia zwiększenie efektywności energetycznej, co jest konieczne z punktu widzenia ochrony klimatu) umożliwia bezpieczne zasilanie w energię, niezależnie od ropy naftowej, i przyczynia się do zmniejszania ubóstwa na świecie.

Biogaz produkowany jest z masy organicznej poddanej fermentacji anaerobowej w zamkniętych zbiornikach. W tych warunkach masa organiczna (biomasa) ulega rozkładowi, w wyniku czego powstają substancja gnilna, metan (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub>, siarkowodór i inne gazy. W produkcji biogazu wykorzystuje się proces występujący w naturze. Masę organiczną poddaje się fermentacji w gazoszczelnym zbiorniku (fermentatorze), w temperaturze 38–40°C, w celu zapewnienia bioenergetycznej transformacji substancji organicznej, podczas której nie dochodzi do obniżenia jej wartości opałowej (rys. 1).



Rys. 1. Schemat technologiczny stacji biogazu w PD Kapušany

Zastosowana w stacji biogazu technologia (dalej BPS) jest zbiorem procesów, w których mieszanina mikroorganizmów biologicznie rozkłada substancję organiczną bez dostępu powietrza. W większości przypadków w technologii tej wykorzystuje się dwa zbiorniki umieszczone obok siebie lub cylindryczne zbiorniki umieszczone jeden wewnątrz drugiego, przy czym zewnętrzny większy zbiornik służy do zakończenia procesów anaerobowych a mniejszy zbiornik wewnętrzny, do intensywnej anaerobowej fermentacji. Materiał wejściowy do-

starczany jest do zbiornika fermentacyjnego przez specjalnie do tego celu przystosowany zasyp, który swoją konstrukcją zabezpiecza biogaz przed ewentualnym wypływem ze zbiornika. Na obwodzie zbiornika umieszczona jest węzownica, której zadaniem jest utrzymanie właściwej temperatury niezbędnej do przebiegu fermentacji. W celu zapewnienia jednolitej temperatury i gęstości fermentowanej masy w zbiorniku, w zależności od jego pojemności, umieszcza się 3–4 mieszadła. Podczas procesu fermentacyjnego z materiału wsadowego wydzielają się sucha masa i piasek. Są one mechanicznie zgarniane do rusztu, skąd są przenośnikiem wygarniającym transportowane do oddzielnego zbiornika.

W najwyższym położonym miejscu zbiornika fermentacyjnego usytuowane jest urządzenie do odbioru biogazu. Jest ono wyposażone w odpowiednie zawory i, ewentualnie, w instalację do odsiarczania biogazu. Biogaz magazynowany jest w specjalnym zbiorniku gazu o zmiennej objętości. Produktami ubocznymi procesu fermentacji są frakcja stała o wysokiej wartości nawozowej oraz biogaz o zawartości 55–70% metanu i wartości opałowej 18–26 MJ·m<sup>-3</sup>. Biogaz jako produkt końcowy podlega ostatecznej obróbce poprzez jednostkę kogeneracyjną w siłowni, a wyprodukowana energia elektryczna może być wykorzystana na potrzeby własne lub odsprzedana sieci energetycznej.

Celem pracy jest analiza ilości wyprodukowanej energii elektrycznej i energii cieplnej przy zastosowaniu jednego rodzaju biomasy i dodatków organicznych oraz przeprowadzenie analizy ekonomicznej przemiany energii pierwotnej wsadu na energię końcową elektryczną i ciepłą.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w stacji produkcji biogazu w PD Kapuśany z jednostką kogeneracyjną o mocy 120 kW, której schemat przedstawiono na rys. 1. Jako podstawowy surowiec wsadowy do fermentacji zastosowano kukurydzę, a dodatki stanowiły obornik i gnojowica. Do produkcji biogazu zastosowano zbieraną na świeżą masę kukurydzę z zawartością suchej masy wynoszącą 30–35%, przy plonie 40 t·ha<sup>-1</sup>. Fermentator zasilano codziennie kukurydzą w ilości 4–5 t (do badań przyjęto średnie zasilanie wynoszące 3 t). Obornik oraz gnojowicę dodawano 1–2 razy w tygodniu w ilości 1–2 t. Obornik i gnojowica pochodziły z miejscowej fermy krów mlecznych. Długość cyklu fermentacyjnego uzależniona była od zawartości suchej masy i wynosiła 20–30 dni. Badania zostały przeprowadzone w okresie 20.9.–30.9.2007 i 5.10.–20.10.2007 roku. Pomiarów wykonywano za pomocą urządzeń pomiarowych stanowiących wyposażenie instalacji biogazowni.

Do określenia wartości przeliczeniowych biomasy na energię zastosowano metodę opracowaną przez Instytut Badawczy Techniki Rolniczej w Pradze (VUZT Praha 2002).

## WYNIKI I DYSKUSJA

Teoretycznie do procesu fermentacji może być użyta każda substancja organiczna o dużej zawartości frakcji płynnej i zawartości suchej masy wynoszącej poniżej 50%. Jednakże dla zapewnienia efektywności procesu fermentacji właściwości substancji organicznych powinny mieścić się w optymalnym zakresie (Preimnger 1991). Podstawowe właściwości materiałów podano w tab. 1.

Tabela 1. Podstawowe właściwości materiałów

Substancja organiczna	Sucha masa	Stosunek C:N	pH
Powyżej 50%	5–25	20–30:1	6,5–7,5

Źródło: Výskumný Ústav Zemědělské Techniky (2002).

Ilości produkcji biogazu i metanu, oraz energii elektrycznej E i energii cieplnej T podano w tab. 2.

Tabela 2. Uzysk biogazu w BPS Kapušany

Surowiec	Ilość biogazu [m <sup>3</sup> · t <sup>-1</sup> ]	Ilość metanu [m <sup>3</sup> · t <sup>-1</sup> ]	Wyprodukowana energia elektryczna E i energia cieplna T [kWh · t <sup>-1</sup> ]
Plon kukurydzy na świeżą masę [40 t · ha <sup>-1</sup> ]	200,0	130,0	E – 467 T – 420
Obornik	15,0	16,0	E – 89 T – 80
Gnojowica	6,00	10,0	E – 53 T – 48

**Wartości przeliczeniowe biomasy na energię.** Kukurydza na świeżą masę = 3 t = 1 t suchej masy = 600 m<sup>3</sup> biogazu  
 600 m<sup>3</sup> biogazu = 390 m<sup>3</sup> biometanu  
 Energia pierwotna: 1 t suchej masy kukurydzy = 5000 kWh  
 Metan = 390 m<sup>3</sup> + 3900 kWh  
 Energia do procesu przemiany (ciepło) – 900 kWh  
 Energia netto = 3000 kWh 3000 kWh  
 Stosunek przemiany = 60%

Stosunek przemiany jest to wartość energii uzyskanej na wyjściu zbiornika fermentacyjnego przed jej wykorzystaniem w jednostce kogeneracyjnej. Uzyskany w ten sposób biogaz można by wykorzystać w transporcie. W naszym przypadku z biometanu produkowana była energia elektryczna i cieplna; stosunek przemiany energii pierwotnej do energii wtórnej był następujący:  
 1 t suchej masy kukurydzy zbieranej na świeżą masę = 5000 kWh  
 Energia elektryczna = 1400 kWh  
 Energia cieplna = 1260 kWh  
 Razem = 2660 kWh

Przy wykorzystaniu energii cieplnej i energii elektrycznej stosunek przemiany wynosi 53%, natomiast przy wyłącznej produkcji energii elektrycznej – 28%. Koszty bezpośrednie 1 t suchej masy kukurydzy wynosiły 1162,50 Sk, a koszty 1 t suchej masy obornika – 360 Sk, co miało wpływ zarówno na ilość wyprodukowanej energii, jak i na jej cenę. Cena 1 kWh energii elektrycznej wyprodukowanej z kukurydzy wynosiła 0,83 Sk · kWh<sup>-1</sup>, a wyprodukowanej z obornika – 0,25 Sk · kWh<sup>-1</sup>. Średnia ilość energii elektrycznej wyprodukowanej w ciągu godziny wynosiła w przypadku kukurydzy 85–95 kWh, a w przypadku obornika – 70–75 kWh. Jak z tego wynika, wybór procesu technologicznego przemiany energii nie jest jedynym kryterium przemiany biomasy. Należy również brać pod uwagę rodzaj surowców odnawialnych (kukurydzę, lucernę, różnego rodzaju mieszanki) oraz ubocznych produktów (odpadów) przetwórstwa rolno-spożywczego.

**Zależność uzysku energii na jednostkę powierzchni.** Przewiduje się, że w przyszłości rozwój produkcji energii w rolnictwie i leśnictwie będzie ograniczała powierzchnia gruntów

przeznaczonych pod uprawę roślin energetycznych. Dlatego ważne jest, aby w dalszym ciągu prowadzone były badania nad możliwością produkcji energii w zależności od powierzchni upraw roślin energetycznych. Istnieje spora ilość danych, które umożliwiają realną ocenę potencjału gleb. Przy czym ważne są realne plony, a nie wyniki badań prowadzonych na polstkach doświadczalnych. Oprócz tego należy oceniać wybraną technologię przemiany dopiero po ostatecznej optymalnej synchronizacji i porównaniu danych z produkcji roślinnej z danymi uzyskanymi przy zastosowanej technologii przemiany na energię – dopiero wtedy można mówić o uzyskaniu właściwej wartości uzysku końcowej energii w przeliczeniu na 1 ha. Dane będą się różnić w zależności od produkcji w poszczególnych regionach i od warunków miejscowych. Zróżnicowanie to wynika z klasyfikacji gleb, ilości opadów, temperatury, długości dnia. Są to decydujące parametry, które w ostatecznym rozrachunku będą miały wpływ na ilość i jakość wyprodukowanej biomasy. Wynika z tego, że w każdym regionie należy przeprowadzić pewne działania energopolityczne, które pozwolą na dostosowanie się do warunków produkcji roślinnej.

**Kalkulacja nakładów i wydajności energii z biomasy.** Stacja biopaliw w Kapuśanach koło Prešowa jest eksploatowana już drugi rok. Celem zakładu eksploatującej stację była maksymalizacja końcowej ilości energii, przy nakładach zapewniających konkurencyjność wyprodukowanej ilości energii elektrycznej i energii cieplnej.

**Koszty budowy BPS:**

1. Budowle (podwójny zbiornik fermentacyjny z izolacją oraz pozostałe budowle) – 43%	12,9 mln Sk
2. Jednostka kogeneracyjna (silnik gazowy , zbiornik gazu, koszty podłączenia do sieci) – 23%	6,9 mln Sk
3. Ogrzewanie technologiczne (akumulacja ciepła odpadowego, ogrzewanie fermentatora oraz podłączenie pozostałych odbiorników ciepłej wody) – 17%	5,1 mln Sk
4. Zagospodarowanie gnojowicy (urządzenia do przepompowywania i mieszania, rurociągi, samochód asenizacyjny do przewozu gnojówki) – 13%	3,9 mln Sk
5. Przygotowanie projektu – 4%	1,2 mln Sk

---

Razem 30 mln Sk

Inwestycyjne koszty budowy BPS uzależnione są od wielu różnych czynników, wśród których do najważniejszych należą wielkość urządzenia, zainstalowana technologia oraz sposób wykonania obiektu (wybudowanego sposobem gospodarczym lub przez specjalistyczną firmę). Koszty budowy sposobem gospodarczym wynoszą obecnie 11760–20160 Sk · DJP<sup>-1</sup> co stanowi około 350600 euro · DJP<sup>-1</sup>. Przy budowie stacji przez firmę specjalistyczną nakłady odpowiednio wynoszą 18480–50400 Sk · DJP<sup>-1</sup>, 550–1500 euro · DJP<sup>-1</sup>. Roczne nakłady eksploatacyjne w BPS Kapuśany wynoszą 3,4mln Sk (118 tys.–162 tys. euro).

**Nakłady na produkcję biomasy.** Kalkulacja dotyczy nakładów poniesionych w roku 2007. Przy plonie kukurydzy wynoszącym 40 t · ha<sup>-1</sup>, przy zawartości suchej masy 30–35%, można uzyskać plon suchej masy wynoszący 12–14 t z hektara. Z jednego hektara można zatem wyprodukować 16 800–19 600 kWh energii elektrycznej i około 14–16 tys. kWh ciepła.

Powierzchnia potrzebna do uprawy kukurydzy łącznie ze stratami (przy mocy jednostki kogeneracyjnej 120 kW) wynosi 70 ha.

Przy całorocznej eksploatacji BPS wynoszącej 7200 h można osiągnąć następujące wyniki ekonomiczne:

– wyprodukowana energia elektryczna:

864 000 kWh · cena 4,20 Sk · kWh<sup>-1</sup> = 3 620 000 Sk

– wyprodukowana energia cieplna

764 000 kWh · 0,85 Sk = 649 000 Sk

– zysk ze sprzedaży energii = 4 269 400 Sk

Przy nakładach 3,4 mln Sk z wyprodukowanej energii elektrycznej i cieplnej w roku 2007 osiągnięto zysk wynoszący 869 400 Sk.

## PODSUMOWANIE

Dla spółdzielni produkcyjnych, ferm i rzemieślników pojawia się nowa możliwość produkcji energii z biomasy na urządzeniach biogazowi, z wykorzystaniem odpadów z przemysłu rolno-spożywczego. Powierzchnia uprawy kukurydzy w gospodarstwie uzależniona jest od mocy jednostki kogeneracyjnej. Stwierdzono, że przy mocy zastosowanej jednostki kogeneracyjnej wynoszącej 120 kW powierzchnia potrzebna do uprawy kukurydzy (łącznie ze stratami w plonie 40 ton · ha<sup>-1</sup>) wynosi ok. 70 ha. Oznacza to, że z jednego hektara można uzyskać 16 800–19 600 kWh energii elektrycznej i około 14–16 tys. kWh ciepła. Przy założeniu, że stacja biogazu jest eksploatowana przez 7200 h w roku, można wyprodukować ok. 860 tys. kWh energii elektrycznej i ok. 760 tys. kWh energii cieplnej.

Stacja biogazu, w której przeprowadzono badania, przy relacjach cenowych z 2007 roku i rocznych nakładach eksploatacyjnych wynoszących 3,4 mln Sk, osiągnęła zysk w wysokości 869 400 Sk.

Ustawa o odnawialnych źródłach energii nr 70/1998 obowiązuje na Słowacji od 1998 roku. Ustawa ta dała impuls do rozwoju odnawialnych nośników energii, lecz nadal brakuje aktywnych narzędzi wspierających tę politykę. Należy określić atrakcyjne taryfy na energię elektryczną, ekourządzenia i inne nośniki energii.

W różnych krajach sprawdziły się różne instrumenty mające pozytywny wpływ na rozwój produkcji biomasy. Zaliczyć do nich można np.:

- wysokie podatki na paliwa kopalne;
- programy wspierające przedsięwzięcia inwestycyjne, zamianę systemów grzewczych wykorzystujących paliwa kopalne na systemy wykorzystujące odnawialne źródła energii;
- wprowadzenie na większą skalę programów i kampanii informacyjnych i szkoleniowych;
- zabezpieczenie dostatecznej podaży biopaliw.

Zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w globalnej produkcji energii, które preferowane jest przez UE, byłoby uzasadnione, gdyby władze UE uwzględniały nie tylko kwoty ilościowe produkcji energii ciepła i paliw, ale również regionalne warunki przyrodnicze, które w różnych krajach są różne. Dlatego UE powinna zwracać większą uwagę na efektywniejsze wspieranie i dotowanie systemów energetycznych w stosunku do energii wyprodukowanej z 1 ha przy optymalnych nakładach.

**PIŠMIENICTWO**

**Preimnger M.** 1991. Energetické hodnocení struktúry rastlinné výroby [in: Bioenergetika a energetické plodiny]. Pardubice ČSVTS, 79–80.

**Vigľaský J.** 2006. Regionálne prírodné zdroje energie – neobnoviteľné i obnoviteľné, ich racionálne využívanie. Bardejovské Kúpele, [b.w.], 33–42, ISBN 80-225-2276-7.

**Výskumný Ústav Zemědělské Techniky 2002.** **Ekonomika výroby bioplynu. Model ekonomiky BPS.** 2002. [b.w.].