

TADEUSZ KOMOROWICZ, JANUSZ MAGIERA*

WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI WYBRANEJ INSTALACJI PRODUKCJI BIOETANOLU

EFFECTIVENESS INDICES OF SELECTED BIOETHANOL PRODUCTION PLANT

Streszczenie

Przedstawiono bilanse materiałowe i energetyczne poszczególnych węzłów technologicznych w zakładzie produkującym bioetanol z kukurydzy o wielkości przerobu surowca rzędu 1000 Mg/miesiąc. Obliczono wskaźniki produkcyjne. Stwierdzono, że jednostkowe nakłady energetyczne poniesione w samym tylko zakładzie stanowią 65% ilości ciepła, którą można odzyskać z bioetanolu w procesie spalania.

Słowa kluczowe: bioetanol, bilans energetyczny produkcji bioetanolu, wskaźniki produkcji bioetanolu

Abstract

The material and energy balances of individual technological nodes in bioethanol production plant of the corn throughput about 1000 Mg/month have been presented. The process indices have been calculated. It has been found that only in the works the energy input per bioethanol unit is equal to 65% of its net calorific value.

Keywords: bioethanol, energy balance of bioethanol production, bioethanol production indices

* Dr inż. Tadeusz Komorowicz, dr hab. inż. Janusz Magiera, prof. PK,
Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Bioetanol, czyli alkohol etylowy uzyskiwany z rolniczych surowców odnawialnych (biomasy), stosowany jest jako dodatek do paliw silników spalinowych. Może być on również stosowany jako surowiec do produkcji eteru etylotertbutylowego, zamiennego składnika tych paliw. Coraz szersze stosowanie odnawialnych źródeł energii, do których należy bioetanol, pozwala redukować zużycie paliw kopalnych, których zasoby są ograniczone. Bioetanol, dzięki swoim cechom, może stać się jednym z najważniejszych surowców energetycznych przyszłości. Zawiera on w swoim składzie tlen, dzięki czemu podwyższa liczbę oktanową benzyn. Nie zawiera natomiast siarki i węglowodorów aromatycznych, takich jak benzen, dzięki czemu gazy spalinowe z mieszanek benzynowo-etanolowych zawierają mniej tlenku węgla, węglowodorów, w tym wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, tlenków azotu, związków siarki i cząstek stałych. Pojawiają się jedynie dodatkowo nieznaczne ilości kwasu octowego i formaldehydu. Mniejsza jednostkowa wartość energetyczna etanolu powoduje, że jego zużycie w stosunku do benzyny jest większe. Ważnym aspektem spalania bioetanolu jest natomiast fakt, że powstały w tym procesie ditlenek węgla może być całkowicie zaabsorbowany ponownie w procesie fotosyntezy, podczas wzrostu następnej partii biomasy do produkcji bioetanolu. Tym samym, w odróżnieniu od ditlenku węgla powstałego ze spalania benzyny wyprodukowanej z ropy naftowej, nie powiększy on na stałe ilości ditlenku węgla w powietrzu i nie wpłynie na zwiększenie efektu cieplarnianego. Produkcja biopaliw generuje dodatkowe miejsca pracy w rolnictwie i jego otoczeniu. Szacunki przeprowadzone w różnych krajach UE wskazują, że wyprodukowanie 1000 Mg biopaliw płynnych wymaga zatrudnienia około 12–16 osób [1]. W kontekście rosnących cen ropy naftowej i możliwości nieregularnych jej dostaw, produkcja biopaliw powoduje zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju. Strategia rozwoju energetyki odnawialnej [2] zakłada stopniowy wzrost ilości biopaliw w bilansie energetycznym Polski. Istnieją również wymogi Unii Europejskiej dla państw członkowskich w tym zakresie [3]. Ilości bioetanolu, które można uzyskać w warunkach polskich z 1 ha upraw przedstawia tabela 1 [1].

Tabela 1

Wydajność bioetanolu z 1 ha upraw

Gatunek	Plon [Mg/ha]	Cukier/skrobia [% suchej masy]	Uzysk bioetanolu [dm ³ /Mg]	Plon etanolu [dm ³ /ha]
Pszenica	3,63	59,5	380	1379
Pszenżyto	3,12	56,5	360	1123
Żyto	2,21	54,5	350	773
Kukurydza	6,00	65,0	420	2520
Ziemniak	1,84	17,8	110	2024
Burak c.	3,70	16,0	100	3700

Z danych zawartych w tabeli 1 widać, że największą ilość bioetanolu, w przeliczeniu na powierzchnię upraw, można uzyskać w przypadku buraka cukrowego i kukurydzy. W Polsce najwięcej bioetanolu pozyskuje się z kukurydzy. Zakłady produkujące bioetanol wytwarzają dodatkowo paszę z wywaru, będącego ubocznym produktem procesu.

Jednym z kryteriów opłacalności produkcji bioetanolu jest stosunek ilości energii dostarczonej w procesie produkcji do tej ilości energii, którą można uzyskać podczas spalania bioetanolu. Proces otrzymywania bioetanolu można podzielić na etapy: uprawy, produkcji bioetanolu w zakładzie, odwadniania oraz mieszania z benzyną i dystrybucji.

Celem pracy było przeprowadzenie bilansu energetycznego poszczególnych węzłów technologicznych w jednym z polskich zakładów produkcji bioetanolu i pasz z kukurydzy, o wielkości przerobu surowca około 1000 Mg/miesiąc i określenie efektywności energetycznej tego procesu.

2. Bilans miesięczny poszczególnych węzłów produkcyjnych

Bilanse poszczególnych węzłów produkcyjnych ujęto w tabelach 2–7. W bilansie energetycznym uwzględniono ilość zużytej energii elektrycznej oraz ilość energii cieplnej dostarczonej za pomocą pary wodnej nasyconej o temperaturze 155°C i ciepłe kondensacji równym 2100 kJ/kg. Wzięto więc pod uwagę tylko wtórne nośniki energii, a nie pierwotne, tj. węgiel, za pomocą którego wyprodukowano prąd elektryczny i mazut, za pomocą którego wyprodukowano parę wodną w zakładzie.

2.1. Węzeł przygotowania surowca

Masa zakupionej kukurydzy po oczyszczeniu zmniejsza się o około 4%. Kukurydza zawiera ok. 60% skrobi, która jest właściwym surowcem do produkcji bioetanolu. Dla prawidłowego doboru parametrów procesu ważne jest dokładne określenie ilości skrobi, która może ulec przemianie do alkoholu. Rezultaty bilansu masowego i energetycznego dla tego węzła przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2

Bilans masowy węzła przygotowania surowca

Ilość kukurydzy [Mg]	Ilość zanieczyszczeń [Mg]	Ilość kukurydzy oczyszczonej [Mg]	Ilość skrobi [Mg]
1045,1	41,8	1003,3	602,0

Tabela 3

Bilans energetyczny węzła przygotowania surowca

Rodzaj procesu	Czas pracy urządzeń	Zapotrzebowanie mocy	Ilość zużytej energii	
	[h]	[kW]	[kWh]	[MJ]
Oczyszczanie	100	59,9	5990,0	
Mielenie	348	130,8	45518,4	
Razem			51 508,4	185 430,24

2.2. Węzeł zacierania

Bilans energetyczny węzła zacierania przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Bilans energetyczny węzła zacierania

Medium	Ilość	Ilość energii [MJ]
Energia elektryczna	81360,0 kWh	292896
Para wodna	1222,44 Mg	2567124
Woda chłodnicza	ok. 200 m ³	
Razem		2860020

2.3. Węzeł fermentacji

Miesięczny bilans masowy węzła fermentacji przedstawia tabela 5, a energetyczny tabela 6. Cała zawartość kadzi zacieranych, po odebraniu tzw. matki drożdżowej w ilości 332,33 Mg, jest przepompowywana do kadzi fermentacyjnych. Kadzie fermentacyjne muszą być wcześniej dokładnie zdezynfekowane parą wodną. Czas dezynfekcji wynosi 15–20 min. Ponieważ ilość wydzielającego się CO₂ podczas fermentacji nie jest mierzona, obliczono ją zgodnie z teoretycznym stopniem konwersji reakcji fermentacji (ze 100 kg skrobi otrzymuje się teoretycznie 56,8 kg etanolu i 54,3 kg CO₂, w reakcji bierze udział woda).

Tabela 5

Bilans masowy węzła fermentacji

Półprodukt/produkt	Ilość [Mg]
Zacier słodki	4875
Zacier przefermentowany	4548
CO ₂	327

Tabela 6

Bilans energetyczny węzła fermentacji

Medium	Ilość	Ilość energii [MJ]
Energia elektryczna	11520 kWh	41 472
Para wodna	Brak opomiarowania	
Woda chłodnicza	Brak opomiarowania	

2.4. Węzeł rektyfikacji

Odfementowany zacier jest podawany do kolumny rektyfikacyjnej poprzez skraplacz, w którym zacier odbiera ciepło z oparów spirytusu skraplających się w przestrzeni międzyrurowej. Bilans masowy i energetyczny procesu rektyfikacji przedstawiono w tabelach 7 i 8. W etapie tym otrzymuje się 322 246 dm³ etanolu 92% v/v (w przeliczeniu 296 466 dm³ etanolu 100%).

Tabela 7

Bilans masowy węzła rektyfikacji

Półprodukt/produkt	Ilość [Mg]	Łączna ilość [Mg]
Zacier przefermentowany	4548	4866
Para wodna (grzanie bezprzeponowe)	318	
Destylat (spirytus surowy 92%)	253	4866
Wywar	4613	

Tabela 8

Bilans energetyczny węzła rektyfikacji

Medium	Ilość	Ilość energii [MJ]
Energia elektryczna	6192 kWh	22 291,2
Para wodna	318 Mg	667 800,0
Woda chłodnicza	Brak opomiarowania	
Razem		690 091,2

3. Podsumowanie

W tabeli 9 przedstawiono miesięczne zestawienie produkcji, ilość dostarczonej energii oraz obliczone wskaźniki produkcyjne.

Tabela 9

Miesięczne zestawienie ilości surowców, produktów i dostarczonej energii oraz wskaźniki produkcyjne

Ilość wyprodukowanego etanolu 92% v/v	322 246 dm ³
Ilość wyprodukowanego etanolu w przeliczeniu na 100%	296 466 dm ³
Sumaryczna dostarczona ilość energii	3 777 0132,24 MJ
Wydajność etanolu (w przeliczeniu na 100%) ze 100 kg kukurydzy	29,55 dm ³
Ilość kukurydzy potrzebna do wyprodukowania 1 dm ³ 100% etanolu	3,4 kg
Wydajność etanolu ze 100 kg skrobi (w przeliczeniu na 100%)	49,25 dm ³
Efektywność przerobu skrobi	81%
Ilość energii potrzebna do wyprodukowania 1 dm ³ etanolu w przeliczeniu na 100 % (otrzymuje się etanol 92% v/v)	12,74 MJ

Stosunkowo niski wskaźnik przerobu skrobi wskazuje na nienajlepszą efektywność przerobową zakładu. Świadczy też o tym porównanie wskaźnika ilości otrzymywanego etanolu z danymi zawartymi w tabeli 1. Niższy wskaźnik wydajności przekłada się na wyższy wskaźnik energetyczny jednostkowej produkcji bioetanolu (tab. 9). Podany wskaźnik miałby jeszcze większą wartość, gdyby odnieść go do pierwotnych nośników energii (węgiel do produkcji energii elektrycznej, mazut do produkcji pary wodnej w zakładzie). Ze stosunkowo niskiego stopnia przerobu skrobi (81%) widać, że w przypadku jego zwiększenia wskaźnik energetyczny można by obniżyć nawet o kilkanaście procent. Jeśli wartość wskaźnika odnieść do wartości opałowej 1 dm³ czystego etanolu, równej 19,75 MJ, to widać, że stanowi on ok. 65% tej wartości. Należy dodać, że w artykule nie uwzględ-

dniano nakładów energetycznych poniesionych podczas uprawy kukurydzy, procesu odwadniania etanolu, przygotowania mieszanki paliwowej i jej dystrybucji. W przeprowadzonej analizie pominięto też etap zagospodarowania wywaru, który prowadzi się w zakładzie. Z wywaru tego produkowana jest pasza. Na 1 dm³ etanolu 100% (przeliczeniowo) otrzymuje się dodatkowo 1,24 kg granulatu paszowego. Etap produkcji paszy jest bardzo energochłonny ze względu na proces suszenia. Jeśli kosztami tego procesu, głównie energetycznymi, obciążą się cenę paszy, można tych kosztów nie doliczać do kosztów produkcji bioetanolu. Jeśli nie da się tego zrobić w całości, przynajmniej część nakładów energetycznych poniesionych w tym etapie należy doliczyć do nakładów energetycznych poniesionych na produkcję bioetanolu. Jest to uzasadnione tym, że wywaru tego nie można się pozbyć w inny sposób ze względu na ochronę środowiska – istnieje konieczność jego zagospodarowania. O wysokości nakładów energetycznych w procesie zagospodarowania wywaru świadczy fakt, że o ile miesięcznie w analizowanym zakładzie do wyprodukowania bioetanolu zużywa się, oprócz energii elektrycznej, 1540,44 Mg pary, to w samym tylko wspomnianym procesie zagospodarowania wywaru ilość ta wynosi 1915,55 Mg. Jeśli nakłady energetyczne tego procesu doliczono by do nakładów na wyprodukowanie bioetanolu, wskaźnik nakładów energetycznych przewyższyłby już na tym etapie jego wartość opałową.

Bioetanol, aby mógł być składnikiem mieszanek paliwowych, musi zostać odwodniony. Odwodnienie prowadzone metodą PSA (*Pressure Swing Adsorption*) jest również procesem energochłonnym. Energochłonność tego etapu może zostać obniżona, jeśli zastosuje się proces perwaporacji. Nie jest to jednak metoda jeszcze stosowana na skalę przemysłową.

Należy wspomnieć, że rozpatrywany zakład obciąża środowisko, gdyż miesięcznie emituje do atmosfery następujące ilości zanieczyszczeń: SO₂ – 1,56 Mg, NO₂ – 0,695 Mg, CO – 0,07 Mg, CO₂ – 232 Mg (ze spalania mazutu; CO₂ z procesu fermentacji jest zagospodarowywany), pył – 0,382 Mg. Wielkość tej emisji należałoby odpowiednio uwzględnić przy podawaniu wielkości emisji gazów z silników spalinowych zasilanych mieszankami zawierającymi bioetanol. Należałoby również do niej doliczyć wielkość emisji zanieczyszczeń powstałych przy spalaniu węgla podczas produkcji tej ilości energii elektrycznej, która jest konieczna do wyprodukowania miesięcznej partii etanolu.

4. Wnioski

- Proces produkcji bioetanolu z kukurydzy jest energochłonny – w samym tylko zakładzie od etapu dostarczenia kukurydzy do etapu wyprodukowania 92% v/v bioetanolu trzeba ponieść jednostkowe nakłady energetyczne stanowiące ok. 65% jego wartości opałowej.
- Spalanie paliw kopalnych do wytworzenia energii potrzebnej do produkcji bioetanolu powoduje dodatkową emisję CO₂ oraz zanieczyszczenie atmosfery.
- Do całkowitej oceny zastosowania bioetanolu jako składnika paliw płynnych konieczna jest analiza ekonomiczna, tzn. porównanie jednostkowych kosztów zakupu ropy naftowej i produkcji benzyny z kosztami produkcji bioetanolu.

Literatura

- [1] Kuś J.: *Produkcja biomasy na cele energetyczne*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Lublinie, Biuletyn Informacyjny Nr 7, 2002.
- [2] *Strategia rozwoju energetyki odnawialnej*, 2001, Monitor Polski, nr 25, poz. 365.
- [3] Dyrektywa 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 8 maja 2003 roku w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych.
- [4] Łoch E., Kmiotek W.: *Projekt technologiczny produkcji spirytusu surowego*, Zakład Usługowo-Produkcyjny Inter-Spoż. w Sędziszowie Małopolskim.
- [5] Prędką D.: Praca dyplomowa magisterska, (promotor T. Komorowicz), Politechnika Krakowska, 2002.