

Krzysztof KUGLARZ, Aleksandra KRÓL

## BIOPALIWA DLA NOWOCZESNEGO TRANSPORTU

### *Streszczenie*

*W artykule omówiono dwa z możliwych do produkcji w Polsce biopaliw (biodiesel oraz biogaz). Przedstawiono surowce oraz metody pozyskiwania omówionych biopaliw. Wymienione zostały wady i zalety stosowania biodiesla oraz biogazu do celów transportowych z uwzględnieniem aspektów środowiskowych oraz technicznych.*

### WSTĘP

Transport jest niezwykle zależny od kopalnych źródeł energii. Przede wszystkim od ropy naftowej, a w nieco mniejszym stopniu od gazu ziemnego. Jednocześnie transport jest jednym z głównych źródeł emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. Z tego względu celowe są działania mające na celu zmniejszenie udziału paliw kopalnych jako paliwa transportowego. Jest to możliwe poprzez zastępowanie paliw kopalnych biopaliwami. Poprzez biopaliwa można rozumieć paliwo powstałe w wyniku przetworzenia produktów organizmów żywych (np. roślin, zwierząt, mikroorganizmów). Wykorzystanie biopaliw do celów transportowych pozwala na zmniejszenie obciążenia środowiska i obniżenie importu ropy naftowej. Przyczynia się również do wzrostu zatrudnienia w sektorze rolniczym i przy przetwórstwie produktów rolnych. Do biopaliw zalicza się substancje stałe (np. słoma), ciekłe (np. alkohole i oleje), oraz gazowe (np. gaz drzewny, biogaz). We współczesnych silnikach możliwe jest wykorzystanie produktów przetwórstwa oleju, tzw. biodiesla oraz uszlachetnionego biogazu jako paliwa napędowego. W niniejszym artykule podjęto próbę przedstawienia tych dwóch biopaliw z uwzględnieniem ich wad oraz zalet.

## 1. BIODIESEL

### 1.1. Czym jest biodiesel?

Nazwa biodiesel nie dotyczy jednego typu paliwa, a określa grupę paliw zastępujących olej napędowy. Zwykle nazwa ta dotyczy estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME). Powstają one w wyniku obróbki chemicznej olejów roślinnych. Mieszanki zawierające do 5% biopaliw mogą być stosowane we wszystkich silnikach wysokoprężnych. Natomiast mieszanki zawierające wyższe stężenia FAME (np. B30 i B100) mogą być używane jedynie tam, gdzie dopuszcza to producent pojazdu. Wynika to z faktu, że czysty biodiesel może działać jak rozpuszczalnik prowadząc do uszkodzenia elementów syntetycznych i gumowych, uszczelki i powłok malowanych. Wykorzystując biodiesel w czystej postaci należy pamiętać o częstym wymianie filtrów paliwa. W niektórych krajach Europy stosuje się również

czysty olej roślinny (głównie rzepakowy) oznaczany jako PPO. Jednak cechuje się on wyższymi lepkością i temperaturą spalania, dlatego konieczna jest przeróbka silnika w celu zastosowania tego typu paliwa. W niektórych państwach europejskich stosowanie czystego biodiesla (B100), jak i czystego oleju roślinnego (PPO) jest zabronione.

## 1.2. Produkcja biodiesla

Do produkcji biodiesla stosuje się głównie olej rzepakowy. W Polsce głównym źródłem surowca do produkcji biodiesla są ziarna rzepaku odmian podwójnie ulepszonych (dwuzerowych „00”), tzn. odmian o małej zawartości kwasu erukowego (<1%) i glukozylinianów alkenowych (< 25 μmol/g s.m. beztłuszczowej) [7, s. 79].

W produkcji przemysłowej oleju rzepakowego można wyróżnić następujące etapy:

- obróbka wstępna ziaren (czyszczenie oraz mielenie),
- obróbka termiczna – polegająca na podgrzaniu surowca parą w celu podniesienia wydajności procesu tłoczenia,
- tłoczenie oleju na prasach – polega na mechanicznym wyciskaniu oleju z ziaren poddanych obróbce,
- ekstrakcja oleju – w makuchach pozostałych po tłoczeniu zawartość oleju wynosi od 10 do 25%. W procesie ekstrakcji olej usuwany jest z makuch przy pomocy heksanu i lekkich benzyn,
- rafinacja wyekstrahowanego oleju – w celu oczyszczenia oleju po ekstrakcji i obróbce chemicznej,
- obróbka poekstrakcyjna – sedymentacja i filtracja, odszlamianie, odkwaszanie (usuwanie wolnych kwasów tłuszczowych), odbarwianie (usunięcie barwników), odwadnianie (usunięcie pary wodnej).

Olej poddany kolejno tym procesom określa się jako rafinowany. Rafinacja oleju służy przede wszystkim usunięciu fosfolipidów, soli żelaza i miedzi oraz uzyskania możliwie małej liczby kwasowej jak i zawartości wolnych kwasów tłuszczowych, które podczas estryfikacji mogą reagować z katalizatorem tworząc mydła co jest zjawiskiem niepożądanym [7, s. 80].

Kolejnym etapem przy produkcji biodiesla jest transestryfikacja (metanoliza). W tym celu olej poddaje się obróbce metanolem w towarzystwie odpowiedniego katalizatora. W trakcie metanolizy triglicerydy reagują z metanolem. Proces ten jest zwykle trójstopniowy. Najpierw triglicerydy rozpadają się do diglicerydów, a następnie do monoglicerydów, które na koniec procesu przekształcane są w glicerynę. Podczas tych trzech procesów produkowane są estry. Stosunek alkoholu i oleju stechiometrycznie ma się jak 3:1, jednak w celu podniesienia wydajności procesu używa się wyższych stężeń alkoholu. W procesie transestryfikacji można wykorzystać trzy rodzaje katalizatorów:

- alkaliczne – głównie są to: wodorotlenek sodu (NaOH) i wodorotlenek potasu (KOH),
- kwasowe – przeważnie wykorzystuje się kwas siarkowy,
- lipazy – enzymy odpowiedzialne za niektóre reakcje jak hydroliza glicerolu, czy alkohololiza. Główną zaletą lipaz jest ich biodegradowalność i możliwość wtórnego wykorzystania, natomiast z wad wymienić można podniesione koszty produkcji [6, s. 1302-1303].

Po oddzieleniu gliceryny produkt powstały w wyniku transestryfikacji nazywa się estrem metyloowym oleju rzepakowego (RME). Biodiesel rzepakowy powinien spełniać normę DIN 51605.

## 1.3. Zalety i wady stosowania biodiesla

Za stosowaniem biodiesla przemawiają aspekty ekologiczne:

- zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i tlenków siarki,
- mniejsza zawartość substancji kancerogennych (zwłaszcza benzenu) w spalinach,
- niższa zawartość cząstek stałych w spalinach,
- mniejsze zadymienie spalin,

- biodegradowalność – w przypadku przedostania się do gruntu lub wód gruntowych powoduje ich skażenia.

Biodiesel rozumiany jako estry oleju rzepakowego cechuje również niższa emisja aldehydów w stosunku do benzyny. W stosunku do oleju napędowego emisje aldehydów w spalinach są niższe, ale tylko przy częściowym obciążeniu silnika. Wraz ze wzrostem obciążenia wzrasta ilość wytwarzanych aldehydów. Problem ten można rozwiązać poprzez zastosowanie konwertora utleniającego [8, s. 199].

Nieco gorzej wypada biodiesel po porównaniu jego parametrów w stosunku do oleju napędowego. Estry oleju rzepakowego cechują się nieco wyższym godzinowym zużyciem paliwa, i niższą mocą użyteczną oraz momentem obrotowym w porównaniu do oleju napędowego. Przyczyną takiego zachowania silników spalinowych jest wysoka lepkość biodiesla oraz jego niższa wartość opałowa [1, s. 42]. Warto wspomnieć, że Koszałka i wsp. [5 s. 93] stwierdzają, że spadek mocy na poziomie 3% nie powinien być zauważalny w przypadku zwyczajnego użytkowania silnika.

Z punktu widzenia pracy silnika ważną zaletą są lepsze właściwości smarujące olejów napędowych na bazie estrów oleju rzepakowego. Co może powodować zmniejszone zużycie elementów trących w silnikach. Jednocześnie oleje naturalne ze względu na większą lepkość są mniej dokładnie rozpylane niż olej napędowy, co powoduje ich gorsze odparowanie. W efekcie pozostałości estrów oleju rzepakowego mogą przedostawać się do oleju smarującego i ze względu na zawarte w nich pierwiastki (siarka, fosfor, potas) wpływać na intensyfikację procesów degradacji oleju [4, s. 68].

## 2. BIOGAZ

### 2.1. Pozyskiwanie biogazu

Biogaz jest wysoce energetycznym gazem powstającym na drodze fermentacji metanowej dzięki obecności beztlenowych bakterii odpowiedzialnych za rozkład substancji organicznych. Jest to mieszanina metanu ( $\text{CH}_4$ ) i dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), z domieszką małych ilości siarkowodoru, azotu, tlenu, wodoru oraz innych substancji śladowych.

Pozyskiwanie gazu na drodze fermentacji metanowej jest obecnie jednym z najpopularniejszych sposobów zagospodarowania odpadów rolniczych i komunalnych w specjalnie do tego przeznaczonych instalacjach biogazowych. Spotykamy je nie tylko w rolnictwie, ale także przy oczyszczalniach ścieków czy wysypiskach śmieci.

Biogaz uzyskiwany w procesie fermentacji metanowej charakteryzuje się zróżnicowanym składem i jakością, które są uzależnione od wielu czynników. Na proces fermentacji oraz metanowydajność biogazu ma wpływ: skład i jakość substratów, uwodnienie mieszaniny, temperatura, ciśnienie także obecność inhibitorów procesu i zastosowana technologia fermentora. Proces fermentacji metanowej przebiega w czterech fazach:

- hydroliza – uwodnienie związków organicznych,
- faza kwaśna acidogenna – produkcja kwasów organicznych, aldehydów i alkoholi,
- faza octanogenna – produkcja lotnych kwasów tłuszczowych,
- faza metanogenna – rozkład kwasów tłuszczowych do  $\text{CH}_4$  i  $\text{CO}_2$ .

Do produkcji biogazu stosuje się odpady o pochodzeniu rolniczym: odchody zwierząt, rośliny energetyczne, odpady z uprawy roślin, a także odpady z przemysłu mleczarskiego, cukrowniczego, mięsnego, alkoholowego, farmaceutycznego, kosmetycznego, papierniczego.

Fermentacja musi być prowadzona w kontrolowanych warunkach. Do podstawowych parametrów decydujących o prawidłowym przebiegu procesu zaliczamy:

- optymalną temperaturę 37-38°C,
- odczyn zawierający się w przedziale 6,8÷7,5,
- odpowiedni bilans składników w substracie C/N/P/S=600/15/5/1,

- czas trwania procesu 20-36 dni,
- potencjał utleniająco redukujący,
- zawartość lotnych kwasów tuszowych,
- brak inhibitorów hamujących proces oraz
- odpowiedni załadunek komory fermentacyjnej.

## 2.2. Biogaz jako paliwo

Właściwości biogazu jako wysokoenergetycznego paliwa do zasilania urządzeń energetycznych są określane przez: wartość opałową, liczbę Wobbego, wysoką odporność na spalanie detonacyjne, odpowiednią prędkość spalania, niską zawartość zanieczyszczeń i inne.

Wartość opałowa mieści się w przedziale 18-24 MJ/mn<sup>3</sup>. Przykładowy skład i wartości biogazu przedstawiają się następująco [3, s. 4-5]:

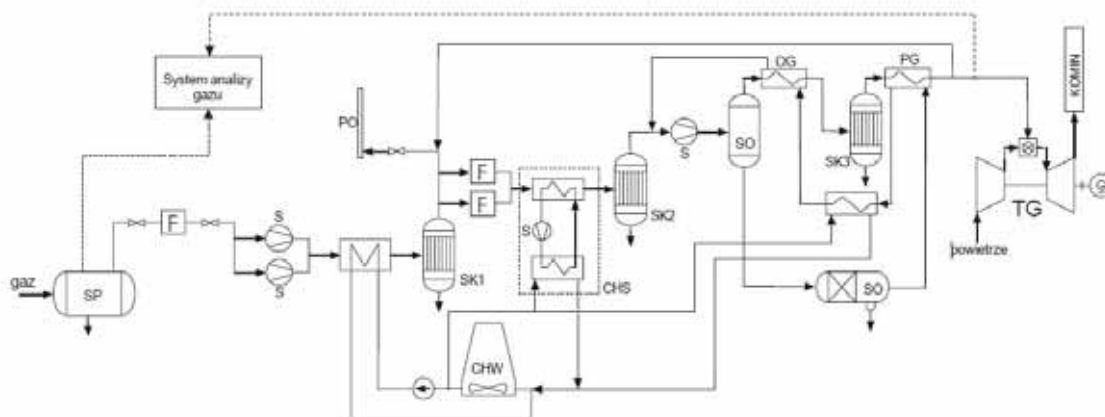
- udziały molowe:
  - CH<sub>4</sub> – 0,55-0,70
  - CO<sub>2</sub> – 0,30-0,45
  - N<sub>2</sub> – 0-0,02
  - H<sub>2</sub>S – ok. 500 ppm
  - NH<sub>3</sub> – ok. 100 ppm
- wartość opałowa Wd = 23,3 Mj/mn<sup>3</sup>
- gęstość ρ = 1,16 kg/mn<sup>3</sup>
- liczba metanowa ~ 135
- liczba Wobbego – 27,3
- wilgotność względna – 100%,
- adiabatyczna temperatura spalania – 1911°C.

Biogaz może być stosowany w układach skojarzonych do produkcji energii cieplnej i elektrycznej w modułach kogeneracyjnych. Może zostać także zastosowany, jako źródło energii dla systemów chłodniczych. Instalacje zasilane biogazem wykorzystują najczęściej silniki tłokowe, gazowe z zapłonem iskrowym, lub dwupaliwowe z zapłonem samoczynnym.

Zaletą takich rozwiązań jest możliwość stosowania paliw zamiennie, a wadą konieczność stosowanie jednocześnie paliwa ciekłego nawet w przypadku zasilania gazem. Moc zespołów zasilanych biogazem najczęściej mieści się w przedziałach poniżej 150 kW.

Czynnikiem decydującym o możliwości zamiennego stosowania paliw jest wartość liczby Wobbego, liczba metanowa i prędkość spalania. W przypadku, gdy są one nieodpowiednie, wymagane są zwykle zabiegi dostosowujące urządzenie do spalania dostępnego gazu [3, s. 5-12]. Polegają one przeważnie na zmianie stosunku sprężenia oraz średniego ciśnienia efektywnego obiegu, a także w niektórych przypadkach zmianie stopnia homogenizacji mieszanki i energii zapłonu. W większości przypadków producenci oferują modele silników odpowiednio dostosowane do spalania biogazu i są to najczęściej silniki tłokowe.

Biogazem można zasilac także turbiny gazowe, które pracują także na paliwach stałych o różnej wartości opałowej. Wadą tej technologii jest stosunkowo niewielka dostępna liczba urządzeń pracująca w mocy poniżej 1 MW, a także liczne problemy z zanieczyszczeniem paliwa czy start ciśnienia. Są one urządzeniami o stosunkowo dużych wymaganiach w zakresie dostawy i czystości paliwa oraz zapewnienia standardów pracy i obsługi [2, s. 19-21].



Rys. 1. Schemat układu z turbiną gazową zasilanym gazem wysypiskowym [2].

### 2.3. Wady i zalety stosowania biogazu

Popularyzacja stosowania biogazu jako paliwa energetycznego wiąże się z poszukiwaniem nowych technologii jego efektywnego wykorzystania. Wytwarzanie biogazu może być traktowane zarówno jako proces utylizacji różnego rodzaju odpadów organicznych ale także jako proces powstawania efektywnego paliwa gazowego. Poza aspektami ekonomicznymi jego stosowanie pozwala jednocześnie na:

- zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i tlenków siarki,
- sprzyja ochronie wód i gleb,
- ograniczenie uciążliwych odorów,
- produkcję czystej ekologicznie energii,
- szybką i efektywną utylizację odpadów,
- otrzymanie cennego nawozu pofermentacyjnego.

Tab. 1. Porównanie wartości opałowej biogazu z innymi nośnikami energii [9]

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa	Przelicznik w stosunku do 1 m <sup>3</sup> biogazu o wartości opałowej 26 MJ/ m <sup>3</sup>
Biogaz	20-26 MJ/ m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>
Gaz ziemny	33,5 MJ/ m <sup>3</sup>	0,77 m <sup>3</sup>
Olej napędowy	41,9 MJ/l	0,62 m <sup>3</sup>
Węgiel kamienny	23,4 MJ/kg	1,1 kg
Biopaliwo z rzepaku	36,5 MJ/kg	0,70 kg
Etanol	29,6 MJ/kg	0,85 kg
Drewno opałowe	13,3 MJ/kg	2 kg

## PODSUMOWANIE

Rosnące zapotrzebowanie gospodarki na paliwa i energię, wynikające z rozwoju gospodarczego, wobec zmniejszających się zasobów paliw kopalnych, wymusza kierunek poszukiwania i wspierania rozwoju wykorzystania biokomponentów, biopaliw ciekłych i innych paliw odnawialnych. W związku z powyższym, inicjatywy mające na celu zwiększenie produkcji i wykorzystania biokomponentów i biopaliw ciekłych należy uznać za bardzo istotne oraz zgodne z trendami obserwowanymi w gospodarce światowej. W skali całego świata obserwuje się obecnie działania, mające na celu promowanie wykorzystania biopaliw ciekłych jako substytutu paliw ropopochodnych. Ważnym argumentem, przemawiającym za szerszym stosowaniem biopaliw jest również rysująca się perspektywa konieczności przejścia na paliwa odnawialne w związku z wyczerpującymi się zasobami kopalni oraz koniecznością zdecydowanego wzrostu dbania o środowisko naturalne.

Biopaliwa są przyjazną środowisku alternatywą zasilania pojazdów mechanicznych wyposażonych w silniki spalinowe. Stosowanie biopaliw nie tylko całkowicie eliminuje emisję



do atmosfery niektórych szkodliwych substancji, takich jak tlenki siarki czy rakotwórcze związki aromatyczne, ograniczając skład spalin do pary wodnej, dwutlenku węgla oraz tlenków azotu, ale wpływa również pozytywnie na samą jakość pracy silnika.

Należy pamiętać o głównym czynniku decydującym o wartości środowiskowej paliw alternatywnych – obieg dwutlenku węgla przy wytwarzaniu oraz wykorzystywaniu biopaliw jest zamknięty; CO<sub>2</sub> emitowane podczas spalania jest wcześniej pochłaniane w procesie fotosyntezy, którego bezpośrednim następstwem jest wytwarzanie głównych surowców do produkcji biopaliw. Czynnikiem decydującym o potencjalnym zainteresowaniu konsumentów biopaliwami jest w znacznym stopniu czynnik ekonomiczny.

Stosowanie biopaliw w transporcie drogowym, zwłaszcza w pojazdach komunikacji miejskiej może zapewnić określone korzyści zarówno w wymiarze ochrony środowiska, jak i poprzez wymierne korzyści ekonomiczne. Poprzez wspieranie mechanizmami podatkowymi oraz dofinansowanie produkcji biopaliw są one obecnie oferowane w cenie niższej niż olej napędowy [7, s. 7-8].

## BIOFUELS FOR MODERN TRANSPORTATION

### *Abstract*

*In the paper two biofuels possible for production in Poland (biodiesel, biogas) were discussed. Sources and production methods of discussed biofuels were presented. Advantages and disadvantages of using biodiesel and biogas for transport purposes were cited including environmental and technical aspects.*

### BIBLIOGRAFIA

1. Dzieniszewski G.: *Wybrane problemy stosowania biopaliw do zasilania silników z zapłonem samoczynnym*. Inżynieria Rolnicza, 2008, nr 10.
2. Fechner W., Kotowski W.: *Przetwarzanie odpadów organicznych via biogaz do metanolu*. Gospodarka Paliwami i Energią, 1998, nr 6.
3. Foster A.D., Von Deoring H.E., Hilt M. B.: *Fuels flexibility in heavy-duty gas turbines*. Materiały General Electric. Schenectady, New York.
4. Ignaciuk P., Gil L., Niewczas A.: *Ocena właściwości tribologicznych paliw roślinnych w aspekcie wpływu na proces zużycia aparatury wtryskowej silników o zapłonie samoczynnym*. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 2009, nr 11c.
5. Koszałka G., Hunicz J., Kordos P.: *Porównanie własności użytkowych i ekologicznych silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym i bioestrem*. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 2009, nr 11c.
6. Marchetti J.M., Miguel V.U., Errazu A.F.: *Possible methods for biodiesel production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, nr 11.
7. Radziemska E., Lewandowski W., Szukalska E., Tynek M., Pustelnik A., Ciunel K.: *Biopaliwa z rzepaku. Przygotowania surowca do otrzymywania biodiesla w warunkach gospodarstwa rolnego oraz pilotowe metanolizy*. Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia. 2009, R.14, nr 1-2.
8. Szlachta Z., Dudek S.: *Zasilanie biopaliwami silników pojazdów rolniczych*. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 2003, nr 5.
9. Szlachta J. i in.: *Niekonwencjonalne źródła energii*. Wydawnictwo AR Wrocław, 1999.

**Recenzent:** dr hab. **Janusz Jakóbiec** – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**Autorzy:**

mgr inż. **Krzysztof Kuglarz** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

mgr inż. **Aleksandra Król** – Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk w Lublinie