

## Biopaliwa – krok ku zrównoważonemu rozwojowi

## Biofuels – a step towards sustainable development

**Sabina Dołęgowska**

*Akademia Świętokrzyska im. Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Chemii,  
Zakład Geochemii i Ochrony Środowiska, ul. Chęcińska 5, 25-020 Kielce,  
e-mail: Sabina.Dolegowska@pu.kielce.pl*

---

### Streszczenie

We współczesnym świecie z coraz większym niepokojem obserwuje się negatywny wpływ działalności człowieka na środowisko przyrodnicze. Sytuacja ta zrodziła potrzebę dążenia ku zrównoważonemu rozwojowi, który zakłada świadome kształtowanie relacji pomiędzy wzrostem gospodarczym a dbałością o środowisko przyrodnicze. Tworzenie nowych, przyjaznych środowisku technologii obserwuje się zwłaszcza w sektorze paliwowym. Kurczące się zasoby złóż kaustobiolitów (tradycyjnych paliw kopalnych) oraz niekorzystny wpływ na środowisko związany z nadmierną emisją gazów cieplarnianych, powstających w trakcie spalania, skłania ku alternatywnym źródłom energii jakimi są biopaliwa. W artykule opisano najważniejsze biopaliwa, sposoby ich produkcji oraz zasygnalizowano najważniejsze problemy, które są związane z ich powszechnym wykorzystaniem.

**Słowa kluczowe:** zrównoważony rozwój, biopaliwa, technologie przyjazne środowisku

### Abstract:

Nowadays, a detrimental impact of the human activity on the environment is a growing concern. This issue has engendered a need for action toward sustainable development, which assumes a conscious shaping of relationships between the economic growth and concern for the environment. The new environmentally friendly technologies are mainly applied in the fuel industry. The decreasing reserves of caustobioliths (traditional fossil fuels) and the adverse influence of excessive greenhouse gas emissions on the environment favor the use of alternative energy sources including biofuels. This paper reviews the characterization and production of the most important biofuels, and the problems linked to their common use.

**Key words:** sustainable development, biofuels, environmentally friendly technologies

---

### Wprowadzenie

Pojęcie zrównoważonego rozwoju swoimi korzeniami sięga lat 70-tych XX wieku, jednak na dobre zaistniało w świadomości społecznej po 1992 roku. Na II Konferencji Narodów Zjednoczonych w Rio de Janeiro przedstawiono nowy i optymistyczny model racjonalnego rozwoju technologicznego, uwzględniający aspekty środowiskowe. Zrównoważony rozwój zakłada kompatybilność między postępem a ochroną środowiska, polegającą na świadomym korzystaniu z bogactw naturalnych, celem zaspokojenia potrzeb społecznych, bez zmniejszania szans na ich użycie przyszłym pokoleniom (Drummong, Marsden, 1995; Mitcham, 1995; Demirbas, 2007).

Postęp technologiczny i związany z nim wzrost zapotrzebowania na surowce pociąga za sobą nadmierną ich eksploatację. Przemysł paliwowy znajduje się na takim etapie, że koniecznością wydaje się zastąpienie paliw kopalnych paliwami odnawialnymi. Za takim rozwiązaniem przemawiają względy ekonomiczne, środowiskowe i geopolityczne.

Obecnie 95% energii wykorzystywanej przez człowieka jest pochodzenia kopalnego. Ograniczony dostęp do źródeł paliw konwencjonalnych, stopniowe kurczenie się rezerw paliwowych sprawia, że coraz częściej współczesny świat staje przed dylematem poszukiwania nowych źródeł energii. Szacunkowe wyliczenia przewidują bowiem, że światowe zasoby węgla kamiennego wystarczą na naj-

bliższe 218 lat, ropy naftowej na 41 lat, a gazu ziemnego na 63 lata (Agarwal, 2007).

Kolejny problem stanowi zależność energetyczna od Krajów Bliskiego Wschodu, które są głównym eksporterem ropy naftowej. Brak stabilności politycznej tych krajów pociąga za sobą nieustanny wzrost cen tego surowca oraz zachwianie równowagi na rynku paliwowym.

Dodatkowym bodźcem do poszukiwania nowych rozwiązań są zmiany klimatyczne, które wynikają z nadmiernej emisji gazów cieplarnianych, powstających w wyniku spalania paliw kopalnych. Przemysł transportowy zużywa około 28% zasobów energetycznych, z czego 80% przypisywane jest transportowi drogowemu. Z tego względu ten obszar działalności człowieka postrzegany jest jako znaczące źródło wzmożonej emisji CO<sub>2</sub> (Hamelinck, Faaij, 2006; Antoni i in., 2007; Demirbas, 2007).

Na konferencji Narodów Zjednoczonych w Kioto w 1997 roku kraje członkowskie zobowiązały się do: (1) zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych poprzez wprowadzenie nowych „przyjaznych środowisku” źródeł energii oraz (2) działań prowadzących do uzyskania niezależności energetycznej (Demirbas, 2007; Uyterlinde i in., 2007). Stosowaną opcją dla narastającego kryzysu energetycznego jest produkcja biopaliw z odnawialnych źródeł energii.

Termin biopaliwa określa ciekłe lub gazowe paliwa produkowane głównie z biomasy i przeznaczone dla sektora transportowego (Demirbas, 2007). Biomasa roślinna stanowi obfitą, łatwo dostępną bazę surowcową, która może być efektywnie przetwarzana na biopaliwo w trakcie procesu technologicznego. Obecnie 10% zasobów energetycznych jest pochodzenia roślinnego, co pozwala na pokrycie jedynie 9-14% ogólnego zapotrzebowania energetycznego (Hamelinck, Faaij, 2006; Antoni i in., 2007; Demirbas, 2007).

### Historia biopaliw

Korzystanie z odnawialnych źródeł energii towarzyszyło ludzkości od zawsze. Wykorzystanie drewna, wiatru, wody gwarantowało przetrwanie i stanowiło siłę napędową rozwoju. Początki XIX wieku są czasem projektowania pierwszych silników zapłonowych w których stosowano paliwo pochodzenia roślinnego. W 1900 roku na Wystawie Światowej w Paryżu pojawił się zaprojektowany przez dr Rudolfa Diesla silnik, który wykorzystywał jako paliwo 100% olej arachidowy, a siedem lat później Henry Ford zaprezentował model samochodu, który pracował na 100% etanolu (Agarwal, 2007; Antoni i in., 2007).

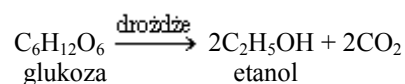
Obie idee nie przetrwały próby czasu. Po śmierci Rudolfa Diesla w 1913 roku silniki wysokosprężynowe zostały przystosowane do pracy na ropę, a w latach 30-tych i 40-tych XX wieku oleje roślinne sporadycznie zastępowały paliwa kopalne. Stano-

wiło to korzystne rozwiązanie dla ówczesnych producentów ropy, która w tamtym czasie była jedynym paliwem stosowanym w silnikach spalinowych.

Produkcja etanolu jako paliwa została zaniechana w latach 40-tych XX wieku przez wzgląd na niskie ceny benzyny, a okres drugiej wojny światowej umocnił jej pozycję, definitywnie eliminując produkcję biopaliw. Powrót do pierwotnej myśli Rudolfa Diesla upatrującej w olejach roślinnych doskonałe paliwo transportowe, spowodowała chwiejna sytuacja na rynku paliwowym i związane z tym rosnące ceny ropy naftowej. Do produkcji etanolu powrócono w latach 70-tych w Brazylii, która obecnie jest jego największym światowym producentem i dostawcą (Steinem, 2003; Agarwal, 2007; Antoni i in., 2007).

### Bioetanol i biodiesel

Obecnie na skalę światową produkowane są dwa rodzaje biopaliw: bioetanol i biodiesel. Bioetanol to praktycznie bezwodny alkohol etylowy otrzymywany na dużą skalę z buraków cukrowych, trzciny cukrowej, kukurydzy, pszenicy, słomy bądź drewna w reakcji fermentacji alkoholowej. Fermentacja to biologiczny, anaerobowy proces w trakcie którego cukry zamieniane są na alkohol przy współdziałaniu mikroorganizmów, zwykle drożdży. Bioetanol może być produkowany z węglowodanów o ogólnym wzorze sumarycznym (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>, a proces ten zachodzi zgodnie z równaniem (McMurry, 2000):



Produktami ubocznymi reakcji są: dwutlenek węgla oraz niewielkie ilości metanolu i glicerolu. Otrzymany etanol poddaje się destylacji celem usunięcia nadmiaru wody. Zawartość bowiem wody powyżej 0,02% dyskwalifikuje etanol jako dodatek paliwowy ze względu na możliwość wystąpienia separacji faz benzyna-woda (Antoni i in., 2007; Orchard i in., 2007). Etanol w porównaniu z tradycyjną benzyną posiada wyższą liczbę oktanową, jest mniej toksyczny i mniej wybuchowy. Jego spalanie jest czystsze i pełniejsze, co wiąże się ze zmniejszeniem ilości tlenu węgla(II), węglowodorów oraz tlenków azotu emitowanych do atmosfery. Problem stanowi zwiększona emisja formaldehydu i aldehydu octowego. Kwestię tę można jednak efektywnie rozwiązać wprowadzając odpowiednie katalizatory umożliwiające redukcję powstających gazów. Obecnie bioetanol stosowany jest w silnikach samochodowych jako 5% dodatek do benzyny (Agarwal, 2007; Demirbas, 2007).

Biodiesel to całkowicie naturalne, pochodzące z odnawialnych źródeł paliwo. Jest to 100% olej roślinny, bądź zwierzęcy otrzymywany z rzepaku, soi, palm lub odpadów pochodzenia organicznego i

poddawany reakcji transestryfikacji katalitycznej (Ryan i in., 2006; Agarwal, 2007). Proces ten polega na wymianie gliceryny związanej z kwasem o długim łańcuchu węglowym na metanol lub etanol. Reakcja prowadzona jest najczęściej w obecności wodorotlenku sodu lub potasu, spełniającego rolę katalizatora (McMurry, 2000).

Cechą reakcji transestryfikacji jest otrzymywanie olejów o mniejszej lepkości niż oleje wyjściowe, co zabezpiecza silnik przed powstawaniem osadu zwanego nagarem, zakłócającego jego pracę.

W skład biodiesla wchodzi proste, długie łańcuchy węglowodorowe nie zawierające siarki oraz podstawników cyklicznych i aromatycznych. Zawartość tlenu około 10% pozwala na zaliczenie go do naturalnie natlenionych paliw. Właściwości te gwarantują czystość i wydajność procesu spalania, co wiąże się ze zmniejszoną emisją do atmosfery substancji zanieczyszczających (Steinem, 2003). Biodiesel ma wyższą liczbę oktanową niż diesel, a jego produkcja wymaga mniejszych nakładów energetycznych i prostszego procesu technologicznego.

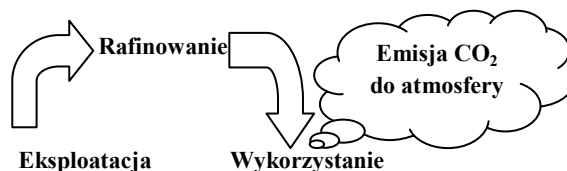
Kompatybilność biodiesla z olejami mineralnymi pozwala na łączenie ich w różnych proporcjach celem uzyskania stabilnej mieszanki paliwowej. Obecnie większość samochodów posiadających silnik diesla może bez konieczności adaptacji pracować na mieszance zawierającej do 10% biodiesla (Ryan i in., 2006; Agarwal, 2007; Antoni i in., 2007; Orchard i in., 2007).

### Biopaliwa a ochrona środowiska

Na Szczycie Ziemi w 1992 roku w Rio de Janeiro zwrócono uwagę na znaczne zużycie paliw kopalnych i związaną z tym nadmierną emisję CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, metanu, formaldehydu, benzenu, ksyleny i toluenu. Zjawisko to może być przyczyną tzw. efektu cieplarnianego, kwaśnych deszczy, dziury ozonowej i zmian klimatycznych.

Największy niepokój budzi wzrastająca ilość CO<sub>2</sub> dostającego się do atmosfery. Zaliczany do tzw. gazów cieplarnianych, CO<sub>2</sub> odbija promieniowanie podczerwone wysyłane do atmosfery. Ilość zatrzymanego promieniowania jest wprost proporcjonalna do ilości występujących gazów, dlatego wzrost ich koncentracji prowadzi do nadmiernego nagrzania się litosfery i powstania efektu cieplarnianego, zwanego szklarniowym (Migaszewski, Gałuszka, 2007).

Spalanie paliw kopalnych prowadzi do uwolnienia znacznych ilości CO<sub>2</sub> w czasie nieporównywalnie krótszym niż proces jego wiązania w procesach biogeochemicznych i chemicznych prowadzących do powstania paliw kopalnych. Rośliny nie są w stanie wykorzystać w procesie fotosyntezy całości wyemitowanego gazu, co prowadzi do nieustannego wzrostu jego koncentracji w atmosferze (rys. 1).

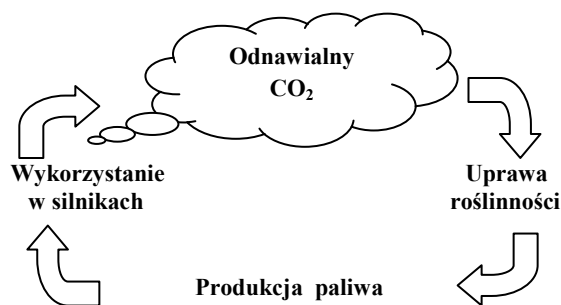


Rys. 1. Cykl CO<sub>2</sub> w procesie spalania paliw kopalnych

Długotrwały proces powstawania paliw kopalnych nie równoważy tempa ich zużycia, przyczyniając się do stopniowego zmniejszania się istniejących pokładów.

Na konferencji Narodów Zjednoczonych w Kioto w 1997 roku w sprawie zmian klimatu, podjęto prawne kroki mające na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych. Zakładają one zastąpienie paliw tradycyjnych paliwami odnawialnymi w ilościach 5,75% do 2010 roku (Ryan i in., 2006; Agarwal, 2007; Demirbas, 2007).

W przypadku biopaliw, proces wiązania dwutlenku węgla i jego emisji do atmosfery jest cyklem zamkniętym. Rośliny pobierają CO<sub>2</sub>, wiążą go w procesie fotosyntezy, tworząc związki niezbędne do wzrostu i rozwoju. Kolejno w procesie spalania uwalniają go z powrotem do atmosfery, czyniąc dostępnym dla kolejnych wzrastających organizmów roślinnych (rys. 2) (Berthiaume i in., 2001; Agarwal, 2007).



Rys. 2. Cykl CO<sub>2</sub> w procesie spalania biopaliw

### Inne biopaliwa

Wśród biopaliw mogących znaleźć zastosowanie na rynku paliwowym, oprócz bioetanolu i biodiesla, można również wymienić: wodór, biogaz, biometanol i butanol.

Wodór jest produkowany z materiału drzewnego w procesie gazyfikacji lub pirolizy. Konwersja wodoru w energię odbywa się bez produkcji CO<sub>2</sub>, stąd jego przyjazny środowisku charakter. Wysokie koszty produkcji stanowią jednak przeszkodę w wykorzystaniu go na szerszą skalę.

Biogaz stanowi przyjazne środowisku, czyste, tanie, szeroko dostępne paliwo. Powstaje praktycznie z każdego rodzaju biomasy, włączając muł, ścięki i zwierzęce odpady, w procesie beztlenowego rozkładu. Oczyszczony i wzbogacony biogaz może być efektywnie stosowany jako biopaliwo,

przede wszystkim ze względu na optymalne koszty produkcji.

Biometanol zwany również alkoholem drzewnym otrzymywany jest obecnie z gazu syntezowego lub biogazu w procesie konwersji. Jest to proces wysoce kosztowny i z tego też względu produkcja metanolu jako biopaliwa na dzień dzisiejszy jest nieopłacalna (Antoni i in., 2007; Demirbas, 2007).

Butanol jest otrzymywany w procesie fermentacji odpadów rolniczych. Jako paliwo posiada niską prężność par, stąd już jego niewielki dodatek do benzyny zmniejsza niebezpieczeństwo eksplozji w trakcie zużycia (Antoni i in., 2007; Somerville, 2007).

### Trudności w procesie wprowadzania biopaliw do powszechnego użycia

Wprowadzenie biopaliw na rynek paliwowy niesie ze sobą wiele niewymiernych korzyści. Nie można jednak pominąć problemów jakie wynikają z wdrażania nowych technologii.

Produkcja biopaliw na szeroką skalę wymaga zagospodarowania znacznych terenów rolniczych, co wiąże się z obawą prawdopodobnego wylesiania znacznych obszarów. Intensywna uprawa jednego gatunku roślinnego nie pozostaje również bez wpływu na strukturę gleby i prowadzi do jej stopniowej degradacji. Jest to przyczyną utraty żyzności gleby, która może skutkować zmniejszeniem bioróżnorodności.

Bazą w produkcji biopaliw są w większości rośliny wykorzystywane w przemyśle spożywczym, takie jak: kukurydza, burak cukrowy, pszenica. Zwiększone zapotrzebowanie na te surowce może być przyczyną wzrostu cen produktów żywnościowych (Charles i in., 2007). Alternatywę stanowi genetycznie modyfikowana i wykorzystywana w produkcji biopaliw roślinność. Metody biotechnologiczne poprzez wprowadzanie nowych genów zwiększają odporność organizmów redukując prawdopodobieństwo występowania niskich plonów (McLaren, 2005).

Uprawy genetycznie modyfikowanych roślin mają znaczący wpływ na środowisko. Odporne na insekty rośliny, mogą być szkodliwe dla owadów pożytecznych, odpowiedzialnych za naturalną selekcję populacji szkodników. Grozi to zachwianiem równowagi w ekosystemach i zmianami na wyższych szczeblach łańcucha pokarmowego (Raport inżynierii genetycznej, 2005).

Koszty wytwarzania biopaliw uzależnione są od ceny materiałów wyjściowych, procesu technologicznego, utylizacji produktów ubocznych i odpadów powstających w trakcie produkcji. Z tego względu ceny biopaliw istniejących obecnie na rynku paliwowym są znacznie wyższe od cen paliw tradycyjnych. Jedynym korzystnym rozwiązaniem jest zwolnienie biopaliw z akcyzy w momencie wprowadzania ich na rynek tak, aby ich ceny mogły

konkurować z cenami innych paliw (Steinem, 2003; Hamelinck, Faaij, 2006; Ryan i in., 2006).

Obecne wykorzystanie biopaliw ogranicza się w większości do stosowania ich jako 5-10% dodatków do paliw tradycyjnych. Zabiegi te nie wymagają wprowadzania zmian w silnikach samochodowych pracujących na benzynie i ropie naftowej. Całkowite zastąpienie paliw kopalnych biopaliwami wiąże się z koniecznością wprowadzenia zmian konstrukcyjnych w silnikach. Zmiany te wynikają z innych właściwości fizyko-chemicznych paliw pochodzenia roślinnego (temperatury zapłonu, prężności par) i wymagają znacznych nakładów finansowych ze strony koncernów samochodowych (Ryan i in., 2006, Agarwal, 2007; Charles i in., 2007).

### Podsumowanie

Reasumując, problemy z jakimi zmagają się dzisiejszy przemysł paliwowy, zmuszają do poszukiwania nowych rozwiązań. Biopaliwa uzyskiwane z szeroko i łatwo dostępnej biomasy mogą stanowić odpowiedź na rodzące się trudności, stając się odpowiednimi zamiennikami dla paliw tradycyjnych (Uyterlinde i in., 2007).

W świetle idei zrównoważonego rozwoju wprowadzenie biopaliw wydaje się nie tylko koniecznością, ale stanowi naturalną kolej rzeczy. Jeśli bowiem zrównoważony rozwój oznacza lepsze życie dla obecnych i przyszłych pokoleń, konieczne są gruntowne zmiany w pojmowaniu produkcji, konsumpcji, potrzeb materialnych i związane z tym respektowanie granic postępu wyznaczonych przez środowisko przyrodnicze (Clarke, 2002; Robinson, 2004). Nowe spojrzenie na problemy ekorozwoju wymaga zwiększenia społecznej świadomości ekologicznej, a tym samym indywidualnej troski o środowisko.

### Literatura

1. AGRAWAL A. K., 2007, Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines, w: *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 33, s. 233-271.
2. ANTONI D. i in., 2007, Biofuels from microbes, w: *Microbiol Biotechnol*, vol. 77, s. 23-35.
3. BERTHIAUME R., i in., 2001, Exergetic evaluation of the renewability of a biofuel, w: *Exergy and International Journal*, vol. 1 (4), s. 256-268.
4. CHARLES M. B., i in., 2007, Public policy and biofuels: The way forward?, w: *Energy Policy*, vol. 35, s. 5737-5746.
5. CLARKE A., 2002, Understanding sustainable development in the context of other emergent environmental perspectives, w: *Policy Sciences*, vol. 35, s. 69-90.

6. DEMBIRAS A., 2007, Progress and recent trends in biofuels, w: *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 33, s. 1-18.
7. DRUMMONG I., MARSDEN T. K., 1995, Regulating sustainable development, w: *Global Environmental Change*, vol. 5, no. 1, s. 51-63.
8. HAMELINCK C. N., FAAIJ A. P. C., 2006, Outlook for biofuels, w: *Energy Policy*, vol. 34, s. 3268-3283.
9. McLAREN J. S., 2005, Crop biotechnology provides an opportunity to develop a sustainable future, w: *Trends in Biotechnology*, vol. 23, No: 7, s. 339-342.
10. McMURRY J., *Chemia organiczna*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2000.
11. MIGASZEWSKI Z. M., GAŁUSZKA A., *Podstawy geochemii środowiska*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2007.
12. MITCHAM C., 1995, The Concept of Sustainable Development: its Origins and Ambivalence, w: *Technology in Society*, vol. 17, No: 3, s. 311-326.
13. ORCHARD B. i in., 2007, Developments in biofuels processing technologies, w: *World Pumps*, vol. 487, s. 24-28.
14. *Raport inżynierii genetycznej*, 2005.
15. ROBINSON J., 2004, Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development, w: *Ecological Economics*, vol. 48, s. 369-384.
16. RYAN L. i in., 2006, Stimulating the use of biofuels in the European Union: Implications for climate change, w: *Energy Policy*, vol. 34, s. 3184-3194.
17. SOMERVILLE CH., 2007, Biofuels, w: *Current Biology*, vol. 14, issue: 4, s. R115-R119.
18. STEINER CH., 2003, Biofuels for Energy Independence, w: *Refocus*, vol. 4, issue: 2, s. 26-28.
19. UYTERLINDE M. A., i in., 2007, Implications of technological learning on the prospect for renewable energy technologies in Europe 07, w: *Energy Policy*, vol. 35, s. 4072-4087.