

# AKTUALNE POTRZEBY I MOŻLIWOŚCI WYTWARZANIA PALIWA TYPU BIO-JET

**Bohdan Naumienko, Grzegorz Rarata**  
Instytut Lotnictwa

## **Streszczenie**

*W artykule przedstawiono skrót aktualnych osiągnięć technologicznych na temat potencjalnego zastosowania biopaliw w lotnictwie. Zaznaczono również, że ostatnie dyrektywy Komisji Europejskiej także faworyzują wprowadzanie biopaliw do transportu lotniczego, celem zmniejszenia zależności od importowanych paliw ropopochodnych oraz obniżania emisji gazów cieplarnianych. Wymieniono różne podejścia technologiczne do zagadnienia produkcji biopaliw dla lotnictwa.*

*Autorzy identyfikują mikroalgi jako najlepszą alternatywę do produkcji biopaliwa lotniczego w dłuższej perspektywie. Podobnie wielu innych producentów biopaliw rozważa taki scenariusz. Biomasa z mikroalg bowiem wydaje się być najbardziej obiecującym źródłem do produkcji bio-zamiennika paliwa Jet A-1, jak również wielu innych, użytecznych związków organicznych. Ponadto, jak wynika z dotychczas prezentowanych badań, jedynie część biomasy z mikroalg jest użyteczna dla produkcji paliwa typu biodiesel, znacznie więcej zaś może zostać wykorzystane do produkcji benzyn oraz paliwa typu Bio-Jet.*

## **1. WSTĘP**

Na przestrzeni ostatnich lat odnotowuje się gwałtowny wzrost zainteresowania biopaliwami płynnymi, które w najbliższej przyszłości mogłyby częściowo zastąpić wykorzystywany od dziesięcioleci w turbinowych silnikach lotniczych produkt petrochemiczny, znany powszechnie pod nazwą nafty lotniczej (czyli Jet A oraz Jet A-1). Największymi osiągnięciami na tym polu innowacyjnych biopaliw, zwłaszcza w ostatniej dekadzie, mogą niewątpliwie pochwalić się Stany Zjednoczone. Trzeba wręcz stwierdzić, że amerykańskie sukcesy doprowadziły do tego, że także Unia Europejska, m.in. poprzez odpowiednie dyrektywy, stara się coraz skuteczniej „zachęcać” państwa członkowskie do intensyfikacji badań nad jak najszybszą możliwością wdrożenia biopaliw do szeroko rozumianego lotnictwa (Strategic Research Agenda: 2010 Update - EU Objectives 2020) [1].

Nie ulega wątpliwości, że produkcja biopaliw płynnych z biomasy mogłaby, i w istocie może, stanowić alternatywę dla zabezpieczenia energetycznego kraju. W tym celu jednak źródło (surowiec) używany do produkcji biopaliwa, czyli biomasa, musi być dostępna stale i w dużej skali, zaś odpowiednia technologia powinna gwarantować produkt spełniający rygorystyczne wymagania. Wymaga to nakładów inwestycyjnych, jednakże istotnym argumentem za rozwojem takich technologii jest fakt, że cena za baryłkę ropy naftowej dwa lata temu sięgnęła 147 dolarów. Pomimo tego, iż obecnie wynosi ona blisko 80 dolarów za baryłkę, to nadal jest na tyle wysoka,

że wiele technologii produkcji paliw alternatywnych, które jeszcze kilka lat temu mogły być uznane za nieopłacalne, obecnie stanowi podstawę strategii zwiększenia narodowej niezależności energetycznej. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt coraz ostrzejszych międzynarodowych uregulowań prawnych w dziedzinie obniżania emisji CO<sub>2</sub>, co sprzyja wykorzystaniu biopaliw. Obecnie w Polsce prawie 98% paliw spalanych w silnikach samochodowych, a 100% w przypadku silników lotniczych, pochodzi z importowanej ropy naftowej. Jeśli sytuacja taka nie ulegnie zasadniczej zmianie w ciągu najbliższych lat, Polska nadal pozostanie jedynie importerem surowca do produkcji paliw płynnych.

Obecnie nikt już nie ma wątpliwości, że biopaliwa produkowane „tradycyjnymi” metodami (np. za pomocą procesu transestryfikacji lub też fermentacji) i przy użyciu biomasy pochodzącej z upraw lądowych, są konkurencją dla innej produkcji, a zwłaszcza produkcji żywności (też pasz, papieru, ciepła, itp.), a przez to ich wytwarzanie jest przedmiotem krytyki. Z drugiej jednak strony takie dyrektywy unijne jak Renewable Energy Directive (2009/28/EC) wspierają technologie umożliwiające wykorzystywanie energetyczne biomasy, a przez to m.in. redukcję emisji gazów cieplarnianych.

## 2. AKTUALNY PODZIAŁ BIOPALIW

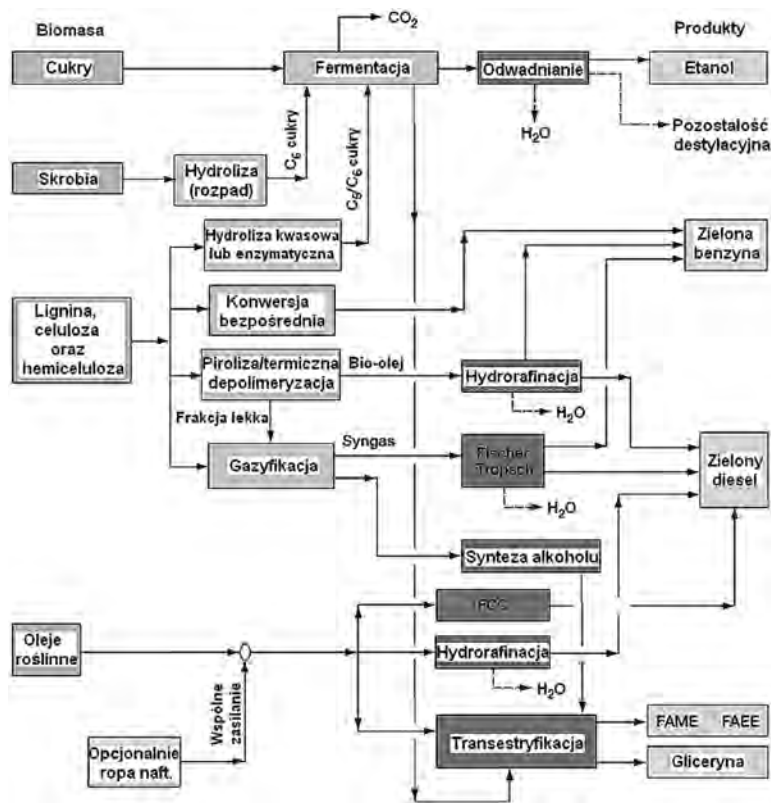
Biomasa jest materiałem pochodzenia organicznego, który w procesie fotosyntezy absorbuje energię słoneczną i przekształca ją w wiązania chemiczne, budujące strukturalne komponenty biomasy, w tym tak użyteczne substancje jak np. tłuszcze.

Tłuszcze stanowią obecnie dogodny surowiec wyjściowy do produkcji biopaliw typu diesel oraz Bio-Jet (zamienników Jet A oraz Jet A-1, które w pełni wyprodukowano z biomasy) za pomocą tak zaawansowanych technologii jak hydrotorafinacja czy też hydrokraking katalityczny. Dla produkcji takiego surowca (biomasy, a w konsekwencji oleju) coraz częściej wykorzystuje się m.in. mikroalgi, ze względu na szybkie tempo ich przyrostu. Poza tym w przypadku mikroalg nie zachodzi konflikt, będący wynikiem np. wykorzystywania areałów rolnych (które mogłyby służyć do produkcji żywności), czy też zużywania zasobów wody słodkiej, jako że wykorzystywane są morskie gatunki mikroalg. Co więcej, prace podążają w kierunku wykorzystania ścieków do nawożenia takich hodowli, co dodatkowo nie stwarzałoby konieczności zużywania nawozów, a jednocześnie umożliwiłoby utylizację znacznych ilości komunalnych odpadów ciekłych.

Nadal jednak powstaje wiele niepewności odnośnie przyszłości biopaliw, nie tylko zresztą w odniesieniu do naszego kraju. Można stwierdzić, że wiele z nich jest m.in. skutkiem braku jasności w kwestii samych biopaliw oraz ich podziału. Większa edukacja społeczna w tym względzie wydaje się być zadaniem równie priorytetowym dla najbliższej przyszłości, co poszukiwanie nowych technologii przetwarzania biomasy. Schematyczny podział obecnie użytkowanych biopaliw, wraz ze źródłami ich surowców pierwotnych oraz procesów produkcyjnych, przedstawia rysunek 1.

Należałoby więc zastanowić się nad następującą kwestią: czy wykorzystanie biopaliw płynnych nadal będzie rosło na świecie i jaki mogłoby to mieć wpływ na rynek globalny oraz, co ważniejsze, polski, oraz czy światowi liderzy przemysłu lotniczego (producenci silników, przewoźnicy) rozważają koncepcję wprowadzania bio-zamienników dla paliw petrochemicznych. Aby móc w pełni odpowiedzieć sobie na tak postawioną kwestię, dalej należałoby przyjrzeć się rozwiązaniom promującym rozwój technologii produkcji oraz rynku zbytu dla biopaliw płynnych w krajach, które przodują obecnie w tej dziedzinie. Faktem jest, że opłacalność produkcji biopaliw płynnych zależy przede wszystkim od wspomnianej już ceny tradycyjnego surowca energetycznego, a więc w tym wypadku od cen ropy naftowej. Niewątpliwie w pewnym stopniu jest to także uzależnione od politycznych uregulowań ustalanych przez władze, zarówno krajowe jak i unijne. Jednak nie mniej istotnymi czynnikami są niezależność energetyczna kraju oraz sam rozwój nowoczesnych technologii, czyli po prostu postęp naukowo-techniczny, który

sprawia, że pewne działania nie dość, że stają się możliwe, to są przy tym, np. w dłuższej perspektywie pożądane i opłacalne.



Rys. 1. Biomasa oraz sposoby produkcji podstawowych, aktualnie wykorzystywanych, biopaliw

Obecnie jest niemal oczywistym, że jedynie rozszerzenie asortymentu surowcowego o nowe, wydajniejsze źródła biomasy, takie jak algi (a zwłaszcza mikroalgi) może przyczynić się w dużym stopniu do wypełnienia wymagań Unii Europejskiej, chcącej, aby do roku 2020, 10% wszystkich paliw pochodziło z przetwarzania biomasy. Założenia te w równym stopniu dotyczą rozwoju biopaliwowych alternatyw dla petrochemicznego paliwa lotniczego typu nafta. W Europie nadal wielu producentów paliw oraz biopaliw nie widzi potrzeby, czy też rentowności, wytwarzania, a co za tym idzie inwestowania, w badania nad biopaliwami dla silników turbinowych. Tymczasem zupełnie odmienna sytuacja panuje na rynku amerykańskim, co wynika choćby ze skali produkcji oraz użytkowania poszczególnych rodzajów biopaliw w tym kraju (tab. 1).

Tabela 1. Światowi liderzy w produkcji biopaliw [2]

Kraj	Produkcja (kton, 2007 r.)	Udział (%)
USA	13 793	40 proc.
Brazylia	11 397	33 proc.
Niemcy	2 779	8 proc.
Chiny	1 202	3 proc.

Aktualnie w Stanach Zjednoczonych już co najmniej kilka dużych firm posiada opanowane technologie produkcji biopaliwa do takich silników (Bio-Jet) wraz z własnością intelektualną, na którą składają się m.in. odpowiednie zastrzeżenia patentowe oraz licencje.

### 3. PALIWO TYPU JET

Obecnie rejsowe samoloty pasażerskie używają ogromne ilości paliwa typu Jet A oraz Jet A-1. Praktycznie w całości jest ono produkowane w rafineriach petrochemicznych, a więc z ropy naftowej. Jedynie bardzo niewielki ułamek tego paliwa stanowi syntetyczny Jet A, pochodzący z przetwarzania węgla za pomocą procesu CTL (Coal to Liquids), opracowanego przez południowoafrykański Koncern Sasol.

Paliwa typu Jet A muszą spełniać bardzo rygorystyczne wymagania, które z kolei gwarantują ich skuteczne oraz bezpieczne wykorzystania w warunkach lotu samolotu pasażerskiego. Odnosi się to zarówno do ich parametrów fizyko-chemicznych jak i cech, które zostały niejako wypracowane, a wręcz z góry określone dla danego przeznaczenia (kryteria typu „fit-for-purpose”). Przykładowo, samoloty pasażerskie narażone są na temperatury rzędu  $+55^{\circ}\text{C}$  (na pasach startowych) do nawet poniżej  $-60^{\circ}\text{C}$  (na pułapie sięgającym 12 km). Dodatkowo, producenci silników dla takich samolotów, wykorzystują paliwo nie tylko jako medium energetyczne, ale również (zanim trafi ono do komór spalania) jako ciecz hydrauliczną, do poruszania niektórych siłowników. Tak szeroki zakres wymagań, jakie paliwo tego typu musi spełniać, obejmuje przede wszystkim cechy związane z przepływem (lepkość), temperaturą zapłonu, granicami palności, składem frakcyjnym, wartością opałową, ale także i kompatybilnością materiałową, stabilnością termiczną oraz biologiczną, czy wreszcie toksycznością.

Dlatego też certyfikacja takiego paliwa jest długotrwałym, złożonym oraz kosztownym procesem, który wymaga spełnienia określonych wymogów technicznych, międzynarodowej współpracy oraz wsparcia ze strony przemysłu. W Stanach Zjednoczonych została ostatnio zatwierdzona certyfikacja dla paliwa typu Jet A, które może posiadać w swoim składzie np. biokomponent, a więc biopaliwo (ASTM D-7566-09 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons).

### 4. PALIWO TYPU JET Z BIOMASY

Według wielu aktualnych ocen, mikroalgi mogą dostarczyć co najmniej kilkadziesiąt tysięcy litrów oleju z hektara, podczas gdy rzepak ma wydajność rzędu 1500 litrów z hektara (słonecznik około 950 litrów, soja zaś 450). Olej otrzymywany w wyniku przetwarzania biomasy (np. z rośliny typu lnianka czy też z mikroalg) stanowi podstawowy surowiec dla obecnie produkowanego, i sprawdzonego już w warunkach lotów testowych, biopaliwa dla lotniczych silników turbinowych, określanego powszechnie jako Bio-Jet.

W sierpniu 2008 roku amerykańska firma Solazyme, specjalizująca się w zaawansowanych technologiach przetwarzania mikroalg, jako pierwsza na świecie uzyskała certyfikację (ASTM D1655) na paliwo typu Jet wytwarzane właśnie z mikroalg [3]. Firma ta wykorzystuje wysokowydajne gatunki mikroalg, hodując je, a następnie przetwarzając w tzw. renewable oil, za pomocą odpowiednich technologii, często zupełnie nowatorskich (rys. 2).



Rys. 2. Schemat procesu produkcji paliwa typu Bio-Jet opracowany przez firmę Solazyme [3]

Sposób zastosowany przez firmę amerykańską pozwala, oprócz zagospodarowywania znacznych ilości, często „niepotrzebnych” odpadów biomasy, przyczynić się do znacznej, bo sięgającej nawet 95%, redukcji emisji tzw. gazów cieplarnianych. Oprócz produkcji zamiennika paliwa Jet A-1 (spełniającego 11 podstawowych parametrów, zgodnie ze standardem ASTM D 1655), firma produkuje w powyższy sposób także inne paliwa (np. typu diesel) oraz całą gamę cennych chemikaliów (takich np. jak surfaktanty, lubrykanty, polimery, kosmetyki, itp.).

Podobnymi osiągnięciami w dziedzinie produkcji paliwa typu Bio-Jet (w tym przypadku zamiennika dla wojskowego odpowiednika paliwa Jet A, czyli amerykańskiego JP-8) posiada inna firma ze Stanów Zjednoczonych, a mianowicie lider w produkcji instalacji do przetwarzania ropy naftowej oraz katalizatorów, czyli UOP LLC Honeywell. Firma ta, wspólnie z liniami Boeing, zademonstrowała w 2008 roku (w formie lotów pokazowych) praktyczne wykorzystanie paliwa Bio-Jet opracowanego w ramach funduszy uzyskanych z kontraktu rządowego (firma UOP LLC otrzymała kontrakt DARPA zaledwie rok wcześniej, bo w 2007) [4]. Również Bio-Jet opracowany przez UOP LLC z łatwością spełnia podstawowe wymagania stawiane dla paliwa tego typu, takie jak temperatura krzepnięcia niższa niż  $-47^{\circ}\text{C}$  czy też temperatura zapłonu powyżej  $38^{\circ}\text{C}$  (najniższa temperatura, przy której w ściśle określonych warunkach nastąpi zapalenie się par paliwa). Paliwo firmy UOP znane jest pod nazwą Bio-SPK (Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene). Także i w tym przypadku podstawą technologii do jego produkcji był proces polegający na katalitycznej hydrotorafinacji olejów roślinnych oraz oleju z mikroalg (początkowo firma używała oleju z takich roślin jak jatrofa oraz lnianka) (rys. 3).



Rys. 3. Schemat cyklu produkcyjnego biopaliwa typu Bio-SPK [5]

Aktualnie UOP LLC jest w trakcie produkcji blisko 2,3 mln litrów nowego paliwa Bio-Jet dla testów prowadzonych przez US Navy oraz Air Force [6].

## 5. PODSTAWY TECHNOLOGICZNE

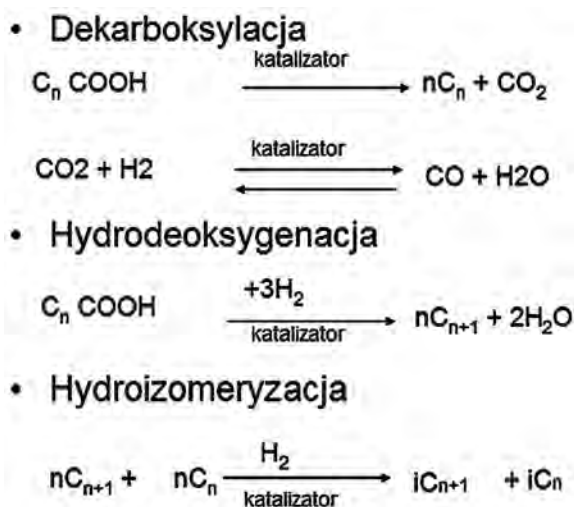
Obecnie istnieje na świecie kilka rozwiniętych technologii przetwarzania wyższych kwasów tłuszczowych metodą hydrokrakingu, wdrożonych w skali demonstracyjnej lub pełno przemysłowej (tab. 2).

W technologiach tego typu nie bez znaczenia pozostaje także szereg innych, istotnych czynników, przemawiających na korzyść nowoczesnych biopaliw syntetycznych. Chodzi tutaj przede wszystkim o znaczny stopień konwersji surowca (czyli oleju roślinnego). Pozwala to minimalizować ilość produktów odpadowych, z których zresztą znaczna część to po prostu paliwa innego rodzaju (należące do innej frakcji). Nie powstają więc uciążliwe odpady, takie choćby np. jak zanieczyszczony glicerol, formowany podczas produkcji biodiesla „tradycyjną” metodą transestryfikacji. Równie istotny pozostaje tutaj fakt możliwości rolniczego zagospodarowania znacznych ilości nieużytków roślinnych lub też słabych gleb, poprzez wysiew takich roślin jak lnianka, jeśli paliwo miałyby być produkowane z roślin siewnych. Bardziej zaawansowane technologie wymagają hodowli alg lub też mikroalg, a więc niezbędne jest posiadanie odpowiedniej infrastruktury (np. wód geotermalnych) oraz doświadczenia w tego typu przedsięwzięciach.

**Tabela 2. Wdrażane obecnie na świecie technologie produkcji syntetycznych biopaliw płynnych**

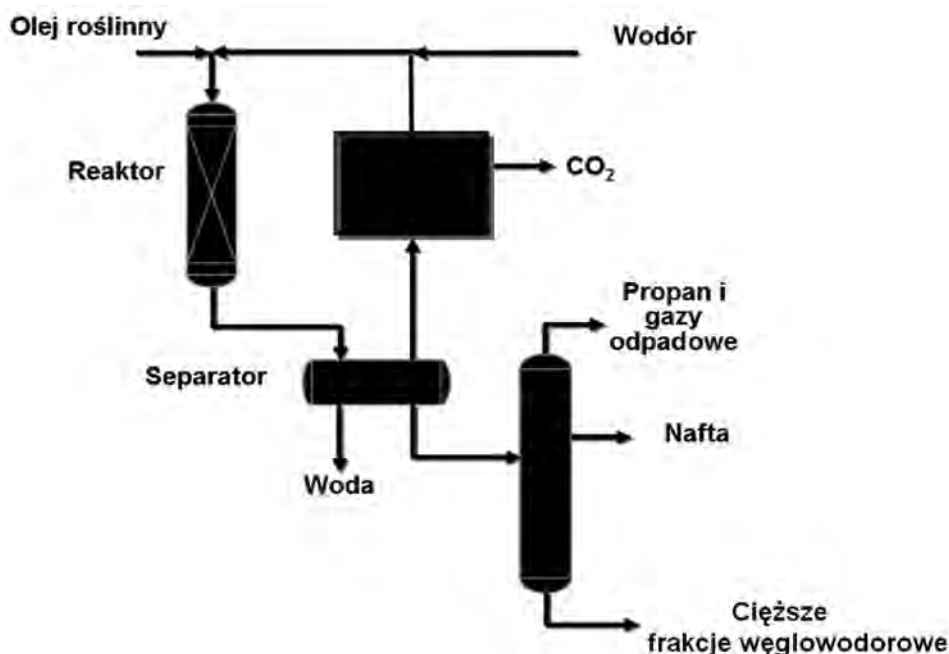
Surowiec	Produkt	Wdrażający	Status
Tłuszcze zwierzęce/oleje roślinne, proces współredakcji z frakcjami naftowymi	Mieszananina węglowodorów o specyfikacji PN-EN-590	ConocoPhillips/ Tyson	Rafineria w Irlandii, produkcja od Grudnia 2006. Możliwość produkcji 175 milionów galonów/rok spodziewana w 2009.
Tłuszcze zwierzęce/oleje roślinne, proces współredakcji z frakcjami naftowymi	Mieszananina węglowodorów o specyfikacji australijskiej	BP	Rafineria w Australii produkująca mieszanki zawierające 5% uzyskanego produktu w oleju napędowym.
Tłuszcze zwierzęce/oleje roślinne	Mieszananina węglowodorów o specyfikacji PN-EN-590	Neste Oil	Pierwsza instalacja (58 MG/R) uruchomiona w Finlandii w maju 2007. Dodatkowo Singapur i Rotterdam.
Tłuszcze zwierzęce/oleje roślinne, proces współredakcji z frakcjami naftowymi	Mieszananina węglowodorów	Petrobras (Brasil, H-Bio Technology)	Komercyjna produkcja w kilku rafineriach w Brazylii od końca 2007.
Tłuszcze zwierzęce	Mieszananina węglowodorów	Dynamic Fuels (Syntroleum/ Tyson)	Komercyjne uruchomienie w skali pilotażowej w 2008, instalacja produkcyjna w 2010.
Oleje roślinne	Mieszananina węglowodorów	UOP LLC	Budowa we Włoszech o pojemności 95 milionów galonów/rok z uruchomieniem w 2009.
Tłuszcze zwierzęce/oleje roślinne	Mieszananina węglowodorów	CANMET Energy Technology Centre	Skala pilotażowa.

W procesie krakingu oraz hydrokrakingu katalitycznego oleju roślinnego, wszystkie rodzaje kwasów tłuszczowych, które stanowią niemal całkowity skład oleju (w postaci trójglicerydów), decydują także o jakości produktu końcowego, a więc biopaliwa. Na poniższym schemacie przedstawiono ideowy przebieg takiego procesu w instalacji konwersji chemicznej olejów do biopaliwa (proces realizowany w UOP LLC) (rys. 4).



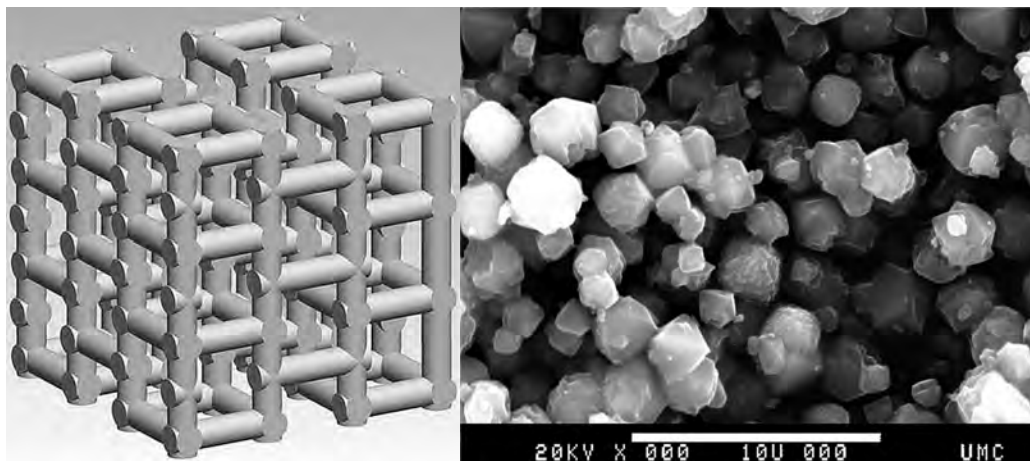
*Rys. 4. Przebieg podstawowych reakcji w procesie hydrokrakingu katalitycznego oleju roślinnego*

Tak więc olej pochodzący z przetworzenia biomasy poddawany jest następnie procesowi dalszej obróbki fizyko-chemicznej (np. hydrokrakingowi katalitycznemu). W wyniku takiego działania oczyszczony wsad olejowy ulega przetworzeniu do frakcji gazowych, ciekłych związków organicznych, wody oraz tzw. pozostałości ciężkich (rys. 5).



*Rys. 5. Ideowa instalacja przetwarzania olejów roślinnych na biopaliwa syntetyczne*

Jako katalizatory powyższego procesu najczęściej wykorzystuje się mikro-porowate zeolity (takie np. jak: HZSM-5 i MCM-41) oraz mikro-mezo-porowate zeolity, ewentualnie, z dodatkową fazą katalityczną, np. platyną (rys. 6).



**Rys. 6. Model mikrostruktury katalizatora zeolitowego wraz z fotografią (wykonana przy użyciu SEM, 5000 x) autentycznego katalizatora zeolitowego, zastosowanego do produkcji biodiesla syntetycznego z oleju sojowego (Mohan, University of Missouri)**

Procesy konwersji fizyko-chemicznej mogą być prowadzone pod ciśnieniem atmosferycznym lub też nieznacznie podwyższonym oraz w podwyższonej temperaturze (rzędu 300 – 500°C). Uzyskana w taki sposób mieszanina ciekłych związków organicznych odpowiada swoim zakresem wrzenia mieszaninie benzyny, nafty oraz oleju napędowego. W praktyce możliwa jest do uzyskania nawet 99% wydajność masowa oraz bardzo dobra kontrola procesu w kierunku promowania jednego z wybranych produktów, np. nafty (Jet A).

## 6. PODSUMOWANIE

Wydaje się oczywistym, że kraje Unii Europejskiej, w tym także Polska potrzebują wdrożenia rozwoju oraz wdrażania do praktyki gospodarczej wysokowydajnych technologii produkcji nowoczesnych biopaliw typu BtL (Biomass to Liquids), będących kluczowymi dla rozwoju gospodarczego kraju. Obserwowany ostatnio wzrost zainteresowania tego rodzaju technologiami potwierdza, że należy aktywnie uczestniczyć w działaniach sektora biopaliwowego oraz lotniczego. Stale rośnie liczba państw posiadających własne systemy produkcyjne, lub wręcz sprzedających licencje na takie technologie produkcyjne. Jest to nie tylko prestiż, ale również rozwój gospodarczy i bezpieczeństwo energetyczne. Na badania związane z produkcją paliw typu BtL państwa „starej” Unii Europejskiej wydają obecnie znaczne kwoty, chcąc tym samym dorównać rynkowi USA. Technologie tego typu są już w trakcie prób przemysłowych oraz eksploatacji w wysokorozwiniętych krajach, których polityka sprowadza się autentycznej dbałości o własne nieodnawialne surowce energetyczne. Nie trzeba raczej szerzej wyjaśniać, jak wielkie znaczenie także dla bezpieczeństwa energetycznego każdego kraju, także takiego jak Polska, mają tego typu technologie.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] European Biofuels Technology Platform: *Strategic Research Agenda 2010 Update*, July 2010.
- [2] K. Biernat, A. Kulczycki: *Kierunki rozwoju rynku biopaliw na tle regulacji Unii Europejskiej*, Przemysł Chemiczny, 88/3, 2009.
- [3] <http://www.solazyme.com>.
- [4] <http://www.uop.com/renewables/10020.html>.
- [5] J. D. Kinder, T. Rahmes: *Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (Bio-SPK)*, Sustainable Biofuels Research & Technology Program, 2009.
- [6] Aerospace Testing International, December 2009.



**ACTUAL NEEDS AND POSSIBILITIES TO PRODUCING BIO-JET FUEL**

***Abstract***

*The paper presents current investigations on the potential of use of biofuels in aviation. The recent actions of EU Commission are also perceived in the paper as the need for the introduction of sustainable biofuels to help reduce dependence on fossil fuels in air transport and reduce GHG emissions by the air industry. Various feedstock and conversion technologies for production of biofuels for aviation are currently being investigated within EU (SWAFEA, ALFA-BIRD and Clean Sky JTI) are described.*

*The authors identify microalgae, as a long-term option for the aviation biofuel production in the local market and a support of its development. As microalgae is certainly a feedstock considered by many future Bio-Jet producers. It seems to offer vast potential as a source of aviation biofuels, however on the more distant horizons of an industry, in which long-term time scales are certainty. Besides, microalgae co-products are utilised at making complex organic compounds like B and C vitamins and beta-carotene that are used as fragrances, flavourings, pigments and supplements. Generally, the research done so far have demonstrated that only a portion of the crude algal oil is suitable for making biodiesel fuel, and most of it can be used to produce gasoline and Bio-Jet like fuels.*