

REDUCING CARBON FOOTPRINT DIRECTION OF THE DEVELOPMENT OF AVIATION FUELS

REDUKCJA EMISJI DWUTLENKU WĘGLA KIERUNKIEM ROZWOJU PALIW LOTNICZYCH

Tomasz Bialecki

Ministerstwo Obrony Narodowej

e-mail: tbialecki@interia.pl

Abstract: *The paper presents the development direction of jet fuel, designated by the reduction of carbon emissions in aviation. This subject is a result of the assumed by the International Civil Aviation Organization target of reduction in CO₂ emissions of 50%. The paper presents also applicability of the second-generation biofuels in aviation and the profitability of the use of such fuel by airlines on a commercial scale.*

Keywords: *CO₂ emissions, GHG emissions, jet biofuels, sustainability*

Streszczenie: *Publikacja przedstawia kierunek rozwoju paliw do silników odrzutowych, wyznaczony przez redukcję emisji dwutlenku węgla w lotnictwie. Tematyka ta jest efektem realizacji założonego przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego celu zmniejszenia o połowę emisji CO₂. Dodatkowo przedstawia możliwości zastosowania drugiej generacji biopaliw w lotnictwie oraz rentowność zastosowania takiego paliwa przez linie lotnicze na skalę komercyjną.*

Słowa kluczowe: *emisja CO₂, emisja gazów cieplarnianych, biopaliwa do silników odrzutowych, zrównoważony rozwój*

1. Wstęp

Wzrost świadomości ludzkości na skutki powodowane swoją działalnością, zaowocował promowaniem idei zrównoważonego rozwoju. Polega ona na stałym postępie gospodarczym i społecznym wraz z zachowaniem równowagi przyrodniczej. Jednym z elementów zrównoważonego rozwoju jest walka z emisją CO₂, która dotyczy stałych (kominy) oraz mobilnych (środki transportu) wytworników. W praktyce oznacza to wprowadzenie i zwiększanie wykorzystania odnawialnych źródeł energii (słońca, wiatru, ziemi, wody i biomasy). Powyższe powoduje eliminowanie procesów spalania paliw kopalnianych i zastępowanie ich alternatywnymi źródłami. Transport drogowy oraz przemysł już od dłuższego czasu korzystają z ekologicznych źródeł, czego prostym przykładem może być silnik hybrydowy, wybierający optymalny napęd (elektryczny lub spalinowy) w zależności od potrzeb.

Transport lotniczy jest jedną z najsilniej rozwijających się gałęzi transportu, odpowiedzialnym za 2% wytwarzanej przez człowieka światowej emisji dwutlenku węgla [7], więc również tutaj zaczęto szukać możliwości zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. Pomimo wieloletnich prac nad ulepszaniem konstrukcji statków powietrznych, stasowaniu lżejszych materiałów, poprawie aerodynamiki oraz wydajności silników statki powietrzne nadal używają tego samego paliwa. W związku z brakiem możliwości skonstruowania statku powietrznego do lotów komercyjnych, posiadającego inne źródło zasilania niż produkt węglowodorowy, zmniejszenie emisji dwutlenku węgla ukierunkowano na paliwa pochodzące z odnawialnych źródeł.

Dodatkowo cele postawione przez Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Powietrznych (International Air Transport Association, IATA) tj. neutralny wzrost CO₂ w lotnictwie od 2020 r. (carbon – neutral growth, CNG 2020) oraz zmniejszenie o połowę emisji CO₂ w lotnictwie do 2050 r. (w porównaniu do 2005 r.) determinują kierunki rozwoju paliw lotniczych.

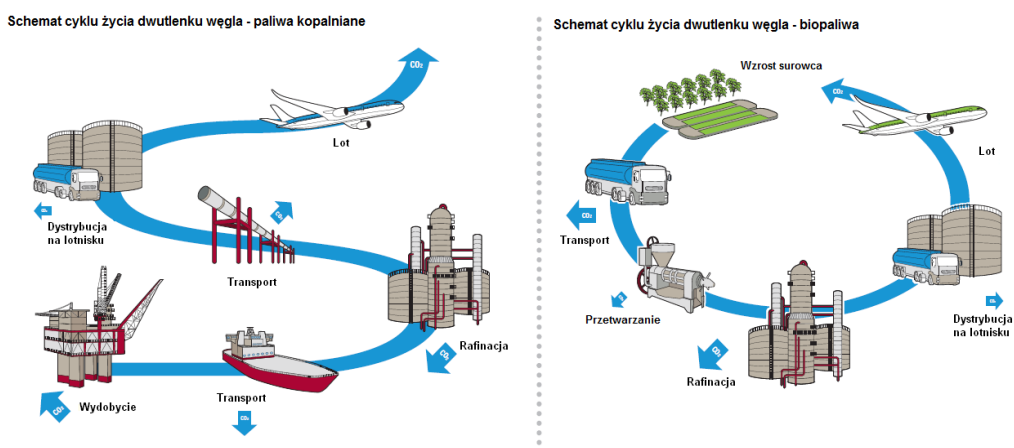
2. Ograniczanie emisji dwutlenku węgla

Włączenie przez Unię Europejską sektora lotniczego do systemu handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) spowodowało zwiększenie zainteresowania w kierunku paliw alternatywnych. Zasada systemu polega na wnoszeniu opłat przez przewoźnika za wyemitowany ponad darmowy przydział (przyznawany na zasadzie historycznego zużycia paliwa przez linię i co roku zmniejszany) dwutlenek węgla [6]. Co więcej Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (International Civil Aviation Organization, ICAO), odpowiedzialna za opracowywanie i wdrażanie międzynarodowych przepisów regulujących bezpieczeństwo ruchu lotniczego oraz ekonomię transportu lotniczego, podjęła w 2013 r. decyzję o opracowaniu globalnego porozumienia w sprawie ograniczenia emisji w lotnictwie, opartego na handlu zezwoleniami na emisję gazów cieplarnianych.

Niemniej jednak przemysł lotniczy zrobił już bardzo wiele w kierunku ochrony środowiska. Od początku powstania lotnictwa komercyjnego osiągnięto znaczne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń i hałasu, tj. redukcję emisji CO₂ o 70% oraz NO_x o 90%, a także hałasu o 75% [1]. Stało się tak za sprawą większej wydajności silników, zastosowaniu materiałów kompozytowych czy optymalizacji zarządzania ruchem lotniczym. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że silniki nowoczesnych statków powietrznych zużywają około 3 l/100 km na jednego pasażera [2], co można przyrównać do zużycia paliw przez samochody osobowe, natomiast zawartość materiałów kompozytowych, z których zbudowane są statki powietrzne dochodzi do 25%.

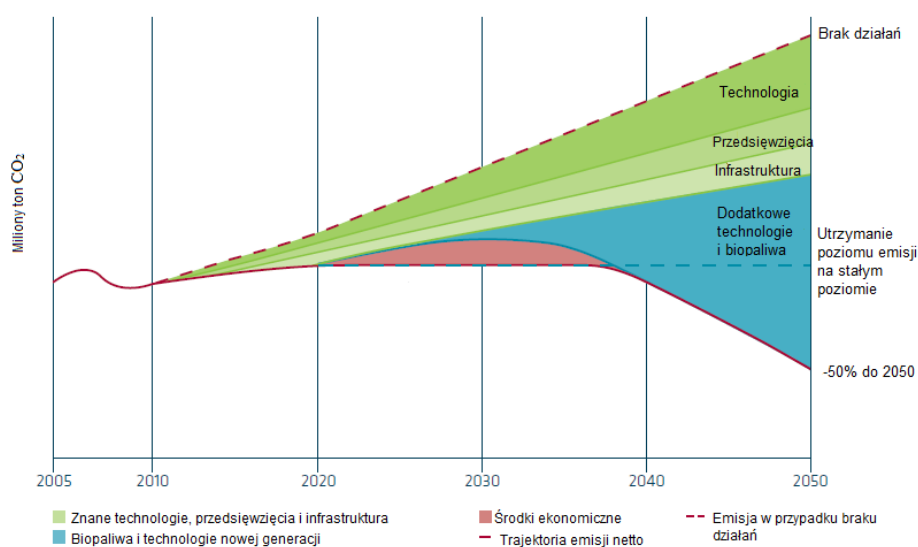
Paliwa pochodzące ze źródeł odnawialnych (biopaliwa) prowadzą do redukcji emisji CO₂ w całym cyklu ich życia, stąd wywodzi się określenie, że zostały wytworzone zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Rośliny, poprzez proces fotosyntezy, redukują dwutlenek węgla do cukrów prostych w obecności energii świetlnej. Produktem ubocznym procesu jest tlen, który jest wydzielany do środowiska. W momencie spalania paliw kopalnianych węgiel (który jest podstawowym budulcem tego surowca) przedostaje się do atmosfery w postaci CO₂. Dwutlenek węgla absorbowany przez rośliny podczas wzrostu biomasy jest w przybliżeniu równoważny ilości dwutlenku węgla wytwarzanego podczas spalania paliwa w silniku – które powraca do atmosfery. Uwzględniając emisję dwutlenku węgla wytworzoną podczas całego łańcucha (z upraw roślin, magazynowania, transportu oraz procesów produkcji), emisja tego związku jest zredukowana w ponad 80% [3], co jest wielkością nieporównywalną z paliwami kopalnianymi. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że w ramach europejskiego systemu EU ETS, stosowanie biopaliw w transporcie oraz przemyśle powoduje przyjęcie zerowego bilansu emisji CO₂.

Schemat cyklu życia dwutlenku węgla w przypadku paliw ropopochodnych oraz pochodzących ze źródeł odnawialnych przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat cyklu życia CO₂ paliw kopalnych i biopaliw [3].

Przedstawiona na rys. 2 prognoza uwidacznia świadomość branży lotniczej w zakresie podjęcia niezbędnych czynności, aby sprostać wyzwaniu redukcji emisji gazów cieplarnianych. Największe efekty można uzyskać poprzez wprowadzenie paliw lotniczych, wytwarzanych ze źródeł odnawialnych. Jest to istotny element i ważny krok do ograniczenia wpływu lotnictwa na klimat. Aby osiągnąć wysoki strop (linii lotniczych, producentów silników i statków powietrznych, producentów oraz dostawców paliw), w tym organizacji rządowych pracujących wspólnie na rzecz ulepszenia technologii, bardziej wydajnych operacji lotniczych, poprawę infrastruktury i odpowiedniego programu handlu zezwoleniami na emisję gazów cieplarnianych. Proces zmniejszania emisji gazów cieplarnianych w lotnictwie został już zapoczątkowany i należy go kontynuować.



Rys. 2. Zobowiązania przemysłu lotniczego do zmniejszenia emisji CO₂ [8].

3. Druga generacja biopaliw

Rozwój biopaliw, nazywanych obecnie biopaliwami pierwszej generacji, otrzymywanych z roślin jadalnych, takich jak rzepak, kukurydza czy trzcina cukrowa wywoływał coraz głośniejsze dyskusje etyczne, na temat używania tychże produktów do celów innych niż konsumpcyjne. Dodatkowo powstało wiele pytań dotyczących zmniejszania zasobów obszarów leśnych i wody pitnej, zmian w sposobie użytkowania gruntów rolnych, a także wpływu na ceny żywności oraz używanie pestycydów i nawozów.

Wszystkie pytania i wątpliwości rozwiewają biopaliwa drugiej generacji, które pochodzą z upraw nie stanowiących konkurencji dla żywności (w tym pasz dla zwierząt) oraz mogą być masowo produkowane przy niskich kosztach. Biopaliwa te są wytwarzane z szybko rosnących roślin, które wymagają minimalnej ilości

świeżej wody. Kolejnymi zaletami przemawiającymi nad stosowaniem tych surowców są fakty, że mogą one wzrastać na marginalnych terenach oraz nie wywierają zagrożenia dla różnorodności biologicznej. Ponadto mogą zaoferować duże ilości paliw dla lotnictwa w stabilnych cenach, a co najważniejsze uprawa ich skutkować będzie mniejszą emisją dwutlenku węgla.

Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że do procesu produkcji paliw lotniczych ze źródeł odnawialnych używane są tłuszcze zwierzęce, odpady komunalne z gospodarstw domowych oraz przemysłu leśnego, jak również posmażalniczy olej roślinny. Popyt na komponenty do paliw odnawialnych może zapobiec składowaniu kilkuset milionów ton odpadów rocznie.

Najbardziej obiecującym surowcem do wytwarzania dużych ilości biopaliw lotniczych są algi oraz mikroalgi (zaliczane w zasadzie do biopaliw trzeciej generacji). Te mikroskopijne rośliny mogą być uprawiane w słonej lub zanieczyszczonej wodzie (którą przy okazji oczyszczają), na pustyniach oraz innych marginalnych terenach (lub specjalnych komorach). Do wzrostu alg potrzebują dwutlenku węgla, a pochłaniając go uwalniają tlen. Doskonałym źródłem dwutlenku węgla może być np. działająca elektrownia konwencjonalna – po spaleniu paliwa dwutlenek węgla trafia do zbiornika z algami, gdzie służy im do wzrostu. Jedną z największych zalet glonów do produkcji oleju jest prędkość, przy której wsad może wzrastać. Szacuje się, że glony produkują do 15 razy więcej oleju na kilometr kwadratowy niż inne uprawy biopaliw.

Europa powoli przekonuje się do biopaliw drugiej generacji, czego przykładem jest uchwała Parlamentu Europejskiego (z września 2013 r.), która stanowi, że jedynie 5,5% w obowiązkowym udziale biokomponentów stanowić mogą biopaliwa pierwszej generacji, na resztę mają składać się biokomponenty wytwarzane z odpadów, glonów czy celulozy.

4. Wykorzystanie biopaliw w lotnictwie

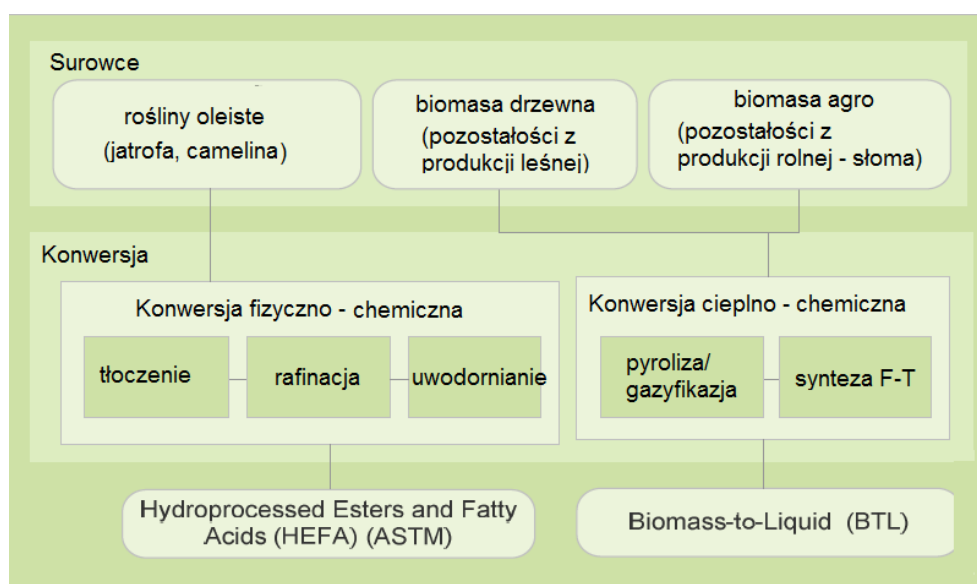
Na chwilę obecną paliwo węglowodorowe jest jedyną opcją dla lotnictwa. Biopaliwa pierwszej generacji, pomimo chęci zastąpienia paliw kopalnianych nie zdołały podołać wysokim standardom, jakie są stawiane paliwom do zasilania statków powietrznych. Dlatego druga generacja paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych musi posiadać te same cechy i właściwości co paliwo tradycyjne. Będzie to dawało możliwość bezpośredniego mieszania ich z obecnie używanym paliwem przez komercyjne linie lotnicze, powszechnie znanym jako Jet A(w USA) i Jet A – 1, oraz nadawało kierunek dążenia do całkowitego jego zastąpienia. Co jest niezwykle istotne ze względu na funkcje jakie spełnia w układzie statku powietrznego, tj. środka smarowego, płynu hydraulicznego i chłodzącego.

Lotnictwo zawsze za priorytet stawiało bezpieczeństwo. Z tego względu paliwa lotnicze muszą spełniać wymagania jakościowe postawione przez specyfikację ASTM D 1655 (dla USA i większości krajów) oraz UK DEF STAN 91 – 91 (dla krajów europejskich). Niemniej jednak wraz z rozwojem paliw ze źródeł

odnawialnych zostały zatwierdzone specyfikacje ASTM D 7566 [5] (oraz DEF STAN 91-91, Issue 7), aby dopuścić do użycia paliwa do silników odrzutowych produkowanych z innych surowców niż ropa naftowa. Powyższa specyfikacja pozwala na użycie paliw otrzymywanych w niżej wymienionych procesach technologicznych:

- Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA), polegający na uwodornieniu estrów i kwasów tłuszczowych. Jedną z głównych zalet tego procesu technologicznego jest możliwość zintegrowania go w rafinerii ropy naftowej, unikając konieczności opracowania kolejnego łańcucha w postaci specjalnego zakładu produkcyjnego. Paliwo wytworzone w tym procesie znane jest również jako Hydrotreated Renewable Jet (HRJ). W chwili obecnej technologia ta realizowana jest w skali przemysłowej. Przykłady instalacji: Porvoo w Finlandii 380 000 t/rok, rozruch 2007 i 2009 r.; Singapur 800 000 t/rok, rozruch 2010 r.; Rotterdam 800 000 t/rok, rozruch 2011 r.
- Biomass to liquid (BtL). Proces polega na rozkładzie surowca przez zgazowanie, a następnie przekształcanie gazu w płynne biopaliwo przy wykorzystaniu procesu Fischera – Tropsha [3]. Zaletą procesu jest możliwość wytworzenia produktu finalnego wolnego od związków siarki i azotu.

Możliwości otrzymywania biopaliw procesami HEFA i BtL przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Opcje biopaliwa dla lotnictwa [10].

Powyższe specyfikacje pozwalają mieszanie biopaliw lotniczych w stosunku do 50% zawartości z konwencjonalnym paliwem. Paliwa alternatywne wytwarzane w powyższych procesach nazywane są paliwem „drop-in”, co oznacza

substytut paliwa kopalnego do silników odrzutowych, który może być używany zamiennie oraz mieszany z paliwami kopalnianymi. Dodatkowo jakość tych paliw umożliwia stasowanie ich w silnikach, układach paliwowych statków powietrznych oraz urządzeniach dystrybucyjnych sieci dostaw bez żadnych adaptacji. Ponadto wiele procesów jest w trakcie oceny i zatwierdzania przez American Society for Testing and Materials (ASTM).

Potwierdzeniem spełnienia stawianych kryteriów paliwom ze źródeł odnawialnych są komercyjne loty wykonywane przez linie. Lufthansa przez sześć miesięcy na trasie Hamburg – Frankfurt – Hamburg wykonywała transport pasażerów (zgodnie z grafikiem lotów), przy czym jeden silnik zasilany był biopaliwem NExBTL firmy Nestle (mieszanina paliwa konwencjonalnego z biopaliwem 50/50%), natomiast drugi paliwem Jet A – 1. Po wykonanej próbie nie stwierdzono różnic w zużyciu elementów pomiędzy silnikami.

5. Aspekt ekonomiczny

Koszty paliw stanowią rosnącą część kosztów operacyjnych linii lotniczych. W 2011 r. wynosiły one około 178 mln USD, co stanowi 30% kosztów operacyjnych, przy czym w porównaniu z 2010 r. odnotowano wzrost o 20% [10]. Wzrost cen jest zarazem głównym bodźcem dla przemysłu lotniczego do oszczędności paliwa. Dodatkowo wahania ceny baryłki ropy naftowej na światowych giełdach nie pozostawiają złudzeń co do prognozy zysku oraz planowania kosztów przez linie lotnicze.

W chwili obecnej ekonomia nie przemawia nad zastosowaniem biopaliw przez linie lotnicze. Badania szacunkowe produkcji biopaliw odpowiednich dla transportu lotniczego określają koszt tego produktu na poziomie 100% większym niż cena paliw pochodzących z ropy naftowej [4].

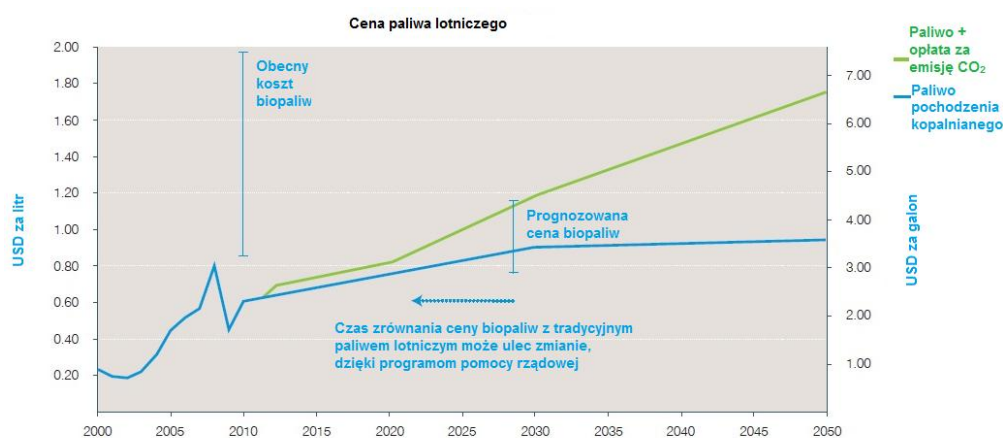
Szacuje się, że aż do 85% ceny kosztów produkcji biopaliw to obecnie koszty surowca. Niemniej jednak większość firm specjalizuje się tylko w jednym segmencie łańcucha dostaw biopaliw, który można następująco scharakteryzować: „*uprawa i zbiory surowca – transport do rafinerii – tłoczenie oraz poddanie procesom rafinacji otrzymanego produktu – produkcja (mieszanie z paliwem konwencjonalnym) – dystrybucja*”. JATRO AG i BioJet zamierzają kontrolować cały proces produkcji [3]. Strategia ta jest odpowiedzią na wysoki odsetek kosztu surowca w końcowej cenie paliwa. Kontrolowanie produkcji surowca spowoduje zminimalizowanie kosztów oraz nieprzewidywalnych zmian cen, które mogły być manipulowane przez dostawców.

Istnieje mnogość różnych technologii produkcji biopaliw, ale wiele jeszcze nie zostało przetestowanych na skalę handlową, a skala jest jednym z kluczy do obniżenia kosztów jednostkowych produkcji. Wprowadzanie do procesów odpadów jako surowca, również przyczyni się do zmniejszenia ceny produktu finalnego. Ponadto światowe zasoby ropy naftowej, pomimo prób eksploatacji niezagospodarowanych dotąd obszarów (np. Arktyki) zmniejszają się, co

Reducing carbon footprint direction of the development of aviation fuels
Redukcja emisji dwutlenku węgla kierunkiem rozwoju paliw lotniczych

w przyszłości przełoży się na wzrost cen tego surowca (eksploatacja na znacznych głębokościach lub złożonych miejscach).

Aktualna wielkość kilkunastu euro za pozwolenie do emisji jednej tony CO₂ będzie skutkować zwiększeniem rzędu 2 – 3% ceny paliw lotniczych pochodzących z ropy naftowej, co tylko nieznacznie zminimalizuje różnicę do ceny biopaliw. Niemniej jednak ceny pozwoleń na emisję są uzależnione od dostępności tanich możliwości redukcji emisji w niektórych sektorach przemysłu. Z czasem to jednak zaniknie, a do 2050 r. oczekuje się, że koszt opłaty za emisję spalin podwoi ceny paliw kopalnianych (rys. 4).



Rys. 4. Prognozowana cena paliwa lotniczego [4].

6. Wnioski

Przemysł lotniczy jest świadomy, że rozwój paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych jest jednym z głównych kierunków zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. Dopuszczenie do użycia mieszaniny zawierającej 50% biopaliw w paliwie zasilającym statki powietrzne jest dopiero małym krokiem. Wykorzystanie nowego paliwa może nastąpić, gdy będzie już ono dostępne w komercyjnych ilościach. Natomiast docelowo sektor będzie starał się zwiększać zawartość biopaliw w mieszaninie zasilającej statki powietrznej, aż do całkowitego wyparcia paliw kopalnianych.

Nim to się jednak stanie, produkcja biopaliw powinna być opłacalna. Wsparcie prywatnego kapitału na obiecujące technologie umożliwi dalszy rozwój i innowacje. Ale wysokie ryzyko jakie niosą za sobą inwestycje nie zostaną podjęte bez cienia szansy na zysk w tej dziedzinie. W związku z powyższym niezbędna jest zachęta ze strony rządów państw, np. w postaci zmniejszenia akcyzy lub podatku na paliwa pochodzące ze źródeł odnawialnych, żeby przyspieszyć skalę rozwoju tej młodej branży.

Dodatkowo dalszy rozwój i badania powinny także zostać ukierunkowane na ważną kwestię, jaką jest przełożenie na eksploatację długofalowego stosowania biopaliw w silnikach statków powietrznych. Każda zmiana składu węglowodorowego może spowodować zmiany, mające znaczący wpływ na parametry pracy oraz zużycie nowoczesnych silników. Ta niewiadoma stwarza szereg pytań i wątpliwości. Istotnym jest więc opracowanie mieszaniny węglowodorowej (uszlachetnionej dodatkami) która będzie wykazywała najlepsze parametry (optymalny skład spalin, zużycie paliwa, rozkład temperatury i ciśnienia w komorze spalania, itp.) celem stworzenia najefektywniejszego wzorca do produkcji paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych.

7. Literatura

- [1] Airbus, Sustainable Aviation Environmental Innovations, czerwiec 2013.
- [2] Airbus, The future by airbus – future energy sources, video gallery, <http://videos.airbus.com/video/iLyROoafza6k.html>, dostęp czerwiec 2011.
- [3] Air Transport Action Group, Beginner's Guide to Aviation Biofuels, wrzesień 2011.
- [4] Air Transport Action Group, Powering future of flight. The six easy steps to growing a viable aviation biofuels industry, kwiecień 2011.
- [5] ASTM International, Aviation Fuel Standard Takes Flight D7566 Revision Adds Bioderived Components, http://www.astm.org/SNEWS/SO_2011/enright_so11.html, dostęp marzec 2012.
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/101/WE zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu uwzględnienia działalności lotniczej w systemie handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie.
- [7] Government Accountability Office, Aviation and Climate Change, <http://www.gao.gov/new.items/d09554.pdf>, dostęp sierpień 2012.
- [8] Reducing emissions from aviation through carbon neutral growth from 2020, Working paper developed for the 38th ICAO Assembly September/October 2013, dostęp lipiec 2013.
- [9] Technical paper, 2 million tons per year: A performing biofuels supply chain for EU aviation, sierpień 2013 (aktualizacja).
- [10] The potential role of biofuels in commercial air transport – biojetfuel, IEA Bioenergy Task 40 Sustainable International Bioenergy Trade, dostęp wrzesień 2012.



***Mgr Tomasz Białecki**, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej, od 2010 r. Szef Służby Materiałów Pędnych i Smarów w jednostce wojskowej na lotnisku Warszawa – Okęcie.*

