

Wpłynęło 27.06.2012 r.
Zrecenzowano 26.07.2012 r.
Zaakceptowano 15.08.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Biodiesel w UE i Polsce – obecne uwarunkowania i perspektywy

Andrzej ROSZKOWSKI^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie

Streszczenie

W pracy przedstawiono obecne i wzrastające znaczenie paliw do silników wysokoprężnych w bilansach paliw transportowych (płynnych) UE oraz opisano rolę i udział biodiesla wytwarzanego z biomasy. Omówiono wprowadzane obecnie zmiany w obowiązujących przepisach prawnych EU i USA, istotnie ograniczające produkcję biodiesla z użyciem dotychczasowych technologii. Opisano wyniki analiz wpływu zmian obszarowych (ILUC) i środowiskowych na uprawy roślinne, będące dotychczas podstawowymi surowcami do produkcji biodiesla metodami transestryfikacji. Omówiono i oceniono przydatność obecnych surowców do wytwarzania biodiesla z uwzględnieniem trzech generacji substratów. Wskazano na wpływ wprowadzanych przepisów na utrudnienia handlowe tak biodieslem, jak i surowcami oraz substratami do jego wytwarzania. Opisano ograniczenia w wykorzystaniu innych pożądaných substratów – tłuszczów zwierzęcych i mikroalg – oraz utrudnienia wynikające z odmiennych interpretacji przepisów o zastosowaniu osadów ściekowych jako biomasy. Przedstawiono ocenę stanu i perspektyw dotychczasowych i przyszłościowych technologii produkcji biodiesla, ze szczególnym uwzględnieniem rzepaku, jako surowca o dotychczas dominującym znaczeniu w UE.

Słowa kluczowe: biodiesel, rzepak, olej palmowy, generacje substratów, transestryfikacja, BtL, HVO, fermentacja beztlenowa, właściwości paliw, osady ściekowe

Wstęp

Według dostępnych danych prognostycznych zapotrzebowanie krajów UE na energię w ciągu najbliższych 20 lat zwiększy się o 15–20%. W ogólnym zużyciu energii w UE największy udział, wynoszący ok. 40%, mają paliwa transportowe.



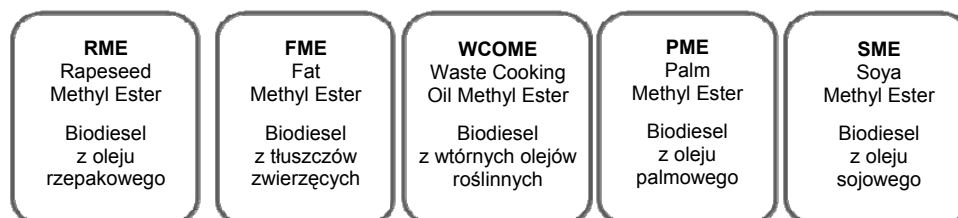
W ich strukturze paliwa do silników wysokoprężnych w UE stanowią 75–80%, a w USA tylko ok. 25% z perspektywą wzrostu do 40–45% około 2020 r. [Eurostat 2010; JANICKI 2011; MITTELBACH 2010; ROSZKOWSKI 2012]. W UE ilościowy udział samochodów z silnikami wysokoprężnymi w latach 2006–2011 wzrósł z ok. 51 do ok. 56%, natomiast w USA zmalał z 3,4 do 2,6% [MITTELBACH 2010]. W porównaniu z ON, biodiesel wykazuje niższe wskaźniki emisji polutantów (oprócz NO_x) i PM oraz siarki i wyższą (lepszą) biodegradowalność [YUSUF i in. 2011]. Do ujemnych cech biodiesla zalicza się wzrost lepkości w czasie przechowywania wskutek zachodzących procesów polimeryzacji i utleniania, wahania cech w zależności od gatunków (rodzaju) rośliny i sposobów pozyskiwania oleju, przyspieszone zużycie elementów aparatury wtryskowej silników, tworzenie osadów węglowych [DEMIRBAS 2011; SCHUCK 2011; SINGH-NIGAM, SINGH 2011].

Celem pracy jest dokonanie przeglądu aktualnych problemów wytwarzania biodiesla, stanowiącego najbardziej istotną część paliw transportowych w UE. Przeprowadzono analizę obecnych technologii wytwarzania biodiesla z jednoczesnym zachowaniem dodatniej efektywności energetycznej i opłacalności, w powiązaniu z oceną metod pozyskiwania substratów, spełniających wymagania ochrony środowiska. Oceniono przydatność nowych metod produkcji biodiesla z surowców zaliczanych do II generacji, w tym zwłaszcza technologie BtL i HVO.

W pracy wykorzystano opracowania i rezultaty badań opublikowanych w literaturze przedmiotu i przedstawionych w bibliografii oraz wyniki własnych badań studyjnych.

Obecne i perspektywiczne technologie wytwarzania biodiesla

Biodiesel jest paliwem do silników wysokoprężnych, określanym ogólnym pojęciem FAME (Fatty Acid Methyl Esters – estry metylowe kwasów tłuszczowych) lub FAEE (Fatty Acid Ethylesters – estry etylowe kwasów tłuszczowych) (rys. 1). Jest wytwarzany najczęściej z surowców pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego (technologie estryfikacji). Cechy i właściwości biodiesla (jako paliw), wytwarzanych z udziałem metanolu (FAME) bądź etanolu (FAEE), nie różnią się. Zastosowanie metanolu umożliwia uzyskanie korzystniejszych wskaźników ekonomicznych wytwarzania (tańszy katalizator), dzięki czemu technologia ta jest bardziej rozpowszechniona. W obu technologiach (oprócz pozostałości z wyciążania olejów i produktu dodatkowego w postaci gliceryny) powstają zasadowe wody ściekowe, które muszą być uzdatniane przed utylizacją [PICAZO-ESPINOZA i in. 2010; SINGH-NIGAM, SINGH 2011]. Inne technologie i metody wytwarzania paliw do silników wysokoprężnych (termochemiczne, biochemiczne i in.) z biomasy i surowców pochodnych o zbliżonych właściwościach są przedmiotem odrębnych opracowań [DEMIRBAS 2011; MITTELBACH 2010; SINGH-NIGAM, SINGH 2011; YUSUF i in. 2011]. Wytwarzanie biodiesla z użyciem metod pirolizy biomasy (upłynnienie – gaz syntezowy, Syngaz) czy procesów Fischera-Tropscha (zgazowanie biomasy), w wyniku których otrzymuje się olej pirolityczny (BtL – Biomass to Liquid), niekiedy uważa się za obecnie przestarzałe technologicznie [PICAZO-ESPINOZA i in. 2010]. Niektórzy autorzy [HUNTER 2012] zwracają uwagę,



Źródło: opracowanie własne na podstawie: SARIA [2006].
Source: own elaboration based on SARIA [2006].

Rys. 1. Podstawowe rodzaje substratów do wytwarzania biodiesla
Fig. 1. Basic kinds of substrates to biodiesel production

że spodziewane zwiększenie dostaw łupkowego gazu ziemnego może usunąć te zastrzeżenia, wynikające głównie z dużych nakładów energii na procesy pirolityczne. Oleje pirolityczne, uważane za potencjalny, uniwersalny produkt z biomasy jako surowca do przetwarzania na biodiesel, są mieszaniną karbonyli, karboksyli, fenoplastów i wody, o kwaśnym odczynie i silnych właściwościach żrących. Właściwości BtL można ulepszyć w dodatkowych procesach uwodornienia [DEMIRBAS 2011]. Uwodornienie zmienia konwencjonalne estry różnorodnych kwasów tłuszczowych w mieszaninę długiego łańcucha węglowodorów [SINGH-NIGAM, SINGH 2011]. Biodiesel można także wytwarzać z olejów roślinnych poddanych wstępnym procesom hydrolizy, a następnie pirolizie w temperaturze 250°C [AgriforEnergy 2012; WANG i in. 2012]. Wszystkie, już stosowane w praktyce bądź będące w fazach aplikacji, dotychczasowe technologie wytwarzania biodiesla nie odpowiadają obecnym wymaganiom ochrony środowiska. Podobną opinię mają obecne metody dostosowywania surowego oleju rzepakowego (PVO, SVO) do wymaganych standardów dla paliw silników wysoko- obrotowych [AgriforEnergy 2012].

Ograniczenia dla substratów biodiesla

Udział paliw transportowych wytwarzanych ze źródeł odnawialnych obecnie w UE szacowany jest na 5–6% ogólnego zużycia. Z kolei w strukturze kosztów wytwarzania biodiesla substraty z olejów roślinnych stanowią 75–80% [DEMIRBAS 2011]. Pomimo zauważalnego wzrostu produkcji paliw transportowych z biomasy, europejskie założenia ogólnego ograniczenia emisji GHG w ciągu ostatnich 10–15 lat nie zostały wykonane [CAPROS i in. 2010]. Dlatego organy UE w 2009 r. przyjęły dyrektywę RED – Renewable Energy Directive [Dyrektywa... 2009a], wskazującą obligatoryjne cele ilościowe zastosowania (wykorzystania) energii odnawialnej z zachowaniem „równowagi środowiskowej”, oraz dyrektywę FQD – Fuel Quality Directive [Dyrektywa... 2009b], ustalającą warunki i wymogi, które muszą być zachowane w celu otrzymania i utrzymania cech paliw odnawialnych (ograniczenia obszarowe w celu pozyskiwania substratów do wytwarzania biopaliw, procedury zaliczania wytworzonych paliw do biopaliw w zależności od ich źródła pochodzenia (odpady i pozostałości, niespożywczy materiał celulozowy, lignoceluloza, minima ograniczenia emisji GHG, wymóg stoso-

walności procedur LCA – Life Cycle Assessment). W Polsce do września 2012 r. warunki te nie zostały ujęte w obowiązujące normy prawne [Ministerstwo Gospodarki 2012]. Schemat obowiązujących przepisów UE przedstawiono na rysunku 2. Ograniczenia dla substratów do wytwarzania biodiesla będą obowiązywać od kwietnia 2013 r. Ustalone kryteria wpływają na ocenę i dopuszczalność importu biopaliw (w tym i biodiesla), ze szczególnym uwzględnieniem substytutów w postaci olejów palmowego i sojowego, dla których obowiązuje wymóg poświadczenia pochodzenia od producenta. Wprowadzane procedury będą skutkować pożądanym wzrostem zapotrzebowania na wtórne oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce, dlatego efekty ich zastosowania, jako substytutów do wytwarzania biodiesla, zgodnie z przepisami unijnymi, będą liczone podwójnie.

<p>Minima ograniczenia emisji GHG Minima of GHG emission limitation 35% – 2009 r. 50% – 2017 r. 60% – 2018 r. Uznawane tylko przy bezpośrednim użytkowaniu gruntów (bez współużytkowania) Acknowledged at direct land use only (without joint use) Metodologia oceny: LCA Methodology of LCA assessment</p>	<p>Bez surowców z obszarów o dużej bioróżnorodności Without raw materials from area of high biodiversity Lasy pierwotne, obszary gatunków rodzimych Primary forests, areas of native species Obszary chronione Protected areas Obszary o dużej bioróżnorodności Areas of the high biodiversity</p>	<p>Bez surowców z obszarów o dużych zasobach węgla Without raw materials from areas of large coal resources Tereny podmokłe, torfowiska, tereny kontynuacji zalesień (mniej niż 5 m) Wetlands, peat bogs, terrains of continued afforestation (less than 5 m) Dopuszcza się w warunkach wzrostu zawartości C Permitted at increasing C content Nie obowiązuje w przypadku odwołania ochrony przed 2008 r. Not obligatory in case of protection cancelled before 2008</p>
---	---	---

Źródło: opracowanie własne na podstawie: MITTELBACH [2010].
 Source: own elaboration based on MITTELBACH [2010].

Rys. 2. Zestawienie wymagań dyrektywy 2009/28/WE dotyczącej ochrony środowiska i jego zasobów
 Fig. 2. Specification of 2009/28/WE instruction requirements concerning protection of the environment and its resources

Z surowców typu FAME, tak w warunkach UE, jak i w Polsce, największe znaczenie ma olej rzepakowy. Olej ten (ok. 70% w UE i ok. 50% w Polsce) jest przetwarzany na biodiesel. Wtórne oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce w UE stanowią tylko ok. 7% surowca. Olej sojowy (ok. 15% w UE) ma większe znaczenie w USA, jako głównego producenta soi, ale w tym kraju paliwa typu dieslowskiego stanowią tylko ok. 25% ogólnego zużycia paliw transportowych [DILTZ i in. 2011; GAIN 2011; IEA 2011]. Analiza tendencji produkcyjnych wskazuje, że łączna produkcja olejów roślinnych, wynosząca na świecie ok. 150 Mt, będzie wykazywała średni roczny wzrost o ok. 4%. Największy wzrost podaży przewidywany jest dla oleju palmowego (5%), z jednoczesnym zmniejszeniem podaży oleju

z rzepaku o 1,4% [IERiGŻ 2011]. Ceny olejów roślinnych mają wykazywać tendencje wzrostowe. Samowystarczalność UE w produkcji rzepaku określana jest na 92%, z tendencją spadkową do 85% [IERiGŻ 2011]. Zużycie biodiesla w UE w 2011 r. wyniosło ok. 11 Mt, z produkcją własną ok. 8 Mt i możliwościami produkcyjnymi szacowanymi na 16 Mt.

W Polsce w 2010 r. wyprodukowano ok. 0,4 Mt biodiesla, co tylko w 40% wyczerpywało krajowe zdolności produkcyjne, ale całkowita ilość zużytych estrów wraz z importem wyniosła ok. 0,9 Mt [GZYRA 2011]. Taki stan wynikał ze stagnacji cen, spowodowanych konkurencją biodiesla na rynkach międzynarodowych [GAIN 2011; MITTELBACH 2010]. Obecnie udział biodiesla w ogólnym zużyciu paliw transportowych na świecie stanowi tylko 0,25%, a produkcja UE to ok. 2/3 produkcji światowej. Współczesne substraty do wytwarzania biodiesla obejmują trzy generacje przedstawione na rysunku 3.

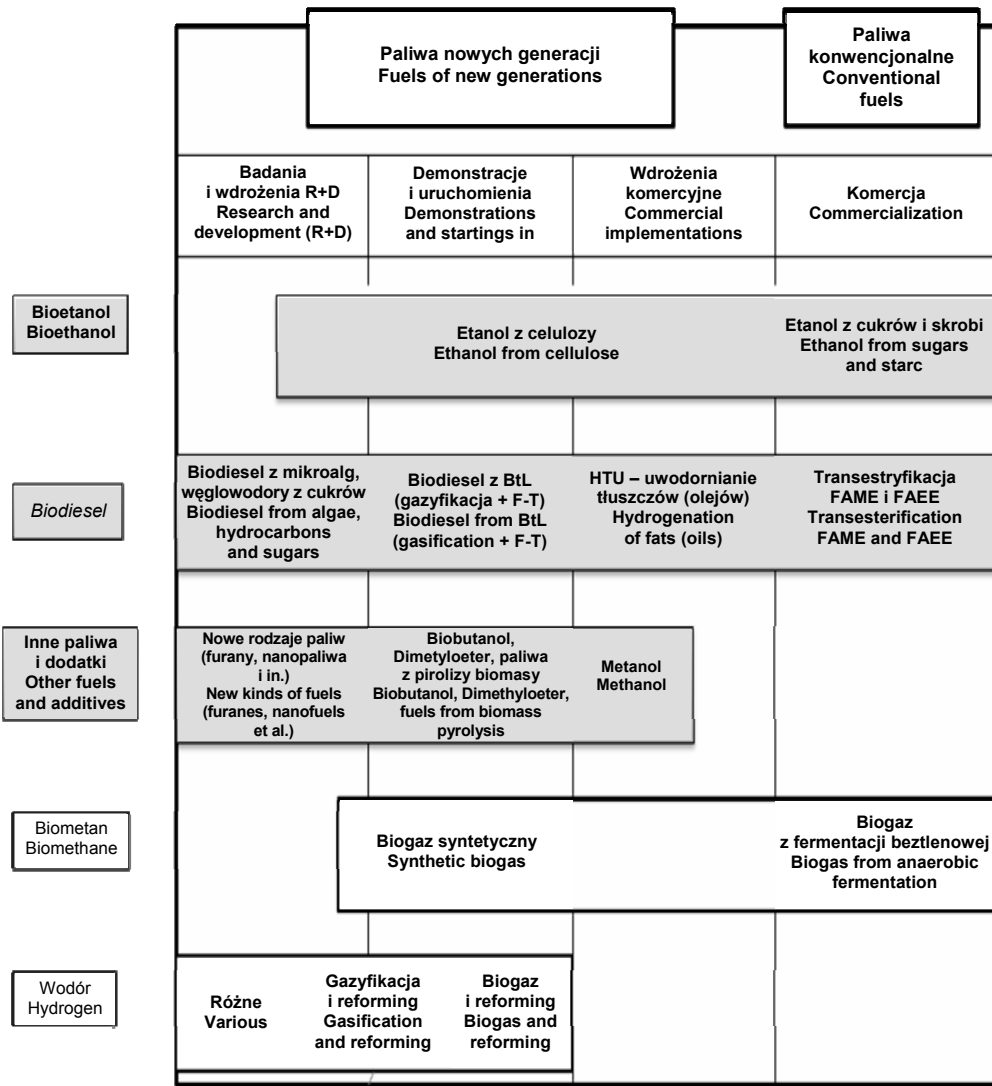
I generacja I generation	<p>Oleje (tłuszcze) roślinne Vegetable oils (fats) Rzepak, słonecznik, soja, olej palmowy Oilseed rape, sunflower, soya bean, palm oil</p>
II generacja II generation	<p>Niejadalne oleje roślinne Non-edible plant oils <i>Jatropha curcas</i>, olej rycynowy, karanja (Indie) <i>Jatropha curcas</i>, castor – oil plant, karanja (India)</p> <p>Nowe odmiany roślin oleistych New varieties of oil plants Cuphea (Meksyk), Crambe, Brassica, bawełna, GMO Cuphea (Mexico), Crambe, Brassica, cotton plant, GMO</p> <p>Wtórne oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce Regenerated plant oils and animal fats Oleje posmażalniczne, odpadowe tłuszcze i mydła, zlewki smarów Post-frying oils, waste fats and soaps, grease decants</p>
III generacja III generation	<p>Pojedyncze komórki olejowe Single oil cells Mikroalgi (fitoplankton), algi (glony i wodorosty) Microalgae (phytoplankton), algae (algae and waterweeds)</p>

Źródło: opracowanie własne na podstawie: DEMIBRAS [2010]; MATA i in. [2010]; PICASO-ESPINOZA i in. [2010].

Source: own elaboration based on DEMIBRAS [2010]; MATA et al. [2010]; PICASO-ESPINOZA et al. [2010].

Rys. 3. Substraty do wytwarzania biodiesla
Fig. 3. Substrates for biodiesel production

Nowe rodzaje biopaliw, w tym o cechach biodiesla, są obecnie pozyskiwane w kilku procesach znajdujących się na różnych etapach prac badawczo-rozwojowych i aplikacyjnych (rys. 4). Ze względu na wymagania agrotechniczne (jakość gleb, ich uprawa, nawożenie, warunki pogodowe i in.) wydaje się niemożliwe, aby biodiesel z rzepaku mógł spełnić wymogi dyrektywy RED. Alternatywą mógłby być olej palmowy, właściwości biodiesla wytworzonego z tego oleju nie różnią się bowiem istotnie od cech biodiesla z rzepaku (tab. 1), z wyjątkiem „odpor-



Źródło: GAIN [2011], DILTZ i in. [2011], IEA [2011].
Source: GAIN [2011], DILTZ et al. [2011], IEA [2011].

Rys. 4. Wytwarzanie biopaliw transportowych z biomasy
Fig. 4. Production of transport biofuels from biomass

ności” na niższą temperaturę [RUPILIUS, AHMAD 2009]. Jednak zgodność tego substratu z wymaganiami „środowiskowymi” jest wątpliwa w aspekcie obecnego stanu prawnego w UE i USA (w USA obowiązuje RFS (Renewable Fuel Standard), ustalający dla paliw transportowych minimum redukcji emisji GHG na 20%, a paliwa z oleju palmowego uzyskują wyniki w granicach 11–17%. W niektórych przypadkach, na wilgotnych glebach z dużą zawartością węgla, w Indonezji i Malezji, norma ta jest przekraczana nawet dziesięciokrotnie.

Tabela 1. Podstawowe cechy biodiesla z wybranych substratów
 Table 1. Basic characteristics of biodiesel from selected substrates

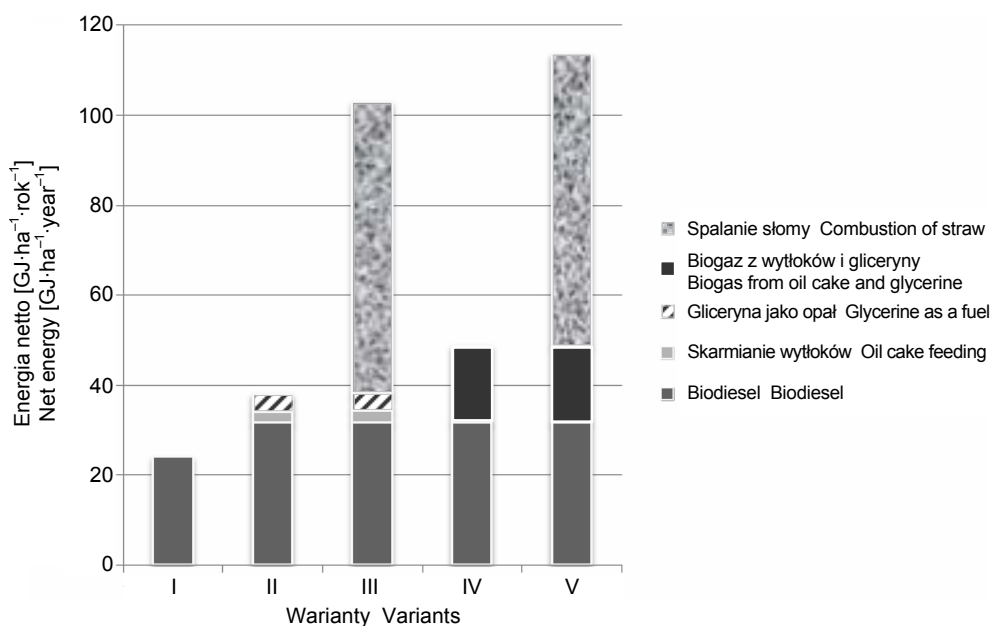
Wyszczególnienie Specification	Jednostka Unit	Olej rzepakowy Rapeseed oil	Olej palmowy Palm oil	Tłuszcze zwierzęce Animal fats
Ilość biodiesla Amount of biodiesel	$10^3 \text{ dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	0,6–1,1	3,0–4,0	b.d.
Koszt surowca Cost of raw material	$\text{USD} \cdot \text{t}^{-1}$	800	550	b.d.
Koszt biodiesla Cost of biodiesel	$\text{USD} \cdot \text{t}^{-1}$	1 000	750	b.d.
Gęstość paliwa Fuel density	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,86–0,90	0,87–0,88	0,88
Zawartość estrów Content of esters	% masy % mass	>96,5	>98,5	97
Lepkość Viscosity	C St	3,5–5,0	4,4	4,5
Liczba cetanowa Cetane number	–	>51	62,4	61
Temperatura zapłonu Temperature of ignition	°C	>120	>160	>140
Temperatura blokowania filtra Temperature of filter blocking	°C	–10	15	6
Temperatura mętnienia Temperature of becoming turbid	°C	1	17	12–17

Objaśnienie: b.d. – brak danych. Explanation: b.d. – no data available.

Źródło: opracowanie własne na podstawie MITTELBACH [2010]; RUPILIUS, AHMAD [200]; YUSUF i in. [2011].
 Source: own elaboration based on MITTELBACH [2010]; RUPILIUS, AHMAD [200]; YUSUF et al. [2011].

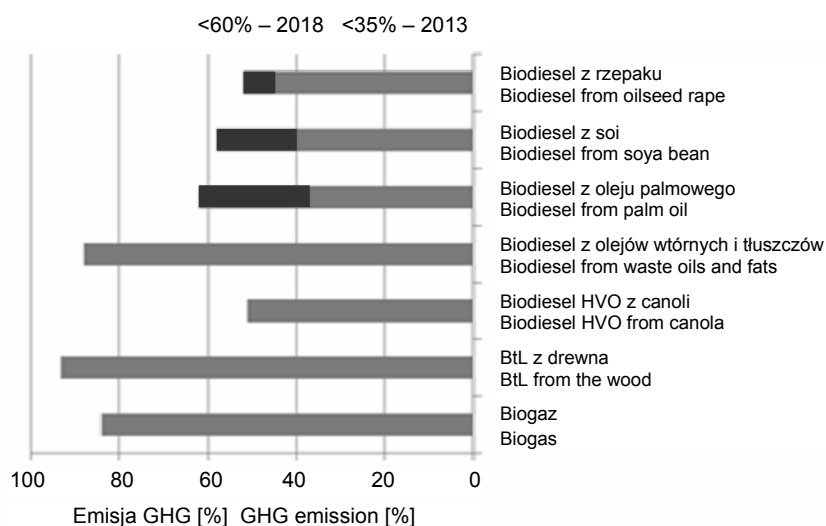
Wykorzystanie oleju rzepakowego jako substratu do wytwarzania biodiesla budzi także zastrzeżenia pod względem efektywności energetycznej. Większość opracowań wskazuje na zerową bądź wręcz ujemną efektywność energetyczną produkcji biodiesla z oleju rzepakowego klasycznymi metodami estryfikacji zimnej i gorącej [KLUGMANN-RADZIEMSKA i in. 2010; MOERSCHNER, GEROWITT 1998; NAGHIU, BURNETE 2005; THAMSIRIROJ, MURPHY 2010]. Wyniki dodatnie uzyskuje się po uwzględnieniu (i wykorzystaniu!) energii zawartej w produktach dodatkowych (słoma, wytloki, gliceryna), co ilustrują dane przedstawione na rysunku 5. W warunkach Polski dodatkową barierą ekonomiczną w uprawie rzepaku jest wysoki koszt produkcji, szacowany na 4–6 tys. zł·ha⁻¹ przy plonach 2–3 t·ha⁻¹ i cenach zbytu ok. 2 tys. zł·t⁻¹. Przy średnim plonie 2,0–2,5 t·ha⁻¹ oznacza to wskaźnik opłacalności w granicach 70–85% [AgroNews 2012].

Wymagania dotyczące obecnego i pożądanego stanu ochrony środowiska według dyrektywy FQD dla podstawowych rodzajów biodiesla przedstawiono na rysunku 6. Dane te wykazują wahania w uzyskiwanych wielkościach przy jednoznacznie występujących odstępstwach od wytycznych dyrektywy FQD (50% w 2017 r.). Wprowadzane przepisy dyrektywy RED, stan zaawansowania technologicznego oraz uwarunkowania agronomiczne i ekonomiczne powodują, że surowce pochodzenia rolniczego I generacji (por. rys. 3) ze względu na potencjalny konflikt z wytwarzaniem żywności nie mogą być zaliczane nawet do przyszłościowych technologii wytwarzania biodiesla z biomasy (por. rys. 4). Wykorzystanie części surowców o charakterze upraw rolniczych, zaliczanych obecnie do II generacji, budzi wątpliwości ze względu na możliwość niekorzystnych środowiskowo i żywnościowo zmian przeznaczenia gruntów (ILUC).



Źródło: THAMSIROJ, MURPHY [2010]. Source: THAMSIROJ, MURPHY [2010].

Rys. 5. Uzysk energii netto w różnych wariantach wytwarzania biodiesla z rzepaku
 Fig. 5. Net energy yield in different variants of biodiesel production from oilseed rape



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UFOP dot. EU-RED 2009/28, MITTELBACH [2010].
 Source: own elaboration based on UFOP, MITTELBACH [2010].

Rys. 6. Stan i wymagania RED dla redukcji emisji GHG
 Fig. 6. Status and RED requirements to reduce the GHG emission

Wdrażane obecnie przepisy, dotyczące wytwarzania biodiesla z biomasy, zarówno w UE, jak i w USA, umożliwiają natomiast pełne wykorzystanie biomasy „odpadowej”, jak np. osadowa biomasa rolnicza, wtórne oleje roślinne, tłuszcze i mydła przemysłowe (rys. 7). Przez wielu autorów, za bardzo pożądane i perspektywiczne, uznawane jest wykorzystanie wzrastających corocznie ilości miejskich osadów ściekowych i szlamów, które zawierają znaczącą ilość tłuszczów roślinnych [CHALAMOŃSKI i in. 2008; SIDDIQUEE, ROHANI 2011]. Zastosowanie tych szlamów jako nawozów jest ograniczone (odory, zawartość metali ciężkich, toksyn, chemikaliów), a ich spalanie powoduje emisję dioksyn i metali ciężkich. Główne ograniczenia technologiczne w wykorzystywaniu osadów ze ścieków miejskich, jako substratu biodiesla, wynikają z trudności opracowania metody wydzielenia lipidów (tłuszczów), do czego obecnie stosuje się rozpuszczalniki organiczne i trudne technicznie metody separacji odśrodkowej [SIDDIQUEE, ROHANI 2011]. Istotnym ograniczeniem formalno-prawnym w krajach UE są rozbieżne interpretacje dopuszczalności zaliczenia osadów ściekowych do biomasy, a nie do odpadów [CHALAMOŃSKI i in. 2008].

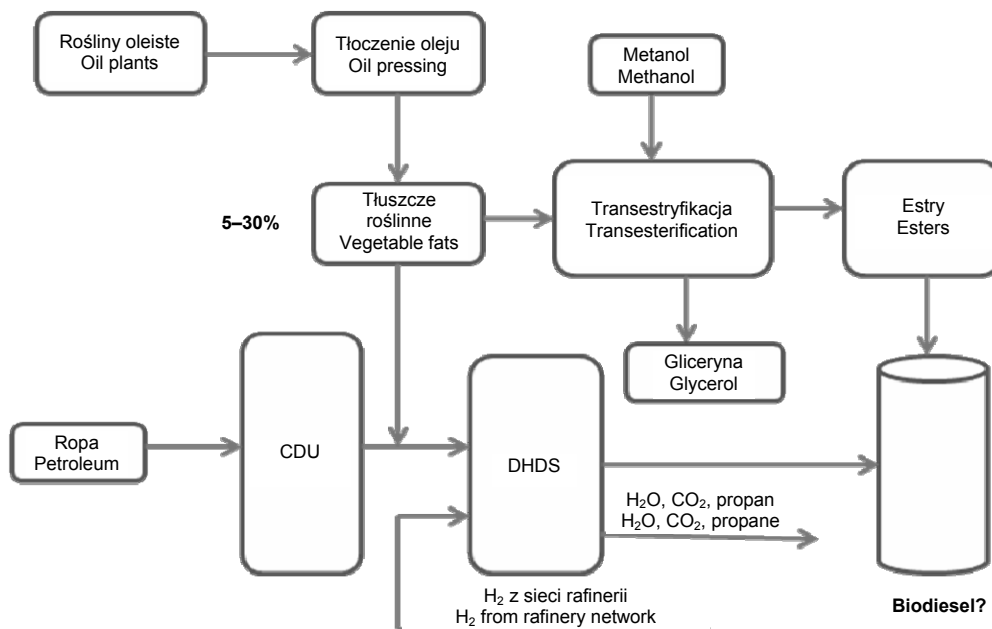
<p>BtL – Biomass to Liquid – gazyfikacja biomasy, synteza Fischera-Tropscha, kataliza Syngazu (Greendiesel, Sundiesel) i inne nazwy handlowe</p> <p>BtL – Biomass to Liquid – biomass gasification, Fischer-Tropsch synthesis, syngas catalysis (Greendiesel, Sundiesel and other commercial names)</p>
<p>HVO – Hydrotreated Vegetable Oil – kataliza hydrotermalna, uwodornienie, hydrowodornienie (współuwodornienie) komponentów z przerobu ropy naftowej oraz olejów roślinnych i/lub tłuszczów zwierzęcych</p> <p>HVO – Hydrotreated Vegetable Oil – hydrothermal catalysis, hydrogenation, hydrofining (co-hydrogenation) of components from petroleum processing and vegetable oils and/or animal fats</p>
<p>HTU – Hydrothermal Upgrading – pirolityczny rozkład hydrotermiczny biomasy</p> <p>HTU – Hydrothermal Upgrading – pyrolytic hydrothermal decomposition of biomass</p>

Źródło: MITTELBACH [2010]. Source: MITTELBACH [2010].

Rys. 7. Nowe technologie wytwarzania biodiesla
Fig. 7. New technologies of biodiesel production

Konkurencyjnym sposobem wykorzystania osadów ściekowych jest wykorzystanie szlamów jako składnika substratu w technologiach wytwarzania biogazu z biomasy rolniczej. Przy użyciu biomasy odpadowej II generacji do wytwarzania biodiesla jako skuteczne stosuje się technologie uwodorniania HVO lub HTU. Uwodornienie HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), określane także jako hydrogeneracja lub hydrogenacja w przypadku olejów, polega na przyłączeniu cząstek wodoru H₂ do cząsteczek związków chemicznych substratów z wiązaniami nienasyconymi [AATOLA i in. 2008, MUSZYŃSKI, BAJDOR 2011]. Technologia HTU (Hydrothermal Upgrading) polega na hydrotermicznym rozkładzie biomasy z użyciem wody o temperaturze 300–350°C, w warunkach ciśnienia 100–180 bar w ciągu 5–15 min. W trakcie tych procesów duża część zawartego w produkcie tlenu jest usuwana w postaci CO₂, a pozostały tlen usuwa się katalitycznie.

Przykładowy schemat technologii HVO, podczas której następuje połączenie z produktami konwencjonalnego przetwórstwa ropy naftowej, przedstawiono na rysunku 8. Taka metoda, preferowana przez przemysł petrochemiczny, budzi wątpliwości dotyczące faktycznej, rzeczywistej zawartości biodiesla z biomasy w produkcie końcowym. W ustawodawstwie Brazylii, która wytwarza duże ilości bioetanolu, za biopaliwo uznaje się paliwa o zawartości biopaliwa powyżej 25% v/v [SINGH-NIGAM, SINGH 2011]. Dotychczas brak jest odpowiedniej regulacji w przepisach UE.



Objaśnienia: CDU – Crude Destillation Unit (krakowanie), DHDS – uwodornienie, odsarczanie.
 Explanations: CDU – Crude Destillation Unit (cracking), DHDS – hydrogenation, desulfurization.

Źródło: JANICKI [2011]. Source: JANICKI [2011].

Rys. 8. Wytwarzanie biodiesla z zastosowaniem uwodornienia
 Fig. 8. Biodiesel production with the use of hydrogenation

Za przyszłościowe rozwiązania technologii wytwarzania biodiesla z substratów II generacji uznawana jest także kataliza chemiczna – kwaśna i zasadowa, przy czym technologie kwaśne są mniej wydajne (wolniejsze), ale wymagają niższych temperatur (do 60°C), dzięki czemu są mniej energochłonne (kataliza zasadowa wymaga ok. 80°C). W trakcie badań znajdują się także technologie enzymatycznej produkcji biodiesla z wykorzystaniem lipaz (enzymy rozkładające tłuszcze), wytwarzanych przez niektóre szczepy bakterii [PICAZO-ESPINOSA i in. 2010]. Za substraty III generacji uznawane są mikroorganizmy syntetyzujące w swej biomacie kwasy tłuszczowe, jak np. mikroalgi (fitoplankton z kultur wodnych) i algi (glony i wodorosty morskie) oraz drożdże i grzyby. Najwięcej doświadczeń prze-

prowadzono dotychczas na mikroalgach, obejmujących ogromną liczbę gatunków, szacowaną na ok. 50 tys., z których przebadano ok. 30 tys. [AHMAD i in. 2011; BRENNAN, OWENDE 2010; HELENA i in. 2011; MATA i in. 2010; MITTELBACH 2011]. Te organizmy fotoautotroficzne w obecności promieniowania słonecznego wytwarzają przez syntezę samożywną tłuszcze w ilości 20–50% swojej suchej masy. Prace badawcze prowadzone są także nad mikroorganizmami wykorzystującymi syntezę cudzożywną, zwłaszcza z glukozy lignocelulozowej (słoma ryżowa, melasa). Dotychczasowe wyniki badań wskazują na ogromne potencjalne możliwości produkcji mikroalg, dochodzące do 45 t z powierzchni ha w systemach otwartych, ale głębokość basenów produkcyjnych, ze względu na dostęp światła, nie powinna przekraczać 0,15 m [PICAZO-ESPINOSA i in. 2010; SINGH-NIGAM, SINGH 2011]. Tę niedogodność próbuje się usunąć przez hodowlę mikroalg w fotobioreaktorach (zamkniętych zbiornikach pionowych), będących jednak rozwiązaniem bardziej kosztownym. Innym utrudnieniem w dotychczasowych eksperymentach okazały się trudności z namnażaniem mikroalg.

Wnioski

1. Ze względu na istotne i trwałe znaczenie paliw do silników wysokoprężnych w transporcie UE oraz długotrwałe i perspektywiczne tendencje zastępowania ich paliwami odnawialnymi, prace badawcze nad biodieslem powinny być przedmiotem dalszego szczególnego zainteresowania. W warunkach UE paliwa do silników niskoprężnych mają mniejsze znaczenie.
2. Dla UE najważniejszym obecnie substytutem biodiesla jest olej rzepakowy. Uwarunkowania prawne w UE i Polsce powodują, że za odpowiadające tym wymaganiom źródła biomasy II generacji do wytwarzania biodiesla w EU i Polsce można obecnie uznać tylko oleje roślinne wtórne i tłuszcze zwierzęce odpadowe oraz osady (szlamy) ze ścieków miejskich (warunkowo). Znaczenie tych substratów jest bardzo duże, ale obecnie nie stanowią substytutów tradycyjnych substratów. Za realny termin opracowania technologii aplikacyjnych uznawane są lata 2015–2017 [MITTELBACH 2011].
3. Olej rzepakowy pozostaje najważniejszym substratem do produkcji biodiesla w UE, obecnie praktycznie niemożliwym do zastąpienia innymi substratami, poza importem odpowiednich substytutów.
4. Utrzymanie produkcji biodiesla z olejów roślinnych konwencjonalnymi metodami estryfikacji wymaga aktualizacji dotychczasowych ekspertyz ekonomicznych, które powinny uwzględniać wyniki analiz LCA oraz nowe uwarunkowania prawne, z których część nie została dotychczas wprowadzona do obowiązujących przepisów UE. Implementowane obecnie przepisy prawne mogą istotnie wpływać na innowacje i postęp technologiczny w wytwarzaniu, ale jednocześnie będą prawdopodobnie ograniczać tempo przemian gospodarczych w tej dziedzinie.
5. Przegląd technologii wytwarzania biodiesla wykazuje bardzo zróżnicowany stopień ich obecnej i rzeczywistej przydatności produkcyjnej, niezależnie od trudności w pozyskaniu substratów, spełniających wymagania ochrony środowiska z zachowaniem warunków opłacalności, nawet z uwzględnieniem ewentualnych systemów dotacji i ulg. Nowe metody produkcji biodiesla z su-

rowców zaliczanych do II generacji, w tym zwłaszcza technologie BtL i HVO, wymagają dalszego doskonalenia. Wydaje się, że perspektywnymi technologiami wytwarzania biodiesla będą technologie enzymatyczne, z wykorzystaniem substratów z biomasy odpadowej (dodatkowej).

Dotychczasowe trudności z opracowaniem opłacalnych ekonomicznie i dopuszczalnych „środowiskowo” technologii wytwarzania paliw do silników wysoko-
prężnych w postaci biodiesla (lub jego mieszanek z ON) prawdopodobnie spowodują odstąpienie UE od zakładanego 10-procentowego udziału paliw odnawialnych do 2020 r. (podjęcie decyzji ma być odroczone do końca 2014 r.).

Bibliografia

AATOLA H., LARMI M., SARJOVAARA T. 2008. Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a renewable diesel fuel: Trade-off between NO_x, particulate emission, and fuel consumption of a heavy duty engine. SAE International, doi: 10.4271/2008-01-2500.

AgriforEnergy 2012. Pure plant oil as fuel. Technical aspects and legislative context [online]. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: www.agriforenergy.com

AGRONews 2012.[online]. Nr 4. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: agronews.com.pl

AHMAD A., MAT-YASIN N., DEREK C., LIM J. 2011. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.15 s. 584-593.

BRENNAN L., OWENDE P. 2010. Biofuels from microalgae – A review of technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 14 s. 557–577.

CAPROS P., MANTZAS L., TASIOS N., DEVITA A., KOUVARTAKIS N. 2010. EU Energy Trends to 2030 (up date 2009). Bruksela. Directoriat General for Energy. ISBN 978-92-79-16191-9 ss. 150.

CHALAMOŃSKI M., ŁUKASIEWICZ J., SZYMCZAK M. 2008. Suszenie osadów ściekowych. Instal. Nr 8 s. 48–52.

DEMIRBAS A. 2011. Competitive liquid biofuels from biomass. Applied Energy. Vol. 88 s. 17–28.

DILTZ R., LUCKARIFT H., JOHNSON G. 2011. Sustainable Land Use for Bioenergy in the 21st Century. Industrial Biotechnology. V. 7. Iss. 6 s. 437–447.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. (a) w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dz.U. L 140 s. 16–62.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. (b) zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzającą mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz zmieniającą dyrektywę Rady 1999/32/WE odnoszącą się do specyfikacji paliw wykorzystywanych przez statki żeglugi śródlądowej oraz uchylająca dyrektywę 93/12/EWG. Dz.U. L 140 s. 88–113.

Eurostat 2010, 2011. Database [online]. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/european_business/data/database

GAIN – Global Agricultural Information Network 2011. EU-27. Biofuels Annual. EU Annual Biofuels Report [online]. GAIN Report No: NL10/3. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-27_6-11-2010.pdf

- GZYRA Z. 2011. Krajowy rynek biopaliw. Energia ze źródeł odnawialnych transporcie do 2020 r. – Polska na tle UE. Materiały konferencji pt. Perspektywy rozwoju rynku biopaliw 2012. Warszawa. Wydaw. DGP.
- HELENA M., AMARO H., GUEDES A. MALCATA F. 2011. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy*. Vol. 88 ss. 3402–3410.
- HUNTER C.E. 2012. A second life for natural gas demand in Europe? *Energy Strategy Reviews* (w druku).
- IEA – International Energy Agency. 2011. Technology roadmap. Biofuels for transport [online]. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: www.iea.org/papers/2011/biofuels_roadmap.pdf
- IERIGŹ 2011. Rynek rzepaku – stan i perspektywy. *Analizy rynkowe*. Nr 40. ISSN 1231-269X ss. 6.
- JANICKI B. 2011. Energia ze źródeł odnawialnych transporcie do 2020 r. – Polska na tle UE. Materiały Konferencji pt. Perspektywy rozwoju rynku biopaliw 2012. Warszawa. Wydaw. DGP.
- KLUGMANN-RADZIEMSKA E., LEWANDOWSKI W.M., MELER P., RYMS M. 2010. Bilans energetyczny cyklu produkcji i eksploatacji RME w indywidualnym gospodarstwie rolnym. *Nafta-Gaz*. Nr 7 s. 586–590.
- MATA T., MARTINS A., CAETANO N. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14 s. 217–232.
- Ministerstwo Gospodarki 2012. Projekt Ustawy o OZE z dnia 26 lipca 2012 r.
- MITTELBACH M. 2010. Future Perspectives of Biofuels Development in Europe [online]. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: http://www.urjc.es/fundacion/cursos_verano/ponencias/tecnologias_energeticas/Presentaciones_Curso%20Aranjuez%202010/02_Martin%20Mittelbach_Biofuels%20in%20Europe.pdf
- MOERSCHNER J., GEROWITT B. 1998. Energiebilanzen von Raps bei unterschiedlichen Anbauintensitäten. *Landtechnik*. Vol. 53 s. 384–385.
- MUSZYŃSKI A., BAJDOR K. 2011. The future of sustainable biofuels in Poland. Warszawa. PIMOT.
- NAGHIU A., BURNETE N. 2005. Renewable energy – a challenge to agricultural farms. *Trakia Journal of Sciences*. Vol. 3. No 6 s. 1–7.
- PICAZO-ESPINOSA R., GONZÁLEZ-LÓPEZ J., MANZANERA M. 2010. Bioresources for Third-Generation Biofuels [online]. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: www.intechopen.com/download/pdf/17479
- ROSZKOWSKI A. 2012. Biomasa i bioenergia – bariery technologiczne i energetyczne. *Problemy Inżynierii Rolniczej* (w niniejszym zeszycie).
- RUPILIUS W., AHMAD S. 2009. Biodiesel from palm oil comparison with other renewable fuels [online]. Londyn. SCI. [Dostęp 12.05.2012]. Dostępny w Internecie: www.soci.org
- SARIA 2006. SariaNews. Special biodiesel edition [online]. [Dostęp 20.03.2012]. Dostępny w Internecie: www.saria.de/fileadmin/user_upload/saria/downloads/02-06_SariaNews.engl.pdf
- SCHUCK S. 2011. Bioenergy Progresses in Australia. *IEA Bioenergy News*. Vol. 23. Iss. 2 s. 1.
- SIDDIQUEE M., ROHANI S. 2011. Lipid extraction and biodiesel production from municipal sewage sludges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 15 s. 1067–1072.
- SINGH-NIGAM P.S., SINGH A. 2011. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 37 s. 52–68.

THAMSIROJ T., MURPHY J.D. 2010. Can rape seed biodiesel meet the European Union sustainability criteria for biofuels? *Energy Fuels*. Vol. 24 s. 720–1730.

WANG W.C., THAPALIYA N., CAMPOS A., STIKELEATHER L.F., ROBERTS W.L. 2012. Hydrocarbon fuels from vegetable oils via hydrolysis and thermo-catalytic decarboxylation. *Fuel*. Vol. 95 ss. 622–629.

YUSUF N., KAMARUDIN S., YAAKUB Z. 2011. Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Conversion and Management*. Vol. 52 s. 2741–2751.

Andrzej Roszkowski

BIODIESEL IN THE EU AND IN POLAND – PRESENT CONDITIONS AND THE PROSPECTS FOR FUTURE

Summary

Paper presented actual and increasing importance of the fuels for diesel engines in transport (liquid) fuel balance of the EU; the role and share of biodiesel fuel production from biomass were also described. Introduced actually changes in legal regulations being in force in the EU and USA, significantly limiting diesel production with the use of hitherto applied technologies, were characterized. The results of analyses were given, as concerning the effect of spatial (ILUC) and environmental changes on the crops being till now basic raw materials to generate diesel by transesterification methods. Usability of actual raw materials to diesel production considering three substrate generations, were discussed and evaluated. The effect of regulations being introduced on the commercial difficulties with biodiesel, as well as with the raw materials and substrates to its production, were indicated. Restrictions in utilization of other desirable substrates – the animal fats and micro-algae – as well as impediments resulted from different interpretation of regulations on the use of sewage sludge as biomass – were described. The status and prospects for hitherto existing and the future technologies of biodiesel production were presented, with particular attention put on the oilseed rape as a raw material of dominating, until now, importance in the EU.

Key words: biodiesel, oilseed rape, palm oil, substrate generations, transesterification, BtL, HVO, anaerobic digestion, fuel's characteristics, sewage sludges

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Andrzej Roszkowski
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Oddział w Warszawie
ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa
tel. 22 542-11-77; e-mail: a.roszkowski@itep.edu.pl