

Biopaliwo B75 szansą na rozwój polskiego rolnictwa i transportu

płk dr hab. inż. Mieczysław Struś, prof. PWR
dr inż. Wojciech Poprawski
Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej
Katedra Inżynierii Konwersji Energii

Streszczenie

Opracowanie przedstawia efekty badań związanych z zastosowaniem biopaliwa B75 do zasilania silników o zapłonie samoczynnym, które może być wykorzystywane m.in. w transporcie i w rolnictwie. Biopaliwo skomponowane jest na bazie estrów etylowych wyższych kwasów tłuszczowych wytworzonych z oleju rzepakowego oraz odpadowych tłuszczów roślinnych w procesie transestryfikacji z bioetanolem i odwodnionego bioetanolu, z dodatkiem standardowego oleju napędowego (ok. 25%).

Właściwości fizykochemiczne wytworzonego 3-komponentowego biopaliwa zostały określone w warunkach laboratoryjnych, a jego skład został wzbogacony dodatkami uszlachetniającymi, pozwalającymi stosować biopaliwo szerokim zakresie temperatury otoczenia.

Efektywność pracy silników zasilanych wielokomponentowym biopaliwem oraz emisję substancji toksycznych w spalinach określono w warunkach laboratoryjnych (hamownia silnikowa), a także w naturalnej eksploatacji pojazdów wykorzystywanych w transporcie (pojazdy dostawcze). Wyniki przeprowadzonych badań dowodzą, że biopaliwo B75 może z powodzeniem zastąpić standardowy mineralny olej napędowy i stanowić może bazę do opracowania paliwa B100 złożonego z estrów etylowych i etanolu.

Wprowadzenie

Wykorzystanie biopaliw do zasilania silników spalinowych jest zagadnieniem, które badane było właściwie od początku istnienia silników spalinowych. Pierwszy silnik o zapłonie samoczynnym zasilany był olejem z orzeszków ziemnych. Wcześniej też rozważano zastosowanie etanolu w przypadku silników o zapłonie iskrowym. Rozwój przemysłu związanego z wydobywaniem i przetwórstwem ropy naftowej spowodował powszechne zastosowanie paliw kopalnych do zasilania silników spalinowych. Nastąpił spadek intensywności badań nad zastosowaniem biopaliw. Zainteresowanie biopaliwami wzrasta w przypadku gwałtownych zmian na rynku ropy naftowej, a także po uświadomieniu sobie, że zasoby surowców kopalnych do wytwarzania ropy naftowej są ograniczone.

Surowce, z których wytwarzane są biopaliwa są odnawialne. Oznacza to, że odpowiedzialna gospodarka gruntami rolnymi może w dużej mierze zapewnić uprawę surowców do produkcji biopaliw, a tym samym uniezależnić (choćby częściowo) gospodarkę kraju od importu kopalnych surowców energetycznych lub gotowych paliw pochodzenia mineralnego. Kolejną motywacją do badań związanych z zastosowaniem biopaliw była potrzeba redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Dwutlenek węgla jest konieczny do wegetacji roślin, a tym samym przyjmowano, że uprawa roślin pozwala na usunięcie części dwutlenku węgla z atmosfery [1].

Biopaliwa pierwszej generacji wytwarzane są z produktów roślinnych, które w pierwszej kolejności były wykorzystywane do produkcji żywności, takie jak oleje roślinne (a także estry kwasów tłuszczowych) czy etanol. Spowodowało to w wielu miejscach konkurencję między produkcją roślinną na cele spożywcze i paliwowe. Jednakże stosownie płodozmianów, a wśród nich jednym z najlepszych jest np. rzepak, poprawia kondycję gleby i kulturę agrarną. Produkcja biopaliwowa, zwłaszcza w warunkach anomalii pogodowych, stanowi często ratunek dla rolników ze względu na niższe wymagania jakościowe ziarna w porównaniu z tym przeznaczonym do celów spożywczych.

Kolejna generacja biopaliw związana była z wykorzystaniem surowców niespożywczych a także z wykorzystaniem odpadów po produkcji roślinnej wykorzystywanej na cele spożywcze. Opisywane w niniejszym opracowaniu biopaliwo B75 w dużej mierze wytwarzane jest z surowców odpadowych: tłuszczów posmażalniczych a także odpadowych tłuszczów po produkcji zwierzęcej (tłuszcze wieprzowe i drobiowe). Prowadzone są również intensywne badania nad wykorzystaniem tłuszczów znajdujących się w ściekach komunalnych do produkcji biopaliw, a także wykorzystaniem procesów fermentacji ścieków do produkcji biogazu [3, 4]. Jednakże, ze względu na niestabilność surowcowego łańcucha dostaw, zdaniem autorów celowe i możliwe jest opracowanie paliwa złożonego wyłącznie z surowcowych płodów rolnych.

Biopaliwo wykorzystane podczas badań

Obecnie, według polskiego prawa, w oleju napędowym dostępnym w handlu dopuszcza się stosowanie do 7% biokomponentów (według wartości opałowej). Prawo dopuszcza stosowanie estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych (Fatty Acid Methyl Ester – FAME), natomiast estry etylowe (Fatty Acid Ethyl Ester – FAEE), cechujące się znacznie wyższą wartością opałową (ponad 40 MJ/kg niż FAME (36...38MJ/kg) nie są obecnie dopuszczone do stosowania. W prawodawstwie ustalono parametry jakościowe biokomponentów, ale tylko estrów metylowych. Zawarte są one zarówno w rozporządzeniach oraz w normie PN-EN 14214+A1. Warto tu wspomnieć, że w innych rejonach świata nie wyróżnia się estrów metylowych, dopuszcza się do stosowania estry etylowe i/lub metylowe. W USA, Brazylii czy w Indiach biokomponent musi po prostu spełnić stawiane wymagania, opisane w odpowiednich normach (ASTM D6751 w USA, ANP 42 w Brazylii czy IS15607:2005 w Indiach).

W Polsce i w Europie główne parametry jakościowe paliw do silników o zapłonie samoczynnym i biokomponentów stosowanych w paliwach ww. silników opisane są w normach PN-EN 590 oraz PN-EN 14214+A1. Wybrane parametry jakościowe przedstawione są w tab. 1. W tabeli przedstawiono również wybrane właściwości biopaliwa B75 wykorzystanego w badaniach opisanych w niniejszym artykule.

Tab. 1. Wybrane parametry jakościowe biopaliwa B75 zestawione z wymaganiami norm PN-EN 590:2013 oraz PN-EN 14214+A1

Parametr	Jednostki	Biopaliwo B75	Wymagania PN-EN 590:2013		Wymagania PN-EN 14214+A1	
			min	max	min	max
Temp. zablokowania zimnego filtra (CFPP)	[°C]	-17	Wartość zależy od pory roku, np. paliwo przejściowe -10 °C		Wartość zależy od pory roku, np. paliwo przejściowe -10 °C	
Liczba cetanowa		51,9	51		51	
Gęstość w 15°C	kg/m ³	868	820	845	860	900
Temperatura zapłonu	°C	24	55		101	
Lepkość w 40°C	[mm ² /s]	2,33	2	4,5	3,5	5

Zastąpienie estrów metylowych estrami etylowymi ma wiele zalet. W pierwszej kolejności należy zaznaczyć ułatwienie procesu produkcyjnego estrów etylowych. Etanol jest zdecydowanie mniej toksyczny od metanolu, dlatego ułatwione mogą być operacje produkcyjne związane z transportem czy przeładunkiem [6]. Kolejną przewagą estrów etylowych nad metylowymi jest wyższa wartość kaloryczna estrów etylowych [6]. Warto również wspomnieć, że w procesie spalania estrów etylowych

powstaje mniej rakotwórczych rodników niż w przypadku estrów metylowych [7]. Również proces eksploatacji pojazdów zasilanych estrami etylowymi jest łatwiejszy. Estry metylowe mają dobre właściwości myjące, powodując uwolnienie się złożeń w układzie paliwowym, doprowadzając do problemów eksploatacyjnych. Dodatkowo zastosowanie estrów metylowych powoduje przyspieszoną degradację oleju w silniku, a także ze względu na stosunkowo dużą rozpuszczalność w wodzie powoduje zagrożenie korozją. W przypadku długookresowego przechowywania estrów metylowych mogą pojawić się problemy wynikające z formowaniem się osadów w zbiornikach [8].

Do zalet stosowania estrów etylowych należy również ich dobra smarność. W tabeli 2 porównano właściwości smarności badawczego biopaliwa B75 i wymagań stawianych olejowi napędowemu.

Tab. 2. Porównanie smarności biopaliwa B75 i wymagań dla oleju napędowego

Smarność	Biopaliwo B75	Wymagania dla oleju napędowego
HFRR EN ISO 12156-1	195	<460
SL BOCLE ASTM D 6078-97	4750	>2800

Estry etylowe wyższych kwasów tłuszczowych (FAEE) stanowiące biokomponent w paliwie, będącym przedmiotem badań zostały wytworzone w wyniku reakcji transestryfikacji oleju rzepakowego i odpadowych tłuszczów zwierzęcych (wieprzowych i drobiowych) w tym odpadowych tłuszczów posmażalniczych z bioetanolem w obecności zasadowego katalizatora (KOH). Wybór surowców wykorzystywanych do transestryfikacji został opisany w [5].

Biopaliwo złożone z ok. 70% estrów etylowych, ok. 5% etanolu oraz ok. 25% mineralnego oleju napędowego zostało poddane badaniom właściwości fizyko-chemicznym, opisanym w normach PN-EN 14214. Na podstawie otrzymanych wyników badań dobrano pakiet dodatków uszlachetniających, w tym obniżających temperaturę blokady zimnego filtra (CFPP) do wartości zbliżonych do wartości odpowiadających paliwie do silników o zapłonie samoczynnym oraz poprawiających właściwości samozapłonowe (PN-EN 590). Właściwości paliwa po dobraniu dodatków uszlachetniających przedstawiono w tab. 1.

Badania silników o zapłonie samoczynnym zasilanych badawczym biopaliwem B75.

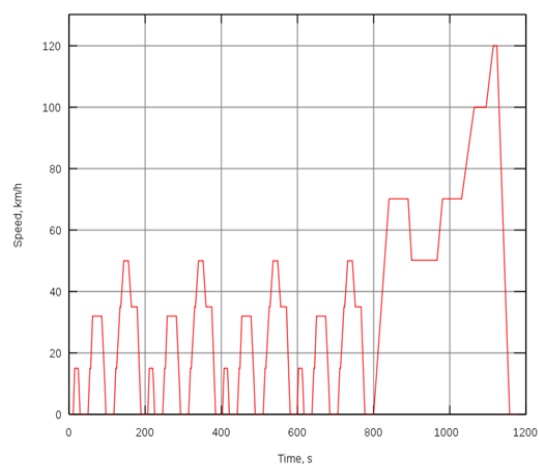
W celu określenia efektywności energetycznej oraz emisji substancji szkodliwych w spalinach silnika zasilanego badawczym biopaliwem B75 przeprowadzono badania na hamowni silnikowej. Wyniki porównano do standardowego oleju napędowego.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem turbodoładowanego silnika o pojemności 1,3 dm³, wyposażonego w układ wtryskowy *common rail* oraz układ recyrkulacji spalin EGR. Silnik cechuje moc 51kW przy 4000 obr/min, a maksymalny moment obrotowy występuje przy 1750 obr/min. Widok silnika na stanowisku badawczym przedstawiono na rys. 1.

Badania przeprowadzono według procedury NEDC (New European Driving Cycle). Graficzne przedstawienie cyklu przedstawiono na rys. 2, natomiast wartości prędkości obrotowej silnika oraz momentu obrotowego przedstawiono w tab. 3.



Rys. 1. Widok silnika na stanowisku badawczym



Rys. 2. Reprezentacja graficzna punktów procedury badawczej NEDC

Tab. 3. Punkty pomiarowe wg. procedury NEDC

Nr punktu	Prędkość obrotowa silnika [obr/min]	Moment obrotowy [Nm]	Szacunkowa prędkość pojazdu/bieg [km/h]
1	820	45	
2	850	20	
3	1050	15	
4	1250	20	
5	1400	40	
6*	1550	4	35/III
7*	1590	10	50/IV
8	1650	37	
9*	1730	11	70/V
10	1740	26	
11	1800	38	
12*	1920	3	15/I
13	2050	26	
14*	2200	4	50/III
15*	2260	4	32/II
16	2400	55	
17*	2500	34	100/V
18	2700	73	
19	2930	80	
20*	3020	55	120/V

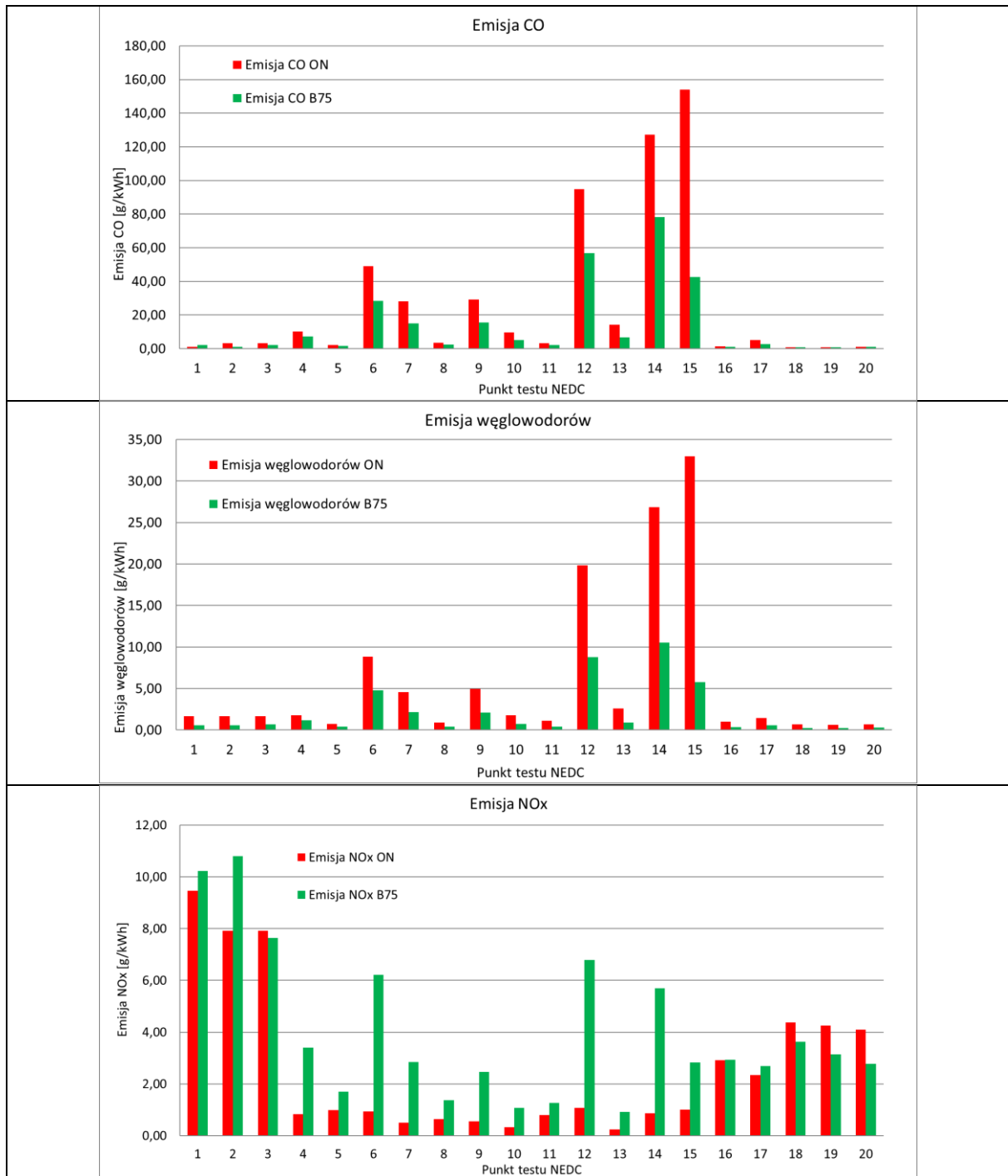
Przeprowadzono porównawcze badania dawki paliwa, zużycia paliwa oraz sprawności silnika zasilanego biopaliwem badawczym B75 i olejem napędowym.



Rys. 3. Wyniki pomiarów zużycia paliwa oraz sprawności silnika zasilanego biopaliwem B75 i ON podczas testu NEDC

Na rys. 3 przedstawiono zestawione wyniki pomiarów zużycia paliwa i sprawności silnika zasilanego badawczym paliwem B75 oraz olejem napędowym. Przedstawione wyniki pokazują, że mimo różnicy wartości kalorycznej biopaliwa B75 w porównaniu z olejem napędowym zużycie biopaliwa B75 jest porównywalne. Wiąże się to z doskonalszym spalaniem biopaliwa B75, ze względu na obecność atomów tlenu w cząsteczkach biopaliwa. Potwierdzone jest to również w wynikach pomiarów emisji tlenku węgla CO i niespalonych węglowodorów obecnych w spalinach (rys. 4). Dla biopaliwa B75 emisja jest wyraźnie niższa niż dla oleju napędowego. Natomiast emisja tlenków azotu jest wyższa dla biopaliwa B75 w niektórych warunkach obciążenia. Wiąże się to właśnie z doskonalszym procesem spalania biopaliwa, powodującym, że warunki reakcji spalania są odmienne niż w przypadku oleju napędowego i sprzyjają powstawaniu NOx. Można temu zaradzić ingerując w układ sterowania silnika. Badania, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule nie obejmowały zmiany nastaw

sterownika silnika. Natomiast w punktach 18-20, w których silnik jest mocniej obciążony (wyższa prędkość obrotowa i wyższy moment obrotowy – tab. 3) zaobserwowano znaczące obniżenie emisji NOx dla biopaliwa B75 w porównaniu z olejem napędowym.



Rys. 4. Emisja CO, węglowodorów i NOx dla biopaliwa B75 i ON podczas testu NEDC

Badania biopaliwa B75 w naturalnej eksploatacji

Badania biopaliwa w naturalnej eksploatacji przeprowadzono z wykorzystaniem floty pojazdów, służących do transportu przesyłek. Wykorzystano dwa typy pojazdów: większy pojazd dostawczy Citroen Jumper oraz mniejszy pojazd dostawczy Citroen Berlingo. Podstawowe dane silników ww. pojazdów przedstawiono w tab. 4.

Tab. 4. Charakterystyka pojazdów i silników wykorzystanych podczas badań w naturalnej eksploatacji

Marka, model	Pojemność silnika [cm ³], liczba cylindrów	Moc maksymalna [KM]	Maksymalny moment obrotowy [Nm]
Citroen Jumper	2200, 4 cyl	100	250
Citroen Berlingo	1560, 4 cyl	75	185

Przed przystąpieniem do badań eksploatacyjnych dokonano określenia maksymalnej mocy i momentu obrotowego silników floty pojazdów na hamowni podwoziowej, przy zasilaniu standardowym ON a po wymianie paliwa także przy zasilaniu biopaliwem B75. Podobnie, po zakończeniu całego cyklu badań. Przykładowe wyniki pomiarów na hamowni silnikowej dokonanych pod koniec etapu badań przedstawiono w tab. 5 i tab. 6.

Tab. 5. Wyniki badań na hamowni silnikowej samochodów Citroen Jumper zasilanych olejem napędowym i biopaliwem B75

	Olej napędowy		Biopaliwo B75	
	Max moc (obr)	Max moment (obr)	Max moc (obr)	Max moment (obr)
	KM (obr/min)	Nm (obr/min)	KM (obr/min)	Nm (obr/min)
Berlingo_1	76(3135)	187,7(2256)	69,6(3030)	173,3(2200)
Berlingo_2	76,6(3096)	186,9(2255)	68,2(2993)	170,6(2213)
Berlingo_3	77,9(3067)	191,8(2181)	68,8(3058)	169,9(2173)
Berlingo_4	76,8(3080)	188,5(2222)	68,4(3045)	167,1(2194)
Berlingo_5	74,9(3112)	180(2253)	66,9(3035)	160,8(2243)
Berlingo_6	76,3(3087)	188,4(1964)	68,7(3033)	166,3(2266)
Berlingo_7	73(3054)	179,7(1981)	66,3(3157)	164,5(2229)
Berlingo_8	75,3(3061)	187,8(2205)	69(3012)	172,6(2172)
Średnio	75,6(3204)	185,6(2177)	68,0(3041)	167,8(2213)

Tab. 6. Wyniki badań na hamowni silnikowej samochodów Citroen Jumper zasilanych olejem napędowym i biopaliwem B75

	Olej napędowy		Biopaliwo B75	
	Max moc (obr)	Max moment (obr)	Max moc (obr)	Max moment (obr)
	KM (obr/min)	Nm (obr/min)	KM (obr/min)	Nm (obr/min)
Jumper_1	116,5(3146)	279,4(2709)	105,4(3350)	244,6(2733)
Jumper_2	113,5(3050)	282(2627)	102,7(3142)	248,9(2659)
Jumper_3	115,6(3014)	283,5(2691)	109,3(3000)	270,5(2618)
Jumper_4	109,8(3208)	266,8(2638)	105,1(3171)	259,3(2607)
Jumper_5	116,7(3045)	285,5(2666)	108,8(3252)	259,9(2725)
Średnio	114,42(3092,6)	279,44(2666,2)	106,26(3183)	256,64(2668,4)

Zauważalny jest stosunkowo niewielki spadek wartości maksymalnej mocy i momentu w przypadku zasilania silników biopaliwem B75 – co oczywiście związane jest z mniejszą wartością opałową biokomponentów (zwłaszcza bioetanolu) w stosunku do węglowodorów pochodzących z ropy naftowej. Jednakże należy podkreślić, że w przedziale zazwyczaj używanych prędkości eksploatacyjnych wału korbowego (600...2600 obr./min.) wartości rozwijanej przez silniki mocy i momentu obrotowego są niemal identyczne.

Pozytywne wrażenia z eksploatacji pojazdów zostały również zauważone podczas badań ankietowych użytkowników (kierowców). W celu porównania subiektywnych wrażeń z jazdy pojazdami zasilanym biopaliwem B75 opracowano ankietę, w której oceniano:

- Prowadzenie pojazdów, w tym przyspieszenie i jazdę z obciążeniem;
- Pracę silnika, a w szczególności uruchamianie silnika zimnego i gorącego oraz oceniano zadymienie podczas jazdy.

Powyższe wrażenia zostały oceniane trójstopniowo: ocena niska (0%), średnia (50%) i wysoka (100%). W tabelach 7 i 8 zestawiono oceny użytkowników. Jak widać oceny użytkowników są zdecydowanie pozytywne.

Tab. 7. Subiektywne odczucia użytkowników pojazdów wykorzystanych w badaniach

Pojazd	Przyspieszenie	Jazda pod obciążeniem	Rozruch zimnego silnika	Rozruch ciepłego silnika	Hałas	Spaliny/zadymienie
Jumper_1	100%	100%	29%	85%	71%	81%
Jumper_2	89%	94%	94%	100%	100%	100%
Jumper_3	100%	100%	7%	67%	50%	100%
Jumper_4	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Jumper_5	94%	86%	77%	89%	78%	83%
Average	97%	96%	61%	88%	80%	93%

Tab. 8. Subiektywne odczucia użytkowników pojazdów wykorzystanych w badaniach

Pojazd	Przyspieszenie	Jazda pod obciążeniem	Rozruch zimnego silnika	Rozruch ciepłego silnika	Hałas	Spaliny/zadymienie
Berlingo_1	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Berlingo_2	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Berlingo_3	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Berlingo_4	100%	100%	94%	100%	98%	97%
Berlingo_5	50%	100%	100%	100%	50%	48%
Berlingo_6	100%	99%	100%	100%	100%	42%
Berlingo_7	51%	52%	90%	100%	100%	100%
Berlingo_8	50%	50%	100%	100%	100%	50%
Berlingo_9	100%	100%	86%	100%	88%	94%
Berlingo_10	100%	51%	69%	94%	51%	94%
Average	80%	80%	89%	94%	84%	78%

Oceniono również zużycie paliwa. Zużycie w okresie prowadzenia badań pojazdów zasilanych biopaliwem B75 zestawiono z analogicznym okresem, w którym pojazdy były zasilane olejem napędowym. Jak widać zużycie nie uległo znaczącym zmianom. Można nawet zaobserwować niższe zużycie paliwa dla niektórych pojazdów.

Tab. 9. Zestawienie zużycia paliwa wybranych pojazdów podczas badań w dwóch okresach pomiarów

Pojazd	Olej napędowy			Olej napędowy		
	Sierpień - Grudzień			Luty - Lipiec		
	Objętość paliwa [dm ³]	Przejechany dystans [km]	Zużycie paliwa [dm ³ /100km]	Objętość paliwa [dm ³]	Przejechany dystans [km]	Zużycie paliwa [dm ³ /100km]
Berlingo 1	271	2824	9,6	124	1073	11,6
Berlingo 2	312	3531	8,8	-	-	-
Jumper 1	1901	18795	10,1	546	4235	12,9
Jumper 2	1037	10611	9,8	1129	12505	9,0
Vehicle	Biopaliwo B75			Biopaliwo B75		
	Sierpień - Grudzień			Luty - Kwiecień		
	Objętość paliwa [dm ³]	Przejechany dystans [km]	Zużycie paliwa [dm ³ /100km]	Objętość paliwa [dm ³]	Przejechany dystans [km]	Zużycie paliwa [dm ³ /100km]
Berlingo 1	173	1460	11,9	175	1738	10,1
Berlingo 2	312	3503	8,9	276	2812	9,8
Jumper 1	-	-	-	389	3152	12,3
Jumper 2	-	-	-	538	4598	11,7

Wnioski

Przeprowadzone badania laboratoryjne (na hamowni) oraz testy drogowe pojazdów zasilanym badawczym biopaliwem B75 wykazują bardzo zbliżone rezultaty.

Warto zauważyć wzrost sprawności silników zasilanych B75, co wynika z doskonalszego procesu spalania tego paliwa. Zaobserwowano także niewielką różnicę w osiągnięciach pojazdów (moc i moment maksymalny), co wynika z nieco niższej wartości kalorycznej badanego paliwa, jednakże różnice te nie dyskwalifikują opracowanego biopaliwa z eksploatacji. Wręcz przeciwnie, większość użytkowników pojazdów oceniła zachowanie się samochodów zasilanych paliwem B75 zdecydowanie pozytywnie.

Na korzyść stosowania biopaliwa B75 przemawia również niższa emisja tlenu węgla i niespalonych węglowodorów, a zwłaszcza brak niektórych kancerogennych, które wykrywa się przy spalaniu ON . Wiąże się to z właściwościami chemicznymi stosowanego paliwa, przede wszystkim z obecnością atomów tlenu w cząsteczkach, które podczas spalania podnoszą efektywność reakcji.

Przedstawiona analiza pozwala rekomendować badane paliwo B75 do dalszych badań eksploatacyjnych, a naturalnym odbiorcą biopaliwa B75 wydaje się być rolnictwo oraz transport drogowy. Niższe niż w przypadku oleju napędowego emisje substancji szkodliwych w spalinach pozwalają zakładać, że paliwo to sprawdzi się również znakomicie w warunkach dołowych w kopalniach podziemnych. Wydaje się możliwe i celowe opracowanie biopaliwa B100 stanowiącego mieszaninę estrów etylowych i etanolu, do którego substratami zarówno w procesie estryfikacji, jak i komponowania tego „biopaliwa całkowicie odnawialnego” będą wyłącznie surowce płodów rolnych.

Literatura

1. Piloto-Rodríguez, R., E. A. Melo, L. Goyos-Pérez, and S. Verhelst. “Conversion of by-Products from the Vegetable Oil Industry into Biodiesel and Its Use in Internal Combustion Engines: A Review.” *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 31, no. 2 (2014): 287–301. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002763>
2. Brandão, Ana Sofia, Artur Gonçalves, and José M.R.C.A. Santos. “Circular Bioeconomy Strategies: From Scientific Research to Commercially Viable Products.” *Journal of Cleaner Production* 295 (2021): 126407. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126407>
3. Patel, Alok, Kateřina Hřůzová, Ulrika Rova, Paul Christakopoulos, and Leonidas Matsakas. “Sustainable Biorefinery Concept for Biofuel Production through Holistic Valorization of Food Waste.” *Bioresource Technology* 294 (2019): 122247. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122247>
4. Chen, Yinguang, Hui Liu, Xiong Zheng, Xin Wang, and Jiang Wu. “New Method for Enhancement of Bioenergy Production from Municipal Organic Wastes via Regulation of Anaerobic Fermentation Process.” *Applied Energy* 196 (2017): 190–98. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.100>
5. M. S. Struś, W. Poprawski, M. Rewolte, “Efficiency of raw material selection for the second generation BIOXDIESEL biofuel for Diesel engines”, *Combustion Engines*, 2015, R. 44, no 3, pp. 1053-1059
6. Atsonios, Konstantinos, Kyriakos D. Panopoulos, and Emmanuel Kakaras. “Thermocatalytic Co 2 Hydrogenation for Methanol and Ethanol Production: Process Improvements.” *International Journal of Hydrogen Energy* 41, no. 2 (2016): 792–806. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.12.001>
7. A. Llamas Lois, A. Al-Lal, L. Canoira, M. Del Campo, M. Lapuerta, “PAH Occurrence During Combustion of Biodiesel from Various Feedstocks .” *Chemical Engineering Transactions*. 29 (2012) 1159-1164. <https://doi:10.3303/CET1229194>

8. Šimáček, Pavel, David Kubička, Gustav Šebor, and Milan Pospíšil. "Hydroprocessed Rapeseed Oil as a Source of Hydrocarbon-Based Biodiesel." *Fuel* 88, no. 3 (2009): 456–60. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.10.022> .