

Piotr PASYNIUK *, Wojciech GOLIMOWSKI**

* Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie
ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa
e-mail: p.pasyniuk@itep.edu.pl

** Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Poznaniu
ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań
e-mail: w.golimowski@itep.edu.pl

EFFECT OF RAPESEED OIL ON THE PARAMETERS OF A DIESEL ENGINE OF JOHN DEERE TRACTOR, MODEL 6830

Summary

The John Deere 6830 tractor, adapted for vegetable oil was used to the study. Since two years the engine was running on rapeseed oil, which parameters were corresponding to the standard DIN V 51 605 together with 2VegOil Project requirements. The aim of the study was to compare the power and the fuel consumption of diesel engine (model: 6068HL481 with a nominal power of 103 kW) worked on diesel, then with rapeseed oil. The measurement was performed using the engine brake PT 301 MES and fuel gauge MES AMX 212F. On the base of measured parameters 15% decrease in power and 15% increase in specific fuel consumption was observed.

WPLYW OLEJU RZEPAKOWEGO NA PARAMETRY PRACY SILNIKA WYSOKOPRĘŻNEGO CIĄGNIKA ROLNICZEGO JOHN DEERE 6830

Streszczenie

Przedmiotem badań był ciągnik rolniczy John Deere 6830, przystosowany do zasilania czystym olejem roślinnym. Badany egzemplarz od dwóch lat bez przerwy był zasilany nieprzetworzonym olejem rzepakowym o parametrach odpowiadających normie DIN V 51 605 wraz z wymaganiami określonymi w projekcie 2ndVegOil. Celem podjęcia badań było porównanie mocy i jednostkowego zużycia paliwa silnika wysokoprężnego (model 6068HL481 o nominalnej mocy 103 kW) zasilanego w czasie badań olejem napędowym, a następnie olejem rzepakowym. Pomiar wykonywano przy użyciu hamulca silnikowego PT 301 MES i paliwomierza AMX 212F. Na podstawie zmierzonych parametrów wyznaczono moc i jednostkowe zużycie paliwa. Zaobserwowano 15% spadek mocy i 15% wzrost jednostkowego zużycia paliwa.

1. Wstęp

Wraz ze wzrostem cen paliw powstała idea produkcji biopaliw w rolnictwie. Ponieważ do ich wytwarzania potrzebny jest surowiec w postaci biomasy stwierdzono, że dobrym rozwiązaniem będzie wytwarzanie paliw w obrębie gospodarstwa rolnego [4]. Dotychczasowe doświadczenia wskazują na to, że jest możliwe stosowanie różnego rodzaju paliw pochodzenia roślinnego i zwierzęcego do zasilania silników wysokoprężnych [8, 14].

Tłuszcze zarówno roślinne, jak i zwierzęce charakteryzują się właściwościami podobnymi do oleju napędowego [1, 14]. Jednak, ze względu na istotną różnicę lepkości oleju roślinnego i oleju napędowego, olej roślinny poddawany jest reakcji estryfikacji lub transestryfikacji w celu poprawy parametrów fizycznych [11, 12]. Proces estryfikacji wymaga stosowania metanolu, dodatkowych nakładów energii i pracy [5, 15]. Dlatego zaczęto zastanawiać się nad wykorzystaniem oleju roślinnego jako paliwa. Badania eksploatacyjne ciągników rolniczych zasilanych olejem roślinnym rozpoczęto w 2009 r. w ramach realizacji projektu 2ndVegOil [17].

Na podstawie badań porównawczych silnika zasilanego olejem napędowym oraz estrami metylowymi oleju rzepakowego wykazano zwiększoną sprawność pracy silnika zasilanego estrami metylowymi o 8-10%, przy niższym o 10-20% zużyciu energii [9]. Dżianiszewski w 2006 r. na podstawie wyników prowadzonych badań wykazał zwiększenie zużycia paliwa i wyższą temperaturę spalania oleju roślinnego w porównaniu z olejem napędowym. Badania

prowadzone przez Lotko i Dżianiszewskiego były potwierdzeniem wyników Hemmerleina i współpracowników uzyskanych w 1991 roku. [6]. Hemmerlein prowadził badania mające na celu określenie czasu bezawaryjnej pracy silników zasilanych olejem roślinnym i zaobserwował istotną różnicę w długości okresu bezawaryjnej pracy silników z pośrednim i bezpośrednim wtryskiem paliwa. Silniki posiadające pośrednią komorę spalania pracowały dłużej bez awarii. Okazało się, że w silniku nieprzystosowanym do zasilania olejem roślinnym powstawały sadze, które narastając na czole tłoka i głowicy prowadziły do trwałego uszkodzenia silnika.

Olej roślinny charakteryzuje się znacznie wyższą lepkością niż olej napędowy. Wraz ze wzrostem temperatury następuje obniżenie lepkości. W temperaturze około 70°C obserwuje się nieznaczną różnicę pomiędzy lepkością oleju napędowego i oleju roślinnego, co pozwala na stosowanie go do zasilania silników wysokoprężnych [3].

Rathbauer i in. w badaniach z września 2008 roku, stwierdzili, że zasilanie ciągników rolniczych olejem rzepakowym jest możliwe [13]. W ramach pięcioletniej pracy określono wpływ oleju roślinnego na zużycie elementów roboczych silnika w 38 ciągnikach siedmiu różnych producentów. Okazało się, że zastosowanie systemu paliwa jedno- lub dwuzbiornikowego, w celu zmiany lepkości poprzez podgrzanie oleju, pozwala na eksploatację ciągnika rolniczego zasilanego czystym olejem roślinnym [13].

Celem badań opisanych w niniejszym artykule było porównanie parametrów pracy silnika wysokoprężnego ciągnika rolniczego John Deere, model 6380, fabrycznie przy-

stosowanego do pracy na nieprzetworzonym oleju rzepakowym, który przepracował w warunkach codziennej pracy polowej i w transporcie tysiąc motogodzin. W tym czasie ciągnik był zasilany wyłącznie czystym olejem rzepakowym. Głównym założeniem badań był pomiar momentu obrotowego i ogólnego zużycia paliwa silnika, który na czas badań zasilono olejem napędowym, a następnie olejem rzepakowym.

2. Metodyka badań

Badaniu poddano silnik wysokoprężny typ: 6068HL481 instalowany w ciągniku rolniczym John Deere 6380. Badania przeprowadzono przy użyciu hamulca silnikowego PT 301 MES. Wyniki pomiarów przedstawiono w tab. 1.

Silnik w ciągniku został podłączony poprzez wałek odbioru mocy (WOM) do hamulca silnikowego na stanowisku pomiarowym (rys. 1). Równoległe do zbiornika paliwa zainstalowano paliwomierz AMX 212F. Dane w postaci momentu obrotowego (M_o) i zużycia paliwa (G) z jednego oraz drugiego urządzenia pomiarowego przesłane były do komputera PC. Na ich podstawie została wyznaczona moc (N_e) i jednostkowe zużycie paliwa (g_e).



Rys. 1. Stanowisko badawcze
Fig. 1. Test station

Tab. 1. Dane badanego silnika
Table 1. Specifications of tested engine

Nazwa parametru	Rodzaj
Typ silnika	6068HL481
Maksymalna moc silnika wg 97/68/EC	103 kW
Inteligentne zarządzanie mocą (moc chwilowa)	121 kW
Maksymalny moment obrotowy	620Nm przy 1 400 obr/min
Liczba cylindrów	6
Średnica cylindra/ skok tłoka	106,5mm/127 mm
Pojemność skokowa	6790 cm ³
Nominalne obroty silnika	2 100 obr/min
Zakres obrotów roboczych	1 300-2 100 obr/min
Typ i rodzaj układu wtryskowego	PowerTech, 4-zaworowy, wtrysk bezpośredni
Zasysanie powietrza	Turbosprężarka z aktywnym chłodzeniem powietrza dolotowego
Układ wtrysku paliwa	Wysokociśnieniowy „CommonRail”
Komora spalania	Wirowa

Ciągnik przez cały okres użytkowania, czyli w latach 2008-2010, był zasilany nieprzetworzonym olejem rzepakowym, odpowiadającym normie DIN V 51 605 z dodatkowymi wymaganiami określonymi przez austriackie przedsiębiorstwo Walldland odnośnie technologii jego tłoczenia na zimno. Dla porównania parametrów pracy, pomiary przeprowadzono z użyciem tego samego oleju rzepakowego (OR) oraz letniego oleju napędowego (ON). Ciągnik wraz z hamownią pokazano na rys. 1. Badania przeprowadzono przy stanie licznika ciągnika 1 000 mth.

Przed przystąpieniem do badań, silnik został rozgrzany do temperatury pracy $80^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ poprzez obciążenie go za pomocą hamulca silnikowego. Po osiągnięciu żądanej temperatury, operator ciągnika przestawił ręczną dźwignię gazu w położenie skrajne, w którym silnik osiągał maksymalne obroty ok. 2250 obr/min. Przy użyciu potencjometra, zdalnie sterującego hamulcem silnikowym, zwiększano obciążenie silnika do chwili uzyskania obrotów zgodnie z założeniami. Rejestrowano wartości momentu obrotowego i zużycia paliwa co 100 obr./min od chwili uzyskania 2200 obr./min do wartości 1200 obr./min. Wprowadzono dodatkowy punkt pomiarowy przy 1750 obr./min przyjmując, że będzie to punkt przy którym silnik osiągnie najwyższą moc. Pomiar dla każdego rodzaju paliwa został powtórzony trzykrotnie. Zebrane wyniki badań poddano analizie statystycznej określając średnią wartość i odchylenie standardowe.

3. Wyniki badań

Badany ciągnik rolniczy przez dwa lata pracował w gospodarstwie rolnym. W tym okresie eksploatacyjnym nie wystąpiły żadne usterki, które wskazywałyby na negatywne oddziaływanie oleju roślinnego na silnik. Rozruch silnika zarówno w okresie letnim, jak i zimowym, przy ujemnych temperaturach powietrza, nie sprawiał kłopotów.

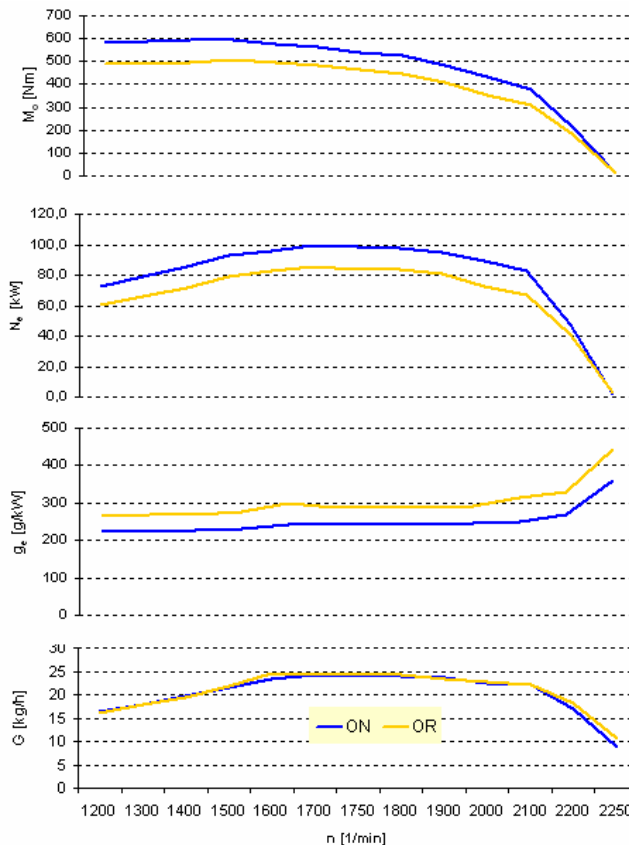
Na podstawie zmierzonych parametrów pracy silnika za pomocą hamulca silnikowego i paliwomierza wyznaczono moc i zużycie jednostkowe paliwa. Wyniki oraz średnią wartość zarejestrowanych parametrów zaprezentowano w tab. 2.

Tab. 2. Średnie wartości mierzonych i wyznaczonych parametrów przy różnych obrotach silnika
 Table 2. Average values of measured and calculated parameters at different rpm of engine

Obrotы silnika [1 min ⁻¹]	Olej napędowy (ON)				Olej Roślinny (OR)			
	M _o [Nm] (±SD)	N _e [kW] (±SD)	G [kg·h ⁻¹] (±SD)	g _e [g·kW] (±SD)	M _o [Nm] (±SD)	N _e [kW] (±SD)	G [kg·h ⁻¹] (±SD)	g _e [g·kW] (±SD)
2200	208	47,7	17,040	359	180	41,1	18,250	445
	(16)	(3,7)	(0,214)	(24)	(10)	(2,4)	(0,347)	(17)
2100	379	82,4	22,020	267	307	67,1	22,137	330
	(8)	(1,8)	(0,099)	(5)	(4)	(1,1)	(0,180)	(4)
2000	432	89,7	22,470	251	350	72,7	22,753	313
	(5)	(1,2)	(0,028)	(3)	(9)	(2,0)	(0,527)	(2)
1900	482	95,2	23,510	247	408	80,5	23,330	290
	(5)	(1,0)	(0,233)	(5)	(6)	(1,2)	(0,233)	(2)
1800	525	98,1	23,867	243	445	83,3	24,093	289
	(4)	(0,8)	(0,097)	(2)	(4)	(0,9)	(0,061)	(4)
1750	542	98,7	24,033	244	465	84,1	24,487	291
	(1)	(0,3)	(0,350)	(3)	(4)	(0,8)	(0,216)	(5)
1700	561	99,3	24,370	245	483	85,1	24,387	286
	(1)	(0,3)	(0,054)	(1)	(3)	(0,4)	(0,248)	(2)
1600	579	96,0	23,423	244	497	82,6	24,600	298
	(2)	(0,5)	(0,497)	(4)	(0)	(0,1)	(0,347)	(4)
1500	597	92,9	21,563	232	507	78,9	21,747	276
	(3)	(0,5)	(0,469)	(6)	(0)	(0,1)	(0,187)	(2)
1400	593	86,0	19,593	228	493	71,2	19,273	271
	(4)	(0,8)	(0,118)	(3)	(1)	(0,1)	(0,066)	(1)
1300	589	79,3	17,807	224	491	66,1	17,773	269
	(3)	(0,5)	(0,095)	(2)	(1)	(0,4)	(0,037)	(1)
1200	582	72,6	16,383	226	488	60,8	16,170	266
	(3)	(0,6)	(0,189)	(1)	(2)	(0,4)	(0,036)	(2)

Zakres prędkości obrotowej 2200-1200 obr./min w pełni zobrazował rozkład mocy i momentu obrotowego badanego silnika. Maksymalna moc uzyskana w wyniku badań silnika zasilonego olejem napędowym wyniosła 99,3 kW natomiast olejem roślinnym 85,1 kW przy obrotach 1700 obr./min. Maksymalny moment obrotowy uzyskano przy obrotach silnika równych 1500 obr./min i było to 597 Nm i 507 Nm odpowiednio dla ON i OR. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów wyznaczono krzywą ilustrującą rozkład badanych parametrów oraz wykonano analizę porównawczą w odniesieniu do różnych paliw. Na rys. 2 przedstawiono rozkład mocy ciągnika względem momentu obrotowego dla oleju roślinnego i oleju napędowego.

Na podstawie przedstawionej charakterystyki zewnętrznej silnika stwierdzono, że przy zastosowaniu oleju rzepakowego następuje spadek mocy i momentu w zakresie prędkości obrotowej silnika 1200-2200 obr./min. Różnica pomiędzy poziomem mocy generowanej przez silnik zasilany różnymi paliwami wynosiła około 15%. Przy wyższych prędkości obrotowych, w okolicy 2000 obr./min spadek ten wynosił nawet 19%. Badania Hemmerlein'a i Korte'ra [6] wykazały tylko 2% spadek mocy testowanego silnika z wtryskiem bezpośrednim, generującego moc 40 kW. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że testowane silniki ulegały uszkodzeniu po 155 godzinach pracy. Prowadzone badania na Politechnice Lubelskiej wolnoobrotowego silnika z wtryskiem bezpośrednim i wirową komorą spalania wykazały 10% spadek mocy [7]. Prowadzone badania wysoko obrotowego silnika 4C90 z wirową komorą spalania w samochodzie dostawczym również wykazały 16% spadek mocy [10].



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna silnika ciągnika John Deere 6830

Fig.2. External engine characteristic of John Deere 6830

Na podstawie wyników innych badań można wnioskować, że przy zasilaniu silnika wysokoprężnego olejem roślinnym następuje spadek mocy o ok. 10-20% oraz wzrasta jednostkowego zużycia paliwa o ok. 15-25% [9, 14, 16]. Przyczyną tego zjawiska jest fakt, że olej roślinny posiada mniejszą wartość opałową z powodu zawartego w nim tlenu [3]. Ponadto różnica ta jest spowodowana tym, że olej napędowy i roślinny są zupełnie innymi substancjami o zbliżonych parametrach. Obniżenie spadku mocy pozostaje w ścisłej korelacji z poziomem zużycia paliwa. Potwierdzają to wyniki przebadanych 38 ciągników rolniczych przystosowanych do oleju roślinnego, gdzie stwierdzono niewielki spadek mocy w większości przypadków, przy wyższym ogólnym zużyciu oleju roślinnego. Wskaźnikiem niezmiennym w odniesieniu do relacji pomiędzy mocą a ogólnym zużyciem paliwa jest zużycie jednostkowe paliwa. Na podstawie tego parametru można przeprowadzić analizę porównawczą między badanymi silnikami. W przypadku omawianych badań poziom zużycia paliwa był porównywalny w przeciwieństwie do generowanej mocy. W badaniach Rathbauera i zespołu [13] różnica spadku mocy została zredukowana poprzez zwiększenie ogólnego zużycia paliwa przez silnik.

4. Wnioski

1. W wyniku badań stwierdzono 15% spadek mocy, co w porównaniu do wcześniej prowadzonych badań, w których stwierdzono spadek mocy 10-20%, jest dobrym rezultatem.
2. Spadek mocy wynika ze zbliżonych dawek paliwa dla oleju napędowego i oleju roślinnego. Nie zaobserwowano różnicy pomiędzy zużyciem paliwa, natomiast z uwagi na spadek mocy przy zasilaniu silnika olejem rzepakowym analogicznie wystąpił wzrost zużycia jednostkowego paliwa o 15% i 19% przy wyższych prędkościach obrotowych.
3. Ilość przepracowanych motogodzin bezawaryjnej pracy na nieprzetworzonym oleju rzepakowym, 1 000 mth w okresie 2 lat w różnych warunkach, świadczy o dobrym przystosowaniu silnika do tego rodzaju paliwa.
4. Zastosowanie jednozbiornikowego systemu paliwa i innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjne firmy John Deere umożliwiają eksploatację ciągnika rolniczego wyłącznie na czystym oleju roślinnym.

5. Literatura

- [1] Bocheński C. I.: Biodiesel Paliwo Rolnicze. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2003.

- [2] Dzieniszewski G.: Analiza możliwości zasilania silnika diesla surowym olejem roślinnym. Inżynieria rolnicza, 2006, nr 12.
- [3] Józwiak D., Szlęk A.: Ocena oleju rzepakowego jako paliwa kotłowego. Energetyka i Ekologia, 2006 nr 6.
- [4] Frąckowiak P.: Badania procesu estryfikacji oleju rzepakowego na paliwo ciągnikowe w prototypowych wytwórniach o wydajności 400 litrów na dobę. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2002, Vol. 47(1), s. 67-73.
- [5] Grzybek A.: Technologie transestryfikacji oleju rzepakowego, Biopaliwa Gliceryny Pasze z Rzepaku. Wydawnictwo Uczelniane ATR w Bydgoszczy, 2004.
- [6] Hemmerlein N., Korte V., Richter H., Schroeder G.: Performance, exhaust emissions and durability of modern diesel engines running on rapeseed oil. SAE Technical Papers Series, 1991, nr 91, 0848.
- [7] Kierski Z., Szczęsny P.: Badania silnika wysokoprężnego S-4002 zasilanego biopaliwem na bazie oleju rzepakowego. Journal of KONES' 94, 1994.
- [8] Kumar M.S., Kerihuel A., Belletre J., Tazerout M.: Experimental investigation on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine. Renewable Energy, 2005, 30(2005), s. 1443-1456.
- [9] Lotko W.: Zasilanie silników spalinowych paliwami alternatywnymi. Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, 1995.
- [10] Lotko W., Nguyen D.M.: Optymalny skład mieszaniny oleju napędowego i rzepakowego do zasilania silnika z wtryskiem bezpośrednim. Silniki Spalinowe, 1995, nr 115.
- [11] Matyschok H. Chemiczno-technologiczne aspekty procesu transestryfikacji olejów roślinnych i tłuszczów alkoholami małowcząsteczkowymi, głównie alkoholem metylowym. Chemik, 2001, 10, 267-277.
- [12] Parkowska M.: Estry metylowe kwasów tłuszczowych. Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, 2005.
- [13] Rathbauer J., Krammer K., Kriechbaum T., Prankl H., Breinesberger J.: Rapsöl als Treibstoffalternative in der Landwirtschaft (mit Anhang II). Endbericht zum Projekt "Pflanzenöltraktoren in Österreich – Rapsöl als Treibstoffalternative für die Landwirtschaft, 2008.
- [14] Szlachta Z.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2002.
- [15] Walisiewicz-Niedbalska W.: Metanoliza. Biopaliwa Gliceryny Pasze z Rzepaku. Wydawnictwo Uczelniane ATR w Bydgoszczy, 2004.
- [16] Zabłocki M.: Olej rzepakowy jako paliwo do silników wysokoprężnych. Teka Komisji Naukowo-Problemovej PAN, Oddział w Krakowie 2, 1990.
- [17] 2ndVegOil projekt 7. Programu Ramowego Nr TREN/FP7/219004.