

Grzegorz DZIENISZEWSKI<sup>1</sup>

## EKOLOGICZNE PROBLEMY BIOPALIW

Wskazano na potencjalne kierunki rozwoju zasilania paliwami pochodzenia roślinnego, zwłaszcza jako metody utylizacji zużytych olejów roślinnych. Przeanalizowano energochłonność procesu wytwarzania paliwa mierzoną emisją dwutlenku węgla w aspekcie celowości stosowania paliw pochodzenia roślinnego. Dokonano analizy energochłonności różnych koncepcji zasilania celem określenia rzeczywistych parametrów ekologicznych silnika zasilanego biopaliwami. Wykazano, że nakłady energetyczne mierzone emisją dwutlenku węgla są znacznie wyższe przy produkcji biopaliw niż przy produkcji paliw konwencjonalnych. Dowiedziono, że bilans energetyczny mierzony emisją CO<sub>2</sub> można zoptymalizować wykorzystując do napędu silników zużyte oleje roślinne. W przypadku stosowania surowych olejów roślinnych, lub jeszcze wyraźniej estrów olejów roślinnych, bilans energetyczny jest niekorzystny i wskazuje na znaczną energochłonność wytwarzania biopaliw. Prowadzone badania dowiodły, że warunkiem koniecznym dla prawidłowej pracy silnika zasilanego zużytym olejem roślinnym jest wyposażenie go w dwupaliwowy układ zasilania zapewniający rozruch silnika na oleju napędowym oraz dwustopniowe podgrzanie oleju rzepakowego do odpowiedniej temperatury. Udowodniono, że wskaźniki pracy silników zasilanych paliwami pochodzenia roślinnego są przeważnie gorsze niż w przypadku zasilania olejem napędowym. Zużycie biopaliw musi być zawsze wyższe niż zużycie oleju napędowego, gdyż wartość opałowa bioopaliwa jest niższa niż oleju napędowego. Dowiedziono, że jednym z wielu kierunków rozwoju koncepcji zasilania silników spalinowych biopaliwami jest stosowanie zużytych posmażalnicy olejów roślinnych. Silniki starszej konstrukcji pracują prawidłowo przy zasilaniu z układem podgrzewającym. Silniki najnowszej konstrukcji dają możliwość wyłącznie stosowania ograniczonych ilościowo domieszek estrów olejów roślinnych stosowanych jako mieszanki z olejem napędowym.

**Słowa kluczowe:** silniki spalinowe, paliwa alternatywne, wskaźniki ekologiczne, oleje roślinne, wskaźniki pracy silników spalinowych

### 1. Wstęp

Współczesne rozważania dotyczące aspektów stosowania paliw alternatywnych wielokrotnie są obciążone nieuzasadnionym optymizmem w odniesie-

---

<sup>1</sup> Grzegorz Dzieniszewski, Instytut Mechatroniki PWSW w Przemyślu, ul. Żołnierzy i Armii Wojska Polskiego 1E, 37-700 Przemyśl, tel. 16 735 52 62, twp@poczta.onet.pl

niu do wskaźników ekologicznych, ekonomicznych i technicznych. Paliwa pochodzenia roślinnego wymagają znacznego nakładu energetycznego a parametry pracy silników zasilanych tymi paliwami bardzo często są gorsze niż w przypadku stosowania paliw konwencjonalnych. Znacznie bardziej obiecujące są próby zasilania silników o zapłonie samoczynnym zużytym olejem roślinnym stanowiącym odpad przemysłu spożywczego. Ze względów technicznych i prawnych, zwłaszcza problemy fiskalne, badania są prowadzone w obszarze zasilania silników stacjonarnych generatorów energii elektrycznej surowymi olejami posmażalniczymi.

## 2. Cel i zakres

Celem niniejszych rozważań jest analiza celowości stosowania paliw roślinnych w różnych wariantach układu zasilania i rodzaju paliwa. Porównanie obejmuje estry oleju rzepakowego, surowy olej rzepakowy oraz zużyty w procesach gastronomicznych olej roślinny. W aspekcie zużytego oleju roślinnego nowatorskie ujęcie problemu polega na wdrożeniu koncepcji silnika dwupaliwowego, którego rozruch następuje na oleju napędowym, a następnie następuje przełączenie na zasilanie posmażalniczym olejem rzepakowym podgrzewanym w dwustopniowym podgrzewaczu [3].

Skomplikowana jest analiza nakładów energetycznych w produkcji paliwa rzepakowego. O ostatecznych wskaźnikach ekologicznych decyduje bowiem szereg czynników, wśród których dominujące są nakłady enegetyczne na zabiegi agrotechniczne, nakłady energetyczne na tłoczenie oleju zależne od technologii procesu, energetyczne koszty transportowo – logistyczne oraz nakłady energetyczne dotyczące procesu estryfikacji [4]. Możliwe jest także stosowanie do napędu silników Diesla nieprzetworzonego oleju rzepakowego, także zużytego oleju roślinnego, co pozwala pominąć nakłady energetyczne ponoszone w związku z procesem estryfikacji, lecz z drugiej strony wymaga ingerencji w układ paliwowy silnika [5].

## 3. Metodyka badań

Czynniki ekologiczne związane z produkcją biopaliwa można obiektywnie zmierzyć emisją CO<sub>2</sub>, gdyż nakłady energetyczne są ponoszone podczas całego procesu prowadzącego do wytworzenia paliwa. Wdrożenie projektu silnika zasilanego zużytym olejem roślinnym zostało zrealizowane poprzez opracowanie koncepcji układu zasilania silnika ZSWVB 7 o mocy 65 kW napędzającego generator elektryczny. Jest to czterocylindrowy, rzędowy silnik wysokoprężny o wtrysku bezpośrednim zasilany rzędową pompą wtryskową firmy MotorPAL.

Olej rzepakowy cechuje silna zależność lepkości od temperatury. Pomimo, że zależność lepkości od temperatury stanowi podstawę opracowania układu dwupaliwowego z dwustopniowym podgrzewaniem, który częściowo eliminuje

wymienione uprzednio niekorzystne zjawiska, należy pamiętać, że o procesie spalania w silniku o ZS decyduje jeszcze szereg innych czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych [7].

Stąd prezentowane w dalszej części rozważań wyniki należy traktować jako wstępne, pamiętając o tym, że całe spektrum parametrów fizycznych i chemicznych paliwa oraz nastaw aparatury wtryskowej ma wpływ na proces spalania w silniku o ZS.

Podgrzewanie odbywa się dwustopniowo. Wymiennik pierwszego stopnia stanowi stalowy zbiornik wewnątrz którego jest wbudowany element grzejny (rys. 1).



Rys. 1. Agregat prądowórczy z widocznym pierwszym stopniem wymiennika ciepła

Fig. 1. Power generator with a visible first stage heat exchanger

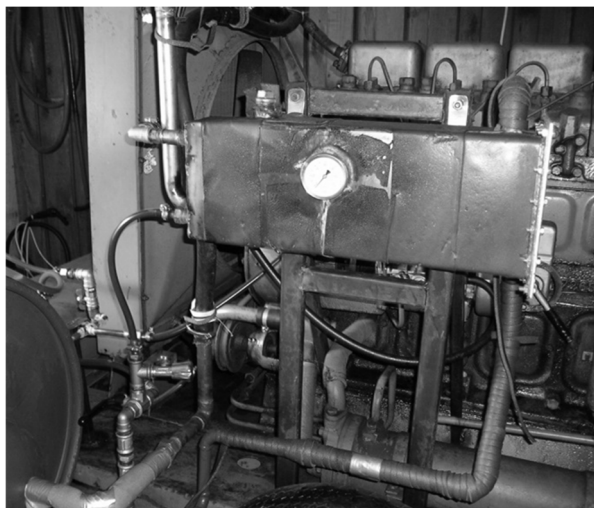
Do elementu grzejnego wymiennika pierwszego stopnia jest dostarczana ciecz z układu chłodzenia silnika (rys. 2). Zbiornik jest wypełniony przepalonym olejem jadalnym, który wstępnie nagrzewa się od elementu grzejnego do około  $40^{\circ}\text{C}$ , przy temperaturze cieczy w układzie chłodzenia około  $70^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 2. Widok elementu grzejącego zabudowanego w wymienniku ciepła

Fig. 2. View of a heating element the is built-in the heat exchanger

Dla poprawnej pracy aparatury wtryskowej silnika olej o temperaturze  $40^{\circ}\text{C}$  jest nadal zbyt gęsty. Rozwiązaniem tego problemu jest dalsze podgrzewanie zużytego oleju roślinnego, tak aby wzrost jego temperatury spowodował obniżenie jego lepkości. Realizacja tego zadania odbywa się w wymienniku drugiego stopnia (rys. 3).

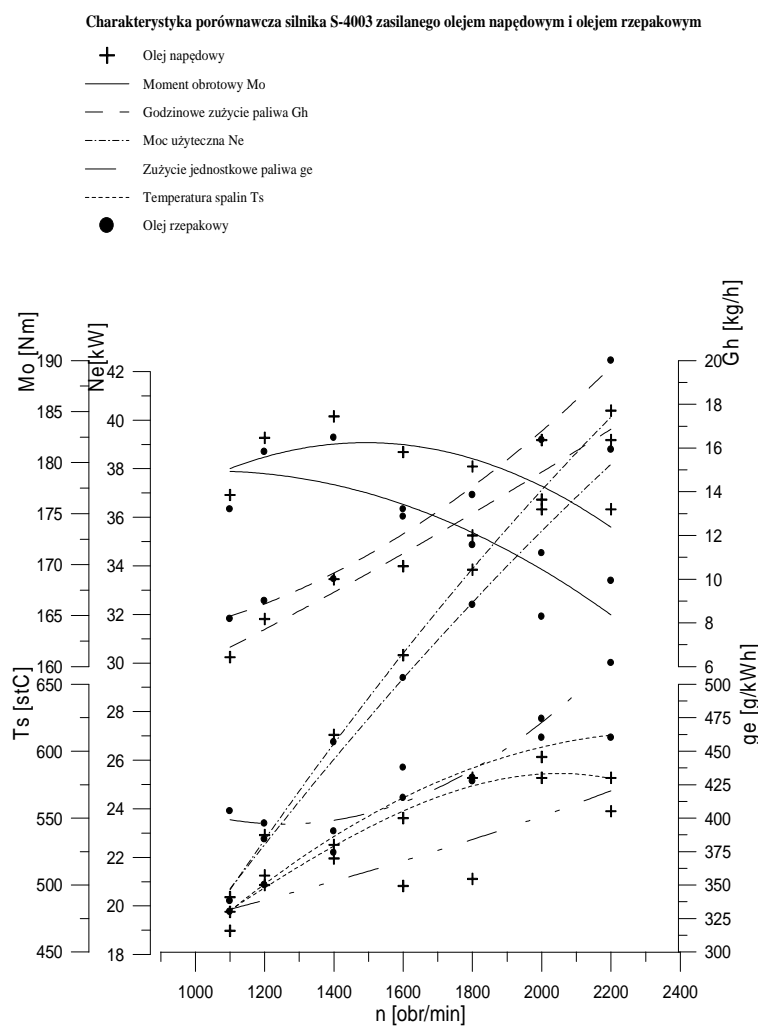


Rys. 3. Wymiennik drugiego stopnia

Fig. 3. Second degree exchanger

### 4. Wyniki analizy i dyskusja

Przeprowadzono badania terenowe silnika ZSWVB 7 napędzającego generator energii elektrycznej oraz porównawcze badania laboratoryjne silnika S-4003 wyposażonego w układ podgrzewający zapewniający temperaturę oleju rzepakowego na wejściu do pompy około 55°C zasilanego surowym olejem rzepakowym oraz zasilanego olejem napędowym (rys. 4).



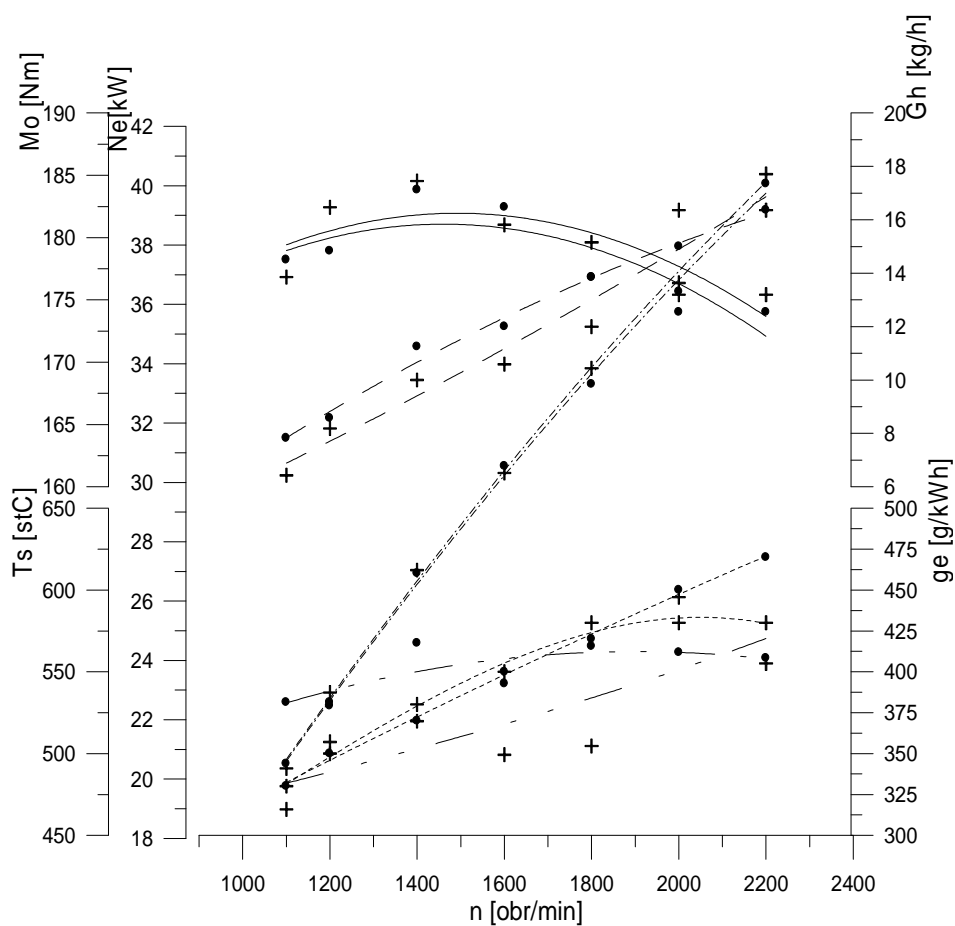
Rys. 4. Wskaźniki pracy silnika zasilanego surowym olejem rzepakowym i olejem napędowym

Fig. 4. Indicators of the engine powered by raw rapeseed oil and diesel fuel

Wykonano charakterystyki porównawcze silnika zasilanego estrami oleju rzepakowego i olejem napędowym (rys. 5).

Charakterystyka porównawcza silnika S-4003 zasilanego olejem napędowym i estrem oleju rzepakowego

- + Olej napędowy
- Moment obrotowy  $M_o$
- - Godzinowe zużycie paliwa  $G_h$
- · · · · Moc użyteczna  $N_e$
- Zużycie jednostkowe paliwa  $g_e$
- · · · · Temperatura spalin  $T_s$
- Ester oleju rzepakowego



Rys. 5. Wskaźniki pracy silnika zasilanego estrami oleju rzepakowego i olejem napędowym

Fig. 5. Indicators of the engine powered by rapeseed oil esters and diesel fuel

Analiza charakterystyk prezentowanych na rys. 4, rys. 5 pozwala zdefiniować następujące wnioski ogólne.

1. Spalanie zużytego oleju roślinnego w silniku o ZS jest możliwe. Zadymienie podczas pracy na oleju rzepakowym utrzymuje się na poziomie zbliżonym do osiąganego na oleju napędowym.
2. Nie występują problemy eksploatacyjne silników zasilanych surowym olejem roślinnym oraz użytym olejem roślinnym.
3. Wykorzystując zużyty olej do zasilania silnika spalinowego napędzającego generator energii elektrycznej z jednej strony w darmowy sposób utylizuje się duże ilości oleju posmażalniczego, a z drugiej strony produkuje znaczne ilości energii elektrycznej.
4. Moc silnika zasilanego surowym olejem rzepakowym jest niższa średnio o 3% w stosunku do mocy silnika zasilanego olejem napędowym.
5. Średnie zużycie jednostkowe paliwa jest większe o około 17% w przypadku zasilania surowym olejem rzepakowym.
6. Przy zasilaniu silnika estrem oleju rzepakowego średnia moc jest niemal identyczna jak moc silnika zasilanego olejem napędowym.
7. Średnie jednostkowe zużycie paliwa w przypadku silnika zasilanego estrami oleju rzepakowego jest większe o 9% od zużycia jednostkowego silnika zasilanego olejem napędowym.
8. Zasilanie surowym olejem powoduje średnio 3% spadek mocy oraz średnio 8% wzrost jednostkowego zużycia paliwa w stosunku do zasilania estrami oleju rzepakowego.
9. Zasilanie silnika biopaliwami powoduje podniesienie temperatury spalin. Wzrost temperatury spalin może powodować zwiększoną emisję tlenków azotu.

Wstępna analiza powyższych wniosków ogólnych może sugerować, że estry oleju rzepakowego są optymalnym biopaliwem do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Osiągi silnika są znacznie lepsze niż w przypadku surowego lub zużytego oleju roślinnego. Nie jest konieczna ingerencja w układ paliwowy silnika. Szczegółowa analiza wymaga jednak przeanalizowania sumarycznych nakładów energetycznych związanych z wytwarzaniem każdego z badanych paliw.

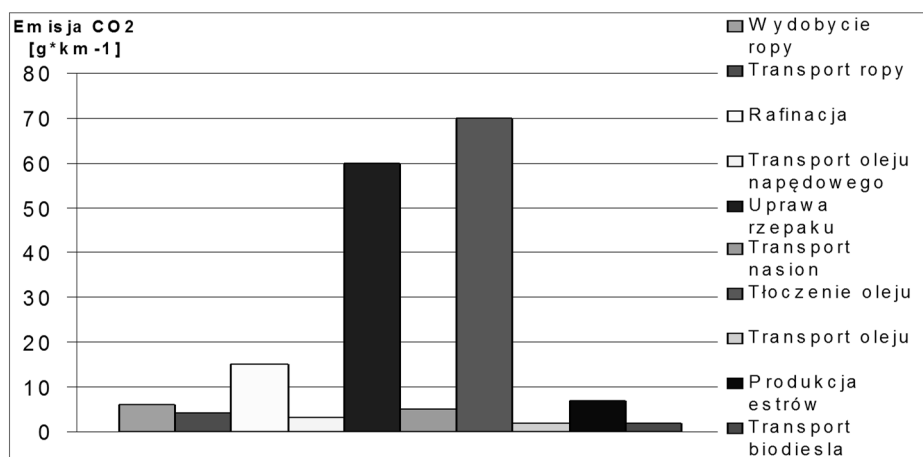
Przyjmując założenia, że z hektara uzyska się 3,5 tony ziarna rzepaku to można będzie wytłoczyć z niego około 1,35 tony oleju rzepakowego, z którego w procesie estryfikacji można uzyskać 1,32 tony estrów oleju rzepakowego. Uprawa rzepaku, zmechanizowane zabiegi agrotechniczne oraz zadania logistyczne spowodują (szacunkowo) wyemitowanie CO<sub>2</sub> w ilości około 1,3 tony na hektar, proces wyłaczania oleju spowoduje wyemitowanie około 0,7 tony CO<sub>2</sub> na hektar, natomiast w procesie estryfikacji do wytworzenia niezbędnej w procesie energii zostanie wytworzone około 0,25 tony CO<sub>2</sub> [2].

Otrzymane rezultaty dowodzą, że emisja CO<sub>2</sub> przy stosowaniu biopaliw jest wyższa niż przy stosowaniu paliw z ropy naftowej [1]. Rysunek 6 przed-

stawia porównanie energochłonności mierzonej ostateczną emisją CO<sub>2</sub> z pojazdu dla wytwarzania porównywanych paliw tj. estrów z rzepaku i oleju napędowego z ropy naftowej oraz biodiesla otrzymywanego z oleju rzepakowego.

Z prezentowanych danych wynika, że sumaryczna emisja obejmująca cały proces wytwarzania porównywanych paliw tj. estrów z rzepaku i oleju napędowego z ropy naftowej, a mierzona poziomem emisji z pojazdu jest wielokrotnie wyższa w przypadku paliwa pochodzenia roślinnego.

Otrzymane wyniki nie pozwalają jednak na formułowanie jednoznacznych wniosków, gdyż podczas uprawy rzepaku pochłaniane są w procesie fotosyntezy znaczne ilości CO<sub>2</sub>, ponadto bilans energetyczny i ekologiczny poprawia możliwość wykorzystania wyłoków [1, 2].



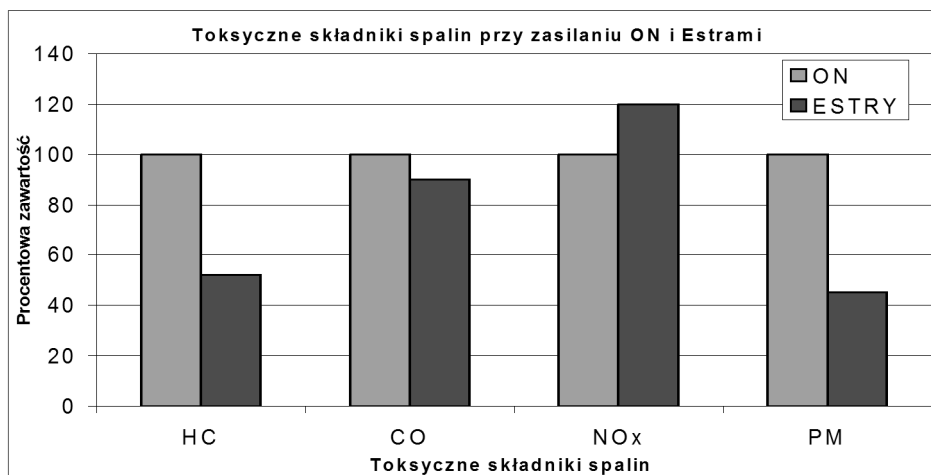
Rys. 6. Sumaryczna emisja CO<sub>2</sub> dla pojazdu zasilanego olejem napędowym i estrami oleju rzepakowego

Fig. 6. The total CO<sub>2</sub> emissions for a vehicle powered by diesel fuel and esters of rapeseed oil

Istotne jest ponadto, że wartość opałowa oleju napędowego wynosi 42 MJ/kg, natomiast wartość opałowa oleju rzepakowego 37 MJ/kg [6].

Wynika stąd wniosek, że zużycie paliwa rzepakowego musi być wyższe minimum o 15% w odniesieniu do zużycia oleju napędowego [8][9].

Analizując wyniki badań prowadzonych dla silników S-4003 można zauważyć, że stosowanie estrów oleju rzepakowego powoduje w stosunku do zasilania olejem napędowym spadek emisji węglowodorów HC, spadek emisji tlenku węgla CO oraz spadek zadymienia spalin mierzony emisją cząstek stałych PM, podnosi natomiast poziom emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> (rys. 7).



Rys. 7. Poziom emisji toksycznych składników spalin przy zasilaniu olejem napędowym i estrami oleju rzepakowego

Fig. 7. The level of toxic exhaust emissions when powered by diesel and rapeseed oil esters

## 5. Podsumowanie i wnioski

Nakłady energetyczne mierzone emisją CO<sub>2</sub> są znacznie wyższe przy produkcji biopaliw niż przy produkcji paliw konwencjonalnych. Jednak znaczne ilości dwutlenku węgla są pochłaniane w zamkniętej cyrkulacji w procesie fotosyntezy.

Bilans energetyczny mierzony emisją CO<sub>2</sub> można zoptymalizować wykorzystując do napędu silników zużyte oleje roślinne. W przypadku stosowania surowych olejów roślinnych, lub jeszcze wyraźniej estrów olejów roślinnych, bilans energetyczny jest niekorzystny i wskazuje na znaczną energochłonność wytwarzania biopaliw. Warunkiem koniecznym dla prawidłowej pracy silnika zasilanego zużytym olejem roślinnym jest wyposażenie go w dwupaliwowy układ zasilania zapewniający rozruch silnika na oleju napędowym oraz dwustopniowe podgrzewanie oleju rzepakowego do odpowiedniej temperatury.

Wskaźniki pracy silników zasilanych paliwami pochodzenia roślinnego są przeważnie gorsze niż w przypadku zasilania olejem napędowym.

Zużycie biopaliw musi być zawsze wyższe niż zużycie oleju napędowego, gdyż wartość opałowa bioapliwa jest niższa niż oleju napędowego.

Przeprowadzone badania i analizy wskazują, że jednym z wielu kierunków rozwoju koncepcji zasilania silników spalinowych biopaliwami jest stosowanie zużytych posmazalniczych olejów roślinnych. Silniki starszej konstrukcji pracują prawidłowo przy zasilaniu z układem podgrzewającym. Silniki najnowszej konstrukcji dają możliwość wyłącznie stosowania ograniczonych ilościowo domieszek estrów olejów roślinnych stosowanych jako mieszanki z olejem napędowym.

## Literatura

- [1] Bocheński C. 2003. Biodiesel paliwo rolnicze. SGGW. Warszawa. ISBN 83-7244-412-9.
- [2] Bocheński C. I. 2006. Ocena nakładów energetycznych i emisji gazów przy produkcji estrów oleju rzepakowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (80). s. 31-37.
- [3] Dzieniszewski G., Piekarski W. 2006. The selected problems of feeding diesel engines with low-processed rape oil. Eksploatacja i Niezawodność 3/2006. PNTTE. Warszawa. s. 58-65.
- [4] Dzieniszewski G. 2007. Wybrane problemy zasilania silnika Diesla zużytym olejem roślinnym. Inżynieria Rolnicza. Nr 9 (97). s. 49–56.
- [5] Dzieniszewski G. 2008. Wybrane problemy stosowania biopaliw do zasilania silników z zapłonem samoczynnym. Inżynieria Rolnicza. Nr 10 (108). s. 39–45.
- [6] Jankowiak S. 2001. Budowa i działanie wytwórni paliwa ciągnikowego z oleju rzepakowego opracowanej w PIMR. Vol. 46, nr 1, s. 76-79.
- [7] Pawlak J. 2000. Czy biopaliwo może być opłacalne, Technika Rolnicza, 4/2000. s. 27-34.
- [8] Szlachta Z. 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WkiŁ. Warszawa. ISBN: 83-206-1459-7.
- [9] Tys J., Piekarski W., Jackowska J., Kaczor A., Zając G., Starobrat P. 2003. Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliw z rzepaku. Acta Agrophysica 99/ 2003. ISSN 1234-4125.

## ECOLOGICAL PROBLEMS OF BIOFUELS

### Summary

Pointed out potential directions of development of power from crop-based fuel, especially as a method of recycling used vegetable oils. Analyzed the energy consumption of the fuel production process measured by carbon dioxide emission in terms of the desirability of the use of crop-based fuels. We analyzed the energy consumption of various supply concepts in order to determine the actual environmental parameters of the engine powered by biofuels. It demonstrated that energy expenditure, measured by carbon dioxide emissions, is considerably higher in the production of biofuel than in the production of conventional fuel. It has been proved that the energy balance measured in CO<sub>2</sub> emission can be optimized by using used vegetable oils to power the engines. In the case of crude vegetable oils, or even better, in esters of plant oils, the energy balance is adverse and shows considerable energy consumption of biofuels. Conducted studies have shown that a necessary condition for the proper engine, powered by waste vegetable oil, to work is equipping it with a bi-fuel supply system that ensures the engine to start on a diesel and dual-stage heating of rapeseed oil to the proper temperature. It has been proven that the work indicators of engines powered by fuels of vegetable origin are generally worse than those for diesel fuel. The use of biofuels must always be higher than the diesel consumption, since the calorific value of them is lower than diesel. It has been proved that one of the many directions of development of the concept of powering combustion engines by the biofuels is using fried vegetable oils. Older engines work properly when running on a heating system. Engines of the latest design offer only the use of the limited quantity of vegetable oil esters used in a blend with diesel.

**Keywords:** combustion engines, alternative fuels, environmental indicators, vegetable oils, pointers to internal combustion engines

*Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.*

*Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.*

DOI: 10.7862/rb.2015.97