

Grzegorz DZIENISZEWSKI  
Uniwersytet Rzeszowski

## WYBRANE ASPEKTY TECHNICZNE I EKOLOGICZNE ZASILANIA SILNIKÓW DIESLA PALIWAMI POCHODZENIA ROŚLINNEGO

Przeprowadzono analizę wskaźników pracy silnika Diesla zasilanego olejem napędowym, surowym olejem rzepakowym i estrami oleju rzepakowego. Wskazano na energochłonność procesu wytwarzania paliwa mierzoną emisją CO<sub>2</sub>. Dokonano analizy energochłonności różnych koncepcji zasilania w celu określenia rzeczywistych parametrów ekologicznych silnika zasilanego biopaliwami.

### Wprowadzenie

Współczesne tendencje w zakresie stosowania paliw alternatywnych wielokrotnie skupiają się wyłącznie na analizie ostatecznych parametrów eksploatacyjnych dowodzących celowości ekologicznych przedsięwzięć. Wskaźniki pracy silników i wynikająca z nich sprawność oraz czynniki ekonomiczne, postrzegane z punktu widzenia ostatecznego odbiorcy paliwa alternatywnego, nie dają jednak podstaw do uznawania każdego paliwa pochodzenia roślinnego za paliwo ekologiczne.

Skutkuje to nieuzasadnionym optymizmem ekologicznym, gdy tymczasem problem ten jest jednak o wiele bardziej złożony. Paliwa pochodzenia roślinnego wymagają znacznego nakładu energetycznego, a parametry pracy silników zasilanych tymi paliwami bardzo często są gorsze niż w przypadku stosowania paliw konwencjonalnych.

### Cel i zakres

Celem niniejszych rozważań jest próba porównania rzeczywistych wskaźników technicznych silników zasilanych paliwami konwencjonalnymi i paliwami pochodzenia roślinnego oraz określenie przesłanek do stosowania paliw alternatywnych do zasilania silników Diesla. Zakres obejmuje gruntowną analizę wskaźników pracy silników zasilanych różnymi rodzajami paliw oraz rozważania ekologiczne na podstawie badań własnych i doświadczeń innych badaczy [1].

Stosunkowo skomplikowana jest analiza nakładów energetycznych w produkcji paliwa rzepakowego. O ostatecznych wskaźnikach ekologicznych decyduje bowiem szereg czynników, wśród których dominujące są nakłady na zabiegi agrotechniczne, nakłady energetyczne na tłoczenie oleju bardzo zależne od technologii procesu, energetyczne koszty transportowo-logistyczne oraz nakłady energetyczne dotyczące procesu estryfikacji [2, 3]. Możliwe jest także stosowanie do napędu silników Diesla nieprzetworzonego oleju rzepakowego, co pozwala pominąć nakłady energetyczne ponoszone w związku z procesem estryfikacji, lecz z drugiej strony wymaga ingerencji w układ paliwowy silnika [4-6].

## Metodyka badań

Analizę oparto na wytypowaniu emisji CO<sub>2</sub> jako głównego wskaźnika w ocenie aspektów ekologicznych stosowania biopaliw. Czynniki ekologiczne związane z produkcją biopaliwa można obiektywnie mierzyć emisją CO<sub>2</sub>, gdyż nakłady energetyczne są ponoszone podczas całego procesu prowadzącego do wytworzenia paliwa.

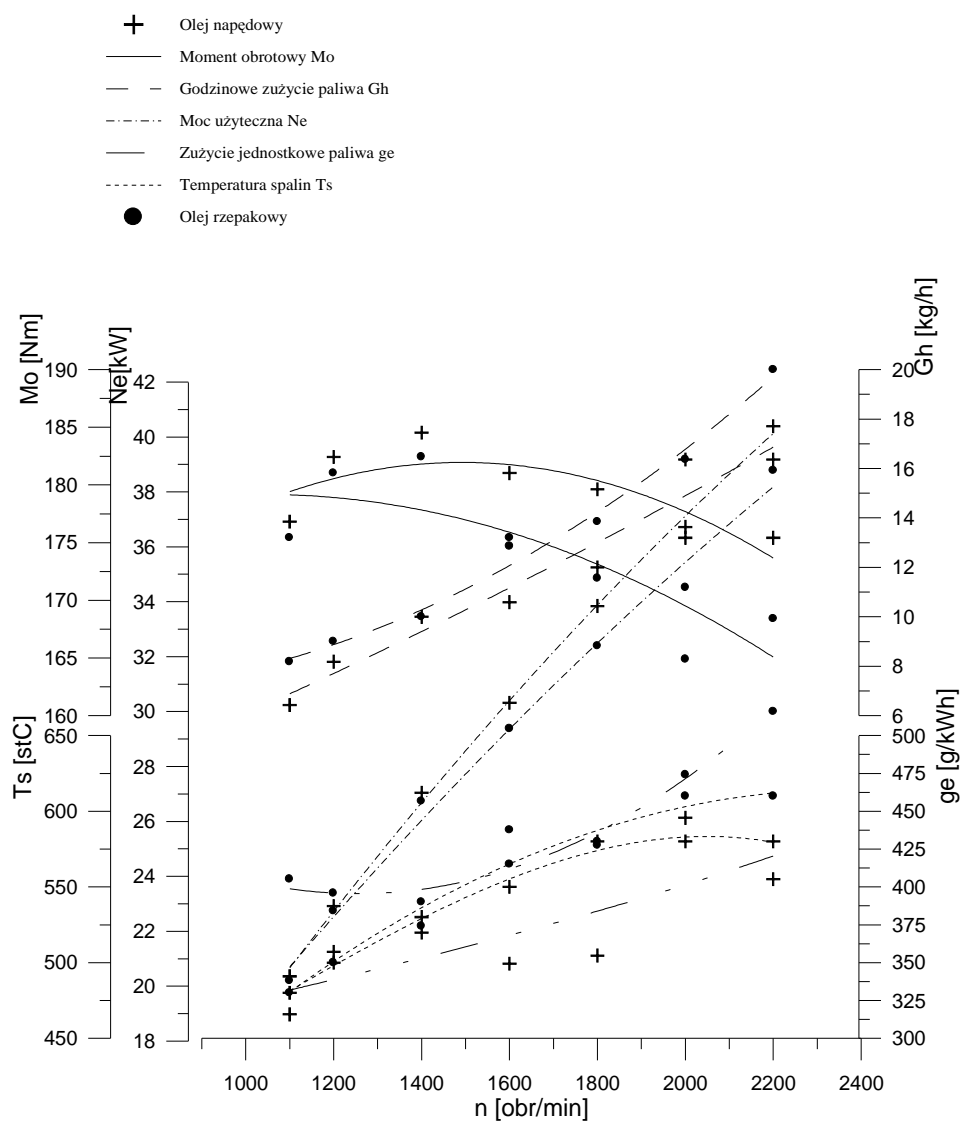
## Wyniki analizy i dyskusja

W celu oceny wskaźników pracy silnika Diesla zasilanego różnymi rodzajami paliw przeprowadzono badania laboratoryjne polegające na wykonaniu charakterystyk zewnętrznych silnika S-4003 zasilanego surowym olejem rzepakowym, wyposażonego w układ podgrzewający zapewniający temperaturę oleju rzepakowego na wejściu do pompy około 55°C (rys. 1.). Wykonano charakterystyki porównawcze silnika zasilanego estrami oleju rzepakowego i olejem napędowym (rys. 2.). Sporządzono także charakterystyki porównawcze silnika zasilanego surowym olejem rzepakowym oraz estrami oleju rzepakowego (rys. 3.). Parametry zmierzone na stanowisku laboratoryjnym i obliczone dla danego rodzaju hamulca silnikowego zestawiono w tabeli 1.

Z analizy danych prezentowanych na rys.1., 2., 3. oraz w tabeli 1. wynikają następujące wnioski ogólne.

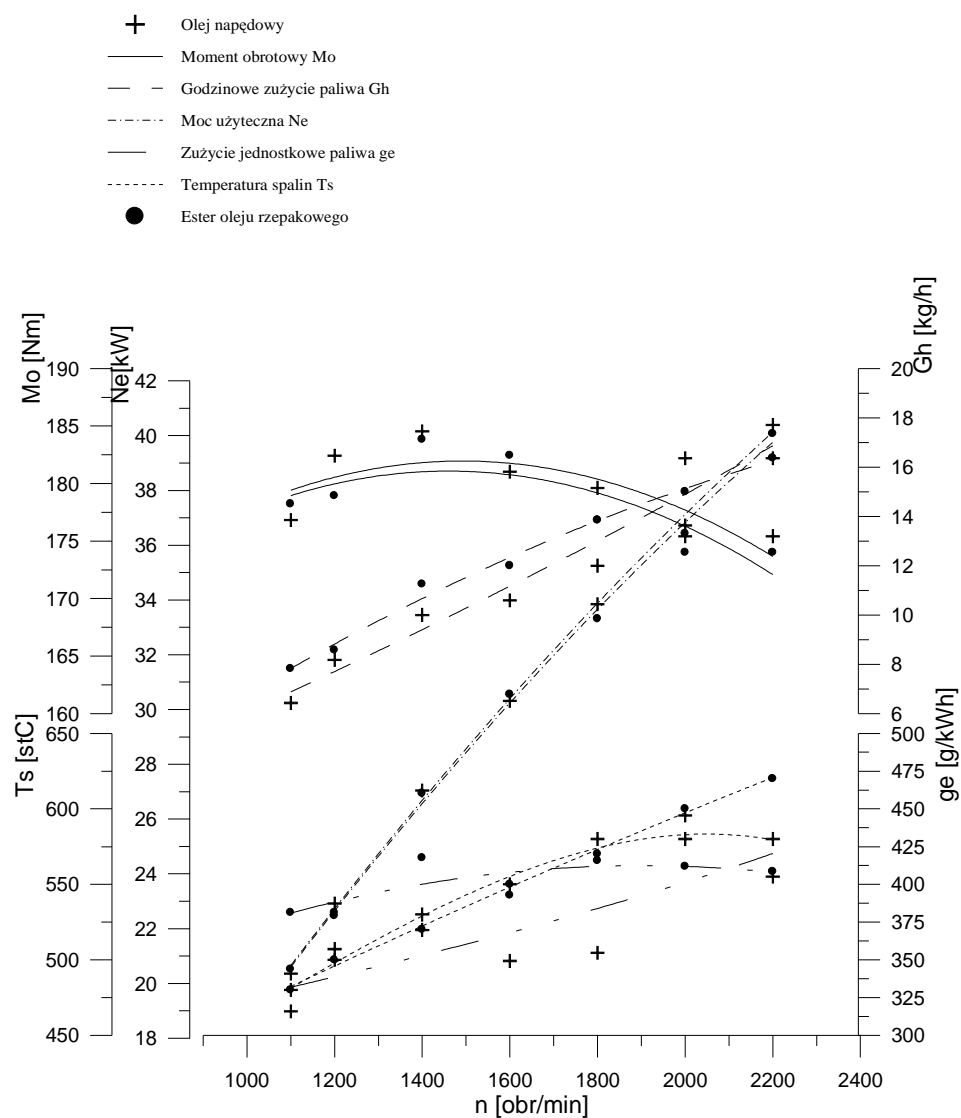
- 1) Moc silnika zasilanego surowym olejem rzepakowym jest niższa średnio o 3% w stosunku do mocy silnika zasilanego olejem napędowym. Istotne, że wyraźny spadek mocy występuje w zakresie średniej i maksymalnej prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Średnie zużycie jednostkowe paliwa jest większe o około 17%, w przypadku zasilania surowym olejem rzepakowym.

## Charakterystyka porównawcza silnika S-4003 zasilanego olejem napędowym i olejem rzepakowym



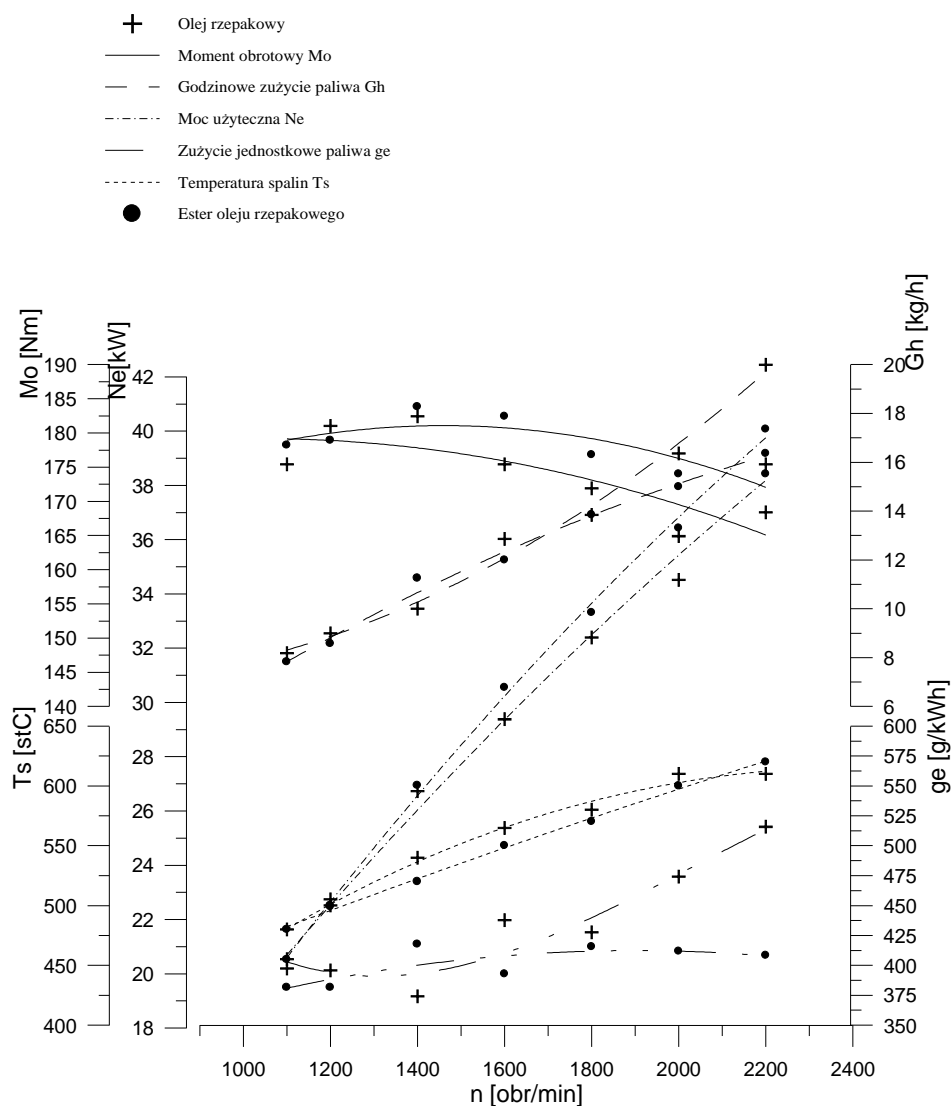
Rys. 1. Wskaźniki pracy silnika zasilanego surowym olejem rzepakowym i olejem napędowym

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



Rys. 2. Wskaźniki pracy silnika zasilanego estrami oleju rzepakowego i olejem napędowym

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



Rys. 3. Wskaźniki pracy silnika zasilanego surowym olejem rzepakowym i estrami oleju rzepakowego

Tabela 1. Wskaźniki pracy silnika S-4003 zasilanego różnymi rodzajami paliw

n [obr/min]	P[kG]	t[s]	T [stC]	Mo [Nm]	Ne[kW]	Gh [kg/h]	ge [g/kWh]
ON							
2200	25	11	580	175,4	40,4	16,4	405,1
2000	25	11	580	175,4	36,7	16,4	445,6
1800	25,6	15	580	179,6	33,8	12,0	354,6
1600	25,8	17	550	181,0	30,3	10,6	349,2
1400	26,3	18	530	184,5	27,0	10,0	369,8
1200	26	22	500	182,4	22,9	8,2	357,1
1100	25,2	28	480	176,8	20,4	6,4	315,8

OR - wejściowa temp. 25 / wyjściowa za podgrzewaczem 55							
2200	24	9	610	168,4	38,8	20,0	515,8
2000	23,5	11	610	164,9	34,5	16,4	474,1
1800	24,5	13	580	171,9	32,4	13,8	427,5
1600	25	14	565	175,4	29,4	12,9	437,7
1400	26	18	540	182,4	26,7	10,0	374,1
1200	25,8	20	500	181,0	22,7	9,0	395,8
1100	25	22	480	175,4	20,2	8,2	405,1

Ester							
2200	24,8	11	620	174,0	40,1	16,4	408,4
2000	24,8	12	600	174,0	36,4	15,0	411,8
1800	25,2	13	570	176,8	33,3	13,8	415,6
1600	26	15	550	182,4	30,6	12,0	392,8
1400	26,2	16	520	183,8	26,9	11,3	417,6
1200	25,5	21	500	178,9	22,5	8,6	381,4
1100	25,4	23	480	178,2	20,5	7,8	381,4

Ne_OR/Ne_ON		ge_OR/ge_ON	
[%]		[%]	
96,0		127,3	
94,0		106,4	
95,7		120,6	
96,9		125,3	
98,9		101,2	
99,2		110,9	
99,2		128,3	
Srednia		117,1	

Ne_Ester/Ne_ON		ge_Ester/ge_ON	
[%]		[%]	
99,2		100,8	
99,2		92,4	
98,4		117,2	
100,8		112,5	
99,6		112,9	
98,1		106,8	
100,8		120,8	
Srednia		109,1	

Ne_OR/Ne_Ester		ge_OR/ge_Ester	
[%]		[%]	
96,0		126,3	
94,0		115,1	
95,7		102,9	
96,9		111,4	
98,9		89,6	
99,2		103,8	
99,2		106,2	
Srednia		107,9	

- 2) W przypadku silnika zasilanego estrem oleju rzepakowego średnia moc jest niemal identyczna jak moc silnika zasilanego olejem napędowym. Średnie jednostkowe zużycie paliwa w przypadku silnika zasilanego estrami oleju rzepakowego jest większe o 9% od zużycia jednostkowego silnika zasilanego olejem napędowym.
- 3) Porównując osiągi silnika zasilanego surowym olejem i estrami oleju rzepakowego, można zauważyć, że zasilanie surowym olejem powoduje średnio 3% spadek mocy oraz średnio 8% wzrost jednostkowego zużycia paliwa w stosunku do zasilania estrami oleju rzepakowego.
- 4) Stosowanie paliw alternatywnych, zwłaszcza surowego oleju rzepakowego, powoduje spadek momentu obrotowego silnika w całym zakresie prędkości obrotowych, zaznaczający się wyjątkowo silnie w zakresie maksymalnej prędkości obrotowej wału korbowego silnika.
- 5) Zasilanie silnika biopaliwami powoduje podniesienie temperatury spalin. Wzrost temperatury spalin oraz utrzymanie współczynnika nadmiaru powietrza w każdych warunkach większego od jedności może powodować zwiększoną emisję szkodliwych tlenków azotu.

Pobieżna analiza podanych wniosków ogólnych może wskazywać, że estry oleju rzepakowego są optymalnym biopaliwem do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Gruntowna analiza wymaga jednak przeanalizowania sumarycznych nakładów energetycznych związanych z wytwarzaniem każdego z badanych paliw.

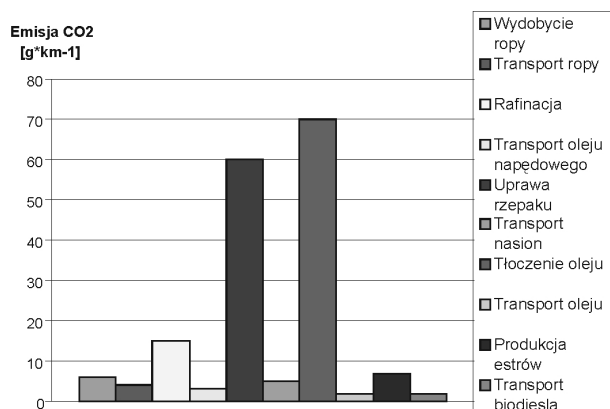
Zakładając, że z hektara uzyska się 3,5 tony ziarna rzepaku, można przyjąć, iż pozwoli to wytłoczyć około 1,35 tony oleju rzepakowego, z którego w procesie estryfikacji można uzyskać 1,32 tony estrów oleju rzepakowego. Uprawa rzepaku, zmechanizowane zabiegi agrotechniczne oraz zadania logistyczne szacunkowo spowodują wyemitowanie CO<sub>2</sub> w ilości około 1,3 tony na hektar, proces wytłaczania oleju spowoduje wyemitowanie około 0,7 tony CO<sub>2</sub> na hektar, natomiast w procesie estryfikacji do wytworzenia niezbędnej energii zostanie wyemitowane około 0,25 tony CO<sub>2</sub> [7, 8].

Otrzymane rezultaty dowodzą, że emisja CO<sub>2</sub> przy stosowaniu biopaliw jest wyższa niż przy stosowaniu paliw z ropy naftowej. Rysunek 4. przedstawia porównanie energochłonności mierzonej ostateczną emisją CO<sub>2</sub> z pojazdu do wytwarzania 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.

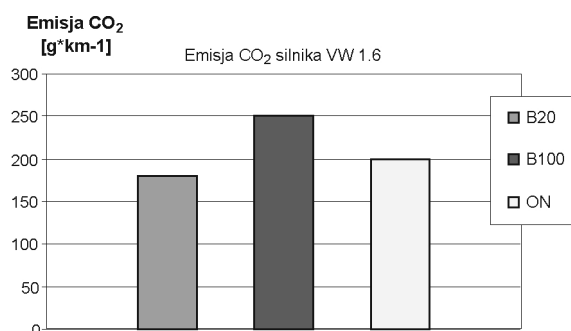
Otrzymane wyniki nie pozwalają jednak na formułowanie jednoznacznych wniosków, gdyż podczas uprawy rzepaku w procesie fotosyntezy pochłaniane są

znaczne ilości CO<sub>2</sub>, ponadto bilans energetyczny i ekologiczny poprawia możliwość wykorzystania wyłoków.



Rys. 4. Sumaryczna emisja CO<sub>2</sub> dla pojazdu zasilanego olejem napędowym i estrami oleju rzepakowego

Odnosząc uogólnione poziomy emisji (rys. 4.) do konkretnego pojazdu o przeciętnym zużyciu paliwa wynoszącym 5 litrów oleju napędowego, można porównać poziomy emisji oleju napędowego (ON), mieszaniny 80% oleju napędowego i 20% estrów (B20) oraz paliwa będącego w 100% estrem oleju rzepakowego (B100). Porównanie takie przedstawia rysunek 5.

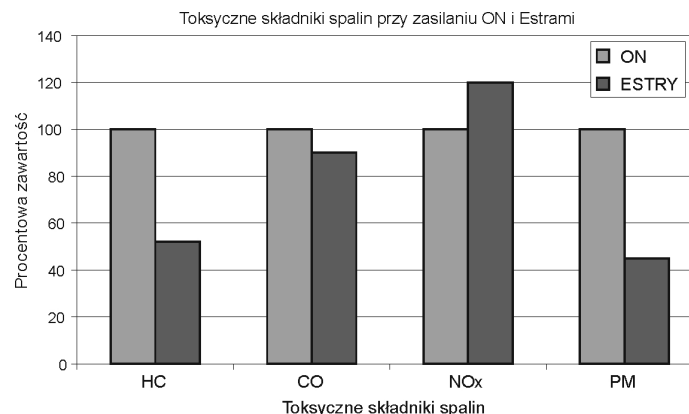


Rys. 5. Zestawienie porównawcze poziomów emisji CO<sub>2</sub> przy zasilaniu różnymi paliwami

Należy także przypomnieć, że wartość opałowa oleju napędowego wynosi 42 MJ/kg, natomiast wartość opałowa oleju rzepakowego 37 MJ/kg [3, 9]. Wynika stąd wniosek, że zużycie paliwa rzepakowego musi być wyższe minimum o 15% w odniesieniu do zużycia oleju napędowego. Stosunkowo trudne, bo zdezeterminowane wieloma czynnikami, jest jednoznaczne określenie wpływu rodzaju paliwa na zawartość toksycznych składników w spalinach. Jak wynika z 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 mierzone emisją cząstek stałych PM, podnosi natomiast poziom emisji tlenków azotu NOx (rys. 6.).



Rys. 6. Poziom emisji toksycznych składników spalin przy zasilaniu olejem napędowym i estrami oleju rzepakowego

## Podsumowanie i wnioski

- 1) Nakłady energetyczne mierzone emisją CO<sub>2</sub> są znacznie wyższe przy produkcji biopaliw niż przy produkcji paliw alternatywnych. Jednak znaczne ilości dwutlenku węgla są pochłaniane w zamkniętej cyrkulacji w procesie fotosyntezy.
- 2) Wskaźniki pracy silników zasilanych paliwami pochodzenia roślinnego są przeważnie gorsze niż w przypadku zasilania olejem napędowym.
- 3) Zużycie biopaliw musi być zawsze wyższe niż zużycie oleju napędowego, gdyż wartość opałowa biopaliwa jest niższa niż oleju napędowego.
- 4) Ekologia spalin w przypadku stosowania biopaliw też nie jest jednoznaczna. Pewne obawy budzi podwyższona zawartość tlenków azotu w spalinach oraz różne poziomy emisji tlenku węgla i cząstek stałych, w zależności od układów zasilania.
- 5) Emisja węglowodorów jest zawsze niższa przy zasilaniu paliwami rzepakowymi, ponadto w spalinach silnika zasilanego olejem rzepakowym mniej jest związków kancerogennych niż w spalinach silnika zasilanego olejem napędowym.

**Bibliografia**

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

**SELECTED ASPECTS INVOLVED IN USING BIOFUELS  
TO POWER DIESEL ENGINES****S u m m a r y**

The paper presents comparative characteristics of work indexes for an engine powered with diesel oil, rape-seed oil preheated to the temperature of 80°C, and rape-seed oil ester. Essential parameters were compared: diesel oil and rape-seed oil, rape-seed oil and rape-seed oil ester, and diesel oil and rape-seed oil ester. Factors determining advisability of using specific power source concepts were pointed out.

*Złożono w redakcji we wrześniu 2010 r.*