

Ocena emisji składników spalin silnika wysokoprężnego zasilanego mieszaninami oleju napędowego z estrami metylowymi oleju rzepakowego

WINCENTY LOTKO

Politechnika Radomska
Wydział Mechaniczny

W artykule zamieszczono wyniki badań silnika AD3.152 zasilanego olejem napędowym (ON) i porównawczo - jego mieszaninami z estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR). Głównym celem badań była ocena wpływu dodatku paliwa EMKOR na emisję limitowanych składników spalin: NO_x , CH, CO, a także CO_2 oraz zadymienia spalin.

1. Wprowadzenie

W ostatnich dwudziestu latach obserwowano bardzo intensywne badania nad zastosowaniem paliw alternatywnych do silników spalinowych. Duży udział w nich stanowiły badania nad zastosowaniem paliw roślinnych do silników wysokoprężnych. Znaczące miejsce mają badania wcześniejsze i obecne nad zastosowaniem paliw roślinnych – rzepakowych do silników wysokoprężnych. Aktualnie znaczący wzrost cen oleju napędowego przyspieszył decyzje o produkcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. Paliwo tego rodzaju jest wytwarzane zgodnie z wymaganiami jakościowymi dla FAME (Fatty Acid Methyl Esters) wg normy PN-EN 14214. W Polsce paliwo FAME określane jest skrótem EMKOR, tj. estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. Różnica w cenie między jednym litrem oleju napędowego a jego mieszaniną z dodatkiem 20 % EMKOR wynosi ponad 20 gr na korzyść biopaliwa. Taką mieszaninę sprzedaje jedna ze stacji paliw Rafinerii Trzebinia. Do pozytywnych cech stosowania paliw roślinnych w stosunku do oleju napędowego można zaliczyć:

- zamknięty obieg dwutlenku węgla,
- minimalną emisję tlenków siarki,
- niewielką zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych,
- niższe zadymienie spalin.

Aktualnie szczególnie ważną kwestią jest ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery. W tym zakresie stosowanie biopaliwa wytwarzanego z roślin oleistych przynosi wymierne korzyści. Badania prowadzone w USA przez Narodowe Laborato-

rium Energii Odnawialnej wykazały, że spalanie biopaliwa jest źródłem emisji CO₂, którego wielkość rozważana w tzw. pełnym cyklu życia paliwa (life cycle analysis) jest mniejsza o 79 % w stosunku do standardowego oleju napędowego [1].

Należy zwrócić uwagę, że zwykły olej rzepakowy charakteryzuje się własnościami fizykochemicznymi, które znacząco utrudniają jego zastosowanie jako paliwa do silników wysokoprężnych. Z tego powodu opracowano technologię produkcji estrów nienasyconych kwasów tłuszczowych, którego własności są zbliżone do standardowego oleju napędowego.

Celem wykonanych badań jest ocena wpływu dodatku estru kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego produkcji Rafinerii Trzebinia do oleju napędowego na emisję limitowanych składników toksycznych spalin, dwutlenku węgla oraz zadymienie silnika AD3.152.

Należy tu przypomnieć, że dotychczasowe badania z tego obszaru prowadzone w różnych ośrodkach badawczo-rozwojowych trudno było porównywać ze sobą, gdyż nie było normy określającej wymagania jakościowe dla biopaliw przeznaczonych do zasilania silników wysokoprężnych. Aktualnie taka norma istnieje i dzięki temu możliwe jest porównywanie wyników badań realizowanych w różnych ośrodkach badawczo - rozwojowych.

Celowym jest wyjaśnienie, dlaczego do badań użyto silnika AD3.152. Otóż jest to silnik wysokoprężny z wtryskiem bezpośrednim, stosowany w polskim rolnictwie jako jednostka napędowa ciągników, maszyn rolniczych i agregatów. Konstrukcja tego silnika jest już stosunkowo stara. Jednak należy sądzić, że w dalszym ciągu wiele takich silników jest wykorzystywanych w sektorze rolnictwa i mogą być one zasilane biopaliwami pochodzenia roślinnego.

2. Charakterystyka paliw rzepakowych

Budowa cząstki oleju rzepakowego jest bardzo odmienna w stosunku do oleju napędowego. Składa się ona z łańcuchów nienasyconych kwasów tłuszczowych o różnej liczbie atomów węgla oraz wiązań podwójnych. W większości estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego cechuje nieznacznie większa gęstość niż standardowego oleju napędowego. Jest to ważne w procesie zasilania paliwem, gdyż pompa wtryskowa podaje dawki paliwa o tej samej objętości. Z tego powodu rzeczywista ilość energii dostarczonej w paliwie EMKOR do komory spalania będzie mniejsza niż w przypadku standardowego oleju napędowego. Wynika to z tego, że paliwa roślinne charakteryzują się niższą wartością opałową w stosunku do paliw pochodzenia mineralnego. Jednak niższa wartość opałowa paliw roślinnych może być częściowo zrekompensowana ich nieco większą gęstością [2-7].

W badaniach wykorzystano 6 różnych mieszanin oleju napędowego ON z EMKOR. Zdecydowano, że objętościowy udział EMKOR w ON dla poszczególnych próbek będzie następujący:

- 100 % ON – 0 % EMKOR,
- 80 % ON – 20 % EMKOR,
- 60 % ON – 40 % EMKOR,

- 40 % ON – 60 % EMKOR,
- 20 % ON – 80 % EMKOR,
- 0 % ON – 100 % EMKOR.

Paliwa, które wykorzystano w badaniach spełniały wymagania zawarte w odpowiednich normach jakościowych. Wybrane parametry badanych paliw, zgodne z tymi normami, zaprezentowano w tabeli 1.

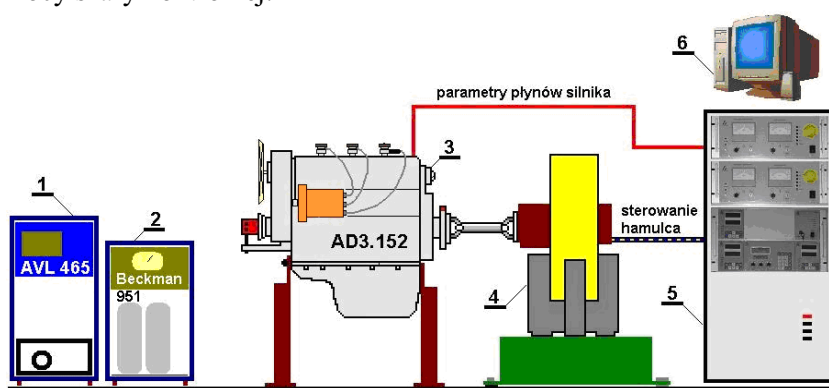
Tabela 1. Zestawienie wybranych własności fizykochemicznych paliwa FAME oraz ON wg aktualnie obowiązujących norm.

Table 1. Chosen physical and chemical properties of FAME and diesel oil according to Polish standard.

Własność paliwa	Jednostka	Zakresy wartości parametrów paliwa FAME zgodne z PN-EN 14214		Wartość parametru dla paliwa ON zgodne z wymaganiami PN-EN 590
		minimum	maximum	
Gęstość w temperaturze 15 °C	kg/m ³	860	900	900
Lepkość w temperaturze 40 °C	mm ² /s	3.5	5.00	5.00
Temperatura zapłonu	°C	120		
Zawartość siarki	mg/kg	-	10.0	10.0
Liczba cetanowa	-	51.0		51.8
Zawartość wody	mg/kg		500	500
Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	24	9	9

3. Stanowisko badawcze i przebieg badań

Schemat stanowiska, które wykorzystano w realizowanych badaniach zaprezentowano na rysunku 1. Obiektem badawczym był silnik AD3.152. Był on połączony wałem przegubowym z hamulcem silnikowym. Pracą silnika i jego hamulca sterowano przy pomocy szafy kontrolnej.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego: 1 – analizator spalin AVL 465, 2 – analizator spalin Beckman (model 951), 3 – badany silnik AD3.152, 4 – hamulec silnikowy, 5 – szafa kontrolna, 6 – stacja robocza.

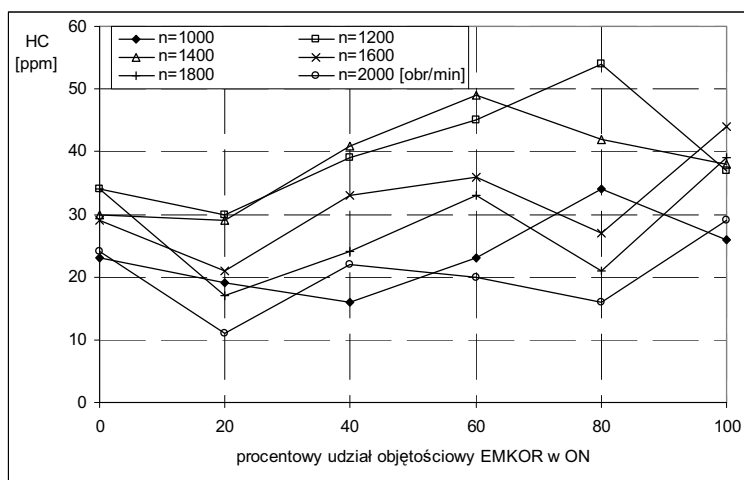
Fig. 1. Diagram of the test stand: 1 – AVL 465 DiGas analyzer, 2 – Beckman analyzer (model 951), 3 – tested engine AD3.152 type, 4 – engine brake, 5 – steering module of engine and its brake, 6 – PC work station.

Badania wykonywano w warunkach prędkościowej charakterystyki eksploatacyjnej silnika, dla nominalnej regulacji jego aparatury wtryskowej paliwa.

4. Wyniki badań

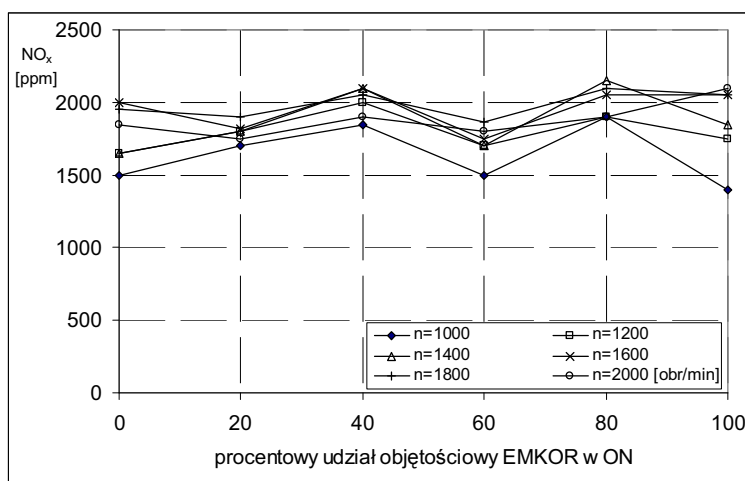
Na kolejnych rysunkach zostaną zaprezentowane wyniki badań dotyczące oceny wpływu składu mieszaniny ON z EMKOR na emisję toksycznych składników spalin, dwutlenku węgla oraz zadymienia silnika AD3.152 pracującego w warunkach prędkościowej charakterystyki eksploatacyjnej. Była ona wykonywana dla sześciu różnych prędkości obrotowych wału korbowego, tj.: 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 i 2000 obr/min.

Rysunki 2 i 3 przedstawiają odpowiednio wpływ składu mieszaniny EMKOR z ON na emisję węglowodorów i tlenków azotu z badanego silnika AD3.152.



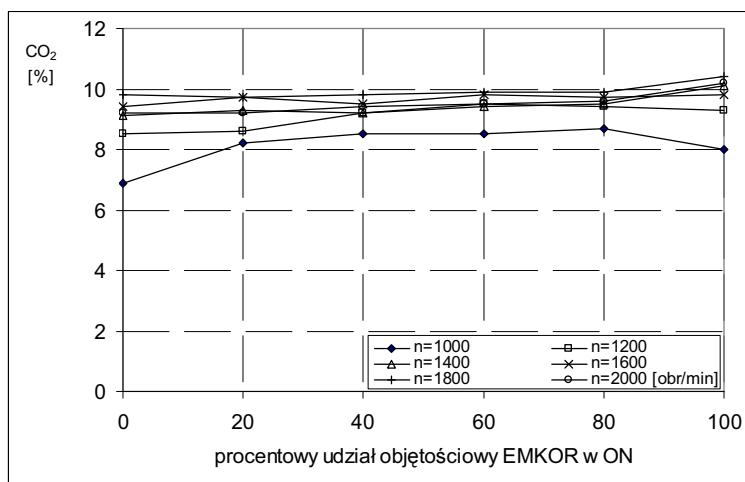
Rys. 2. Emisja węglowodorów z silnika AD3.152 zasilanego badanymi mieszaninami paliw.

Fig. 2. Hydrocarbon emission from AD3.152 diesel engine fuelled with tested fuel blends.



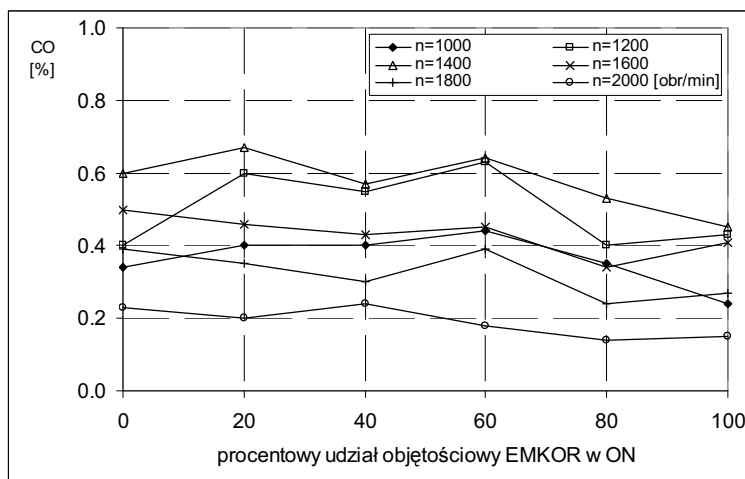
Rys. 3. Emisja tlenków azotu z silnika AD3.152 zasilanego badanymi mieszaninami paliw.
Fig. 3. Oxides of nitrogen emission from AD3.152 diesel engine fuelled with tested fuel blends.

Rysunek 4 pokazuje wpływ składu mieszaniny paliwowej na emisję dwutlenku węgla z badanego silnika.



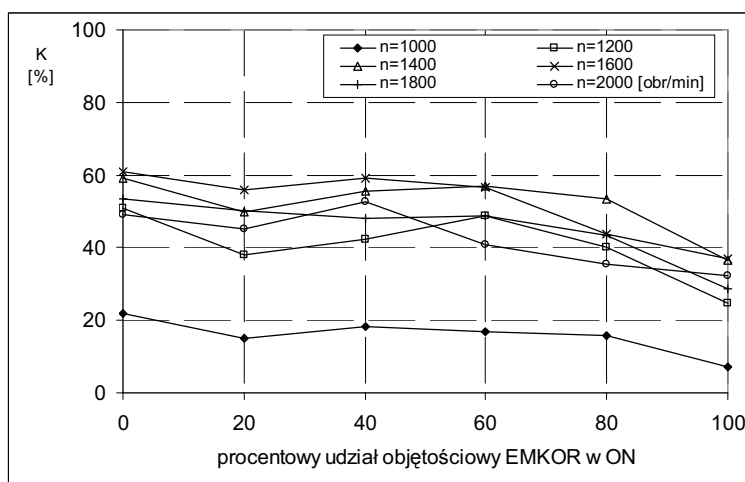
Rys. 4. Emisja dwutlenku węgla z silnika AD3.152 zasilanego badanymi mieszaninami paliw.
Fig. 4. Carbon dioxide emission from AD3.152 diesel engine fuelled with tested fuel blends.

Rysunek 5 przedstawia zmiany emisji tlenku węgla w zależności od składu mieszaniny paliwowej użytej do zasilania badanego silnika AD3.152.



Rys. 5. Emisja tlenku węgla z silnika AD3.152 zasilanego badanymi mieszaninami paliw.
 Fig. 5. Carbon monoxide emission from AD3.152 diesel engine fuelled with tested fuel blends.

Rysunek 6 przedstawia wpływ stosowania różnych mieszanin standardowego oleju napędowego ON z paliwem EMKOR na wielkość zadymienia spalin z badanego silnika AD3.152.



Rys. 6. Zadymienie spalin z silnika AD3.152 zasilanego badanymi mieszaninami paliw.
 Fig. 6. Smoke emission from AD3.152 diesel engine fuelled with tested fuel blends.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań emisji limitowanych składników toksycznych spalin, dwutlenku węgla oraz zadymienia silnika AD3.152 upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Ze względu na najniższą emisję niespalonych węglowodorów optymalna proporcja mieszaniny EMKOR w oleju napędowym ON wyrażona procentowym stosunkiem objętościowym tych paliw wynosi 20:80. Dla tego składu paliwa EMKOR i ON emisja HC jest niższa niż dla 100 % oleju napędowego. Zauważono, że dalsze zwiększanie udziału biokomponentu w paliwie ON wpływa na nieznaczne zwiększenie emisji niespalonych węglowodorów.
2. Emisja tlenków azotu uzyskana dla składu paliwa 20 % EMKOR i 80 % ON jest niższa niż dla 100 % ON dla prędkości obrotowych wału korbowego wyższych od 1200 obr/min. Natomiast dla niższych prędkości nieco wyższa niż dla samego paliwa ON. Przy rosnącej zawartości EMKOR w oleju napędowym można przyjąć, że zawartość tlenków azotu w spalinach jest porównywalna jak dla 100 % ON.
3. Zmiana udziału paliwa EMKOR w mieszaninie z ON nie miała ważnego wpływu na zawartość CO₂ w spalinach. Należy jednak pamiętać, że w aspekcie ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery korzystniejsze jest spalanie EMKOR niż standardowego oleju napędowego.
4. Zastosowanie paliwa EMKOR w mieszaninie z ON miało korzystny wpływ na ograniczenie emisji tlenków węgla z badanego silnika. Zauważono, że wpływ ten był szczególnie wyraźny dla większych udziałów biokomponentu w paliwie bazowym ON.
5. Stwierdzono, że stosowanie paliwa EMKOR jako dodatku do ON ma pozytywny wpływ na zmniejszenie zadymienia spalin. Szczególnie korzystne w tym aspekcie jest stosowanie 100 % EMKOR lub jego 80 % dodatku do paliwa ON. Można przypuszczać, że zmniejszeniu zadymienia spalin będzie towarzyszyło ograniczenie emisji cząstek stałych.

Podsumowując, należy stwierdzić, że w przypadku badanego silnika trudno jest wskazać taki skład mieszaniny EMKOR i ON, który byłby korzystny ze względu na jednoczesne ograniczenie emisji wszystkich szkodliwych składników spalin. Stwierdzono bowiem, że zależy ona nie tylko od składu mieszaniny EMKOR – ON, ale także warunków pracy silnika. Zauważono, że większy udział paliwa EMKOR w mieszaninie z ON wpływa pozytywnie na ograniczenie zadymienia spalin i sprzyja obniżeniu emisji tlenku węgla. Jednak w przypadku emisji niespalonych węglowodorów obserwuje się odwrotną zależność.

Starając się sformułować jeden ogólny wniosek, który podsumowywałby przeprowadzone badania należałoby stwierdzić, że wprowadzanie biokomponentu do standardowego oleju napędowego nie miało niekorzystnego wpływu na zmianę emisji badanych gazów oraz zadymienia spalin. Ponadto należy uwzględnić niewątpliwą korzyść wynikającą z akumulacji dwutlenku węgla przez rośliny oleiste stosowane do produkcji biopaliw. Mając to na uwadze oraz uwzględniając prace innych autorów w zakresie badania emisji zanieczyszczeń wydechowych z silników wysokoprężnych zasilanych biopaliwami, można uznać ich stosowanie za korzystne pod względem ekologicznym i z tego powodu powinno być wspierane.

Literatura

- [1] SHEEHAN, J., V. CAMOBRECO, J. DUFFIELD, M. GRABOSKI, AND SHAPOURI H.: *Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus*. Report from the National Renewable Energy Laboratory for the U.S. Department of Energy's Office of Fuels Development and for the U.S. Department of Agriculture's Office of Energy, NREL/SR-580-24089, May 1998.
- [2] SZLACHTA Z.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*. WKŁ, Warszawa 2002.
- [3] LOTKO W.: *Zasilanie silników spalinowych paliwami alternatywnymi*. ITE. Radom 1995.
- [4] LOTKO W.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi*. WNT, Warszawa 1997.
- [5] LOTKO W.: *Studium zastosowań paliw alternatywnych do silników o zapłonie samoczynnym*. ITE, Radom 2001.
- [6] GOERING C. E., SCHWAB A. W., DAUGHERTY M. J., PRYDE E. H., HEAKIN A.: *Fuel properties of eleven vegetable oils*. Transactions of the Society of Agricultural Engineers, 1982.
- [7] KOWALEWICZ A., LOTKO W.: *Performances and same combustion characteristics of CI engines fuelled with rape oil and its ester*. 21 st International Congres on Combustion Engines "CIMAC" Interlaken 1995, paper D 54.
- [8] ZABŁOCKI M.: *Wtrysk i spalanie paliwa w silnikach wysokoprężnych*. WKŁ, Warszawa 1976.

Estimation of exhaust gas emission of diesel engine fuelled with blends of diesel oil with rapeseed oil methyl esters

S u m m a r y

The paper presents results of investigation on an AD3.152 engine fuelled with diesel oil and, comparatively, with its blends with rapeseed oil methyl esters produced by Trzebinia Refinery. The main goal of this work was an estimation of exhaust gas emission of AD3.152 diesel engine working at full load conditions.