

**Prof. dr hab. inż. Andrzej Ambrozik**

**Dr inż. Tomasz Ambrozik**

**Dr inż. Piotr Łagowski**

Department of Automotive Engineering and Transport  
Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering  
Kielce University of Technology  
Avenue 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Poland  
E-mail: silspal@tu.kielce.pl  
Tel: 041 34 24 332

## **WPLYW PALIWA NA EMISJĘ SZKODLIWYCH SKŁADNIKÓW SPALIN SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM PODCZAS ZIMNEGO ROZRUCHU**

### **FUEL IMPACT ON EMISSIONS OF HARMFUL COMPONENTS OF THE EXHAUST GAS FROM THE CI ENGINE DURING COLD START-UP**

**Słowa kluczowe:** *silnik o zapłonie samoczynnym, rozruch silnika, biopaliwo, emisja spalin*

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań silnika o zapłonie samoczynnym PEUGEOT 2.0 HDI zasilanego handlowym olejem napędowym, mieszaniną B50 (50 % oleju napędowego i 50 % estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego) i oleju napędowego z dodatkiem 5% preparatu EKO-V firmy INWEX. Badania wykonano dla zimnego i rozgrzanego silnika. Podczas rozruchu zimnego silnika temperatura cieczy chłodzącej i oleju smarowego była równa temperaturze otoczenia, natomiast podczas rozruchu silnika ciepłego temperatura oleju silnikowego i cieczy chłodzącej wynosiła 90°C. Wartości stężeń szkodliwych składników spalin zmierzono przed katalizatorem utleniającym zainstalowanym w układzie wydechowym silnika.

**Keywords:** *diesel engine, engine start-up, biofuel, exhaust emission*

**Abstract:** The paper presents the results of tests on the compression ignition PEUGEOT 2.0 HDI engine. It was fuelled by commercial diesel oil, B50 blend (50 % diesel oil and 50 % rapeseed oil fatty acid methyl esters), and blend of diesel oil and 5% EKO-V fuel additive manufactured by INWEX company. The tests were conducted for cold and hot engine. When the engine started up from cold, the temperature of the coolant and lubricating oil was equal to the ambient temperature. In hot engine start-up, the temperature of the engine oil and the coolant was 90 °C. The values of concentrations of the exhaust gas harmful components were measured before the catalytic converter.

## **1. Wstęp**

Obserwowany obecnie gwałtowny rozwój motoryzacji powoduje poszukiwanie nowych paliw do zasilania tłokowych silników spalinowych. W wielu krajowych ośrodkach badawczo – naukowych prowadzone są badania silników zasilanych biopaliwami wytwarzanymi z różnych roślin [1, 2, 3, 12, 13, 14, 17, 26, 27]. Zasilanie silnika biopaliwem ma wiele zalet. Jest to paliwo całkowicie biodegradowalne, zapewniające mniejszą emisję

tlenku węgla, węglowodorów i cząstek stałych ze spalinami [12, 25]. Prowadzone badania dotyczą również oceny wpływu dodatków estrów metylowych i etylowych kwasów tłuszczowych olei roślinnych do olei napędowych na emisję szkodliwych składników spalin podczas zimnego rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym [8, 16, 19, 23, 28, 29]. W artykułach [4, 5, 7, 9, 15, 20, 21] stwierdzono, że w pierwszej fazie rozruchu zimnego silnika emisja tlenku węgla, węglowodorów i cząstek stałych jest większa niż w przypadku rozruchu silnika ciepłego. Oprócz zwiększonej emisji szkodliwych składników spalin podczas zimnego rozruchu mogą pojawić się inne negatywne symptomy np. związane z większymi drganiami, hałasem i bardziej nierównomierną pracą silnika [9, 10]. Zjawiska te mogą wynikać z tego, że podczas zapłonu mieszanki paliwowo – powietrznej w cylindrze panują niesprzyjające warunki np. gorsze rozpylenie i odparowanie wtryskiwanych kropeł paliwa. Na okres opóźnienia samozapłonu wpływa wiele czynników między innymi: temperatura czynnika roboczego, właściwości fizykochemiczne paliwa, przebieg procesu wtrysku i procesu napełniania cylindra powietrzem oraz wiele innych. Podczas normalnej pracy silnika o zapłonie samoczynnym zachodzi w nim pełniejsze spalanie w porównaniu z silnikiem zimnym.

W artykule przedstawiono problem rozruchu zimnego tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym zasilanego handlowym olejem napędowym, jego mieszaniną z estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego B50 (50% handlowego oleju napędowego i 50% estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego) i handlowym olejem napędowym z dodatkiem EKO-V firmy INVEX (95% handlowego oleju napędowego + 5% dodatku do paliw EKO-V firmy INVEX). Przeprowadzone badania związane są z oceną wpływu wyżej wymienionych paliw na emisję szkodliwych składników spalin. Przed procesem spalania w silniku o zapłonie samoczynnym zawsze występuje okres opóźnienia samozapłonu. Jest to bardzo ważny okres w którym następuje wtrysk paliwa oraz zachodzą różnego rodzaju jego przemiany fizyczne i chemiczne stanowiące tak zwane reakcje przedpłomienne.

Właściwości paliwa wtryskiwanego do cylindra wywierają istotny wpływ na czas trwania i niezawodność rozruchu oraz osiągnięcie przez silnik równowagi termicznej. Istotne znaczenie ma tutaj napięcie powierzchniowe paliwa wpływające na jakość rozpylanej strugi. Na jakość strugi rozpylonego paliwa wpływają także inne fizyko-chemiczne właściwości paliw. Czas trwania okresu opóźnienia samozapłonu zależy także od temperatury czynnika roboczego w cylindrze.

Dla zimnego silnika okres opóźnienia samozapłonu jest dłuższy. Wynika to przede wszystkim z dłuższego czasu parowania paliwa powodującego wydłużenie fizycznej fazy opóźnienia samozapłonu. Chemiczny okres opóźnienia zapłonu wywiera także istotny wpływ na okres opóźnienia samozapłonu. Według [18, 22] chemiczny okres opóźnienia zapłonu przy niższej temperaturze czynnika roboczego wydłuża się, ponieważ szybkość reakcji chemicznych maleje znacznie szybciej niż szybkość przemian fizycznych zachodzących w tym okresie. Przy wysokich temperaturach w cylindrze szybkość reakcji chemicznych jest duża, dlatego też okres opóźnienia samozapłonu determinowany jest przez procesy fizyczne, między innymi szybkość wtryskiwania, parowania paliwa i mieszania się par paliwa z powietrzem. Paliwa o wyższych liczbach cetanowych mają lepsze zdolności samozapłonowe i charakteryzują się krótszymi okresami opóźnienia samozapłonu. Rozruch zimnego silnika i emisja szkodliwych składników spalin zależą od właściwości fizyko-chemicznych paliw, takich jak: liczby cetanowej, temperatury destylacji określonej ilości paliwa, lepkości, gęstości, napięcia powierzchniowego, temperatury blokowania zimnego filtra i temperatury krzepnięcia. Paliwo do zasilania silników o zapłonie samoczynnym powinno charakteryzować się dobrą zdolnością do parowania. Paliwa charakteryzujące się niższą temperaturą destylacji

frakcji paliwa zapewniają łatwiejszy rozruch silnika, w szczególności w niskiej temperaturze otoczenia. Paliwa posiadające wyższą liczbę cetanową powodują łatwiejszy rozruch silnika.

W przypadku rozruchu zimnego silnika w spalinach znajduje się więcej niespalonych węglowodorów, oparów paliwa oraz produktów niezupełnego spalania [5, 6]. Jednym z ciekawych rozwiązań zmniejszających stężenie toksycznych składników spalin podczas zimnego rozruchu jest na przykład krótki rozruch silnika bez doprowadzania paliwa, powodujący nagrzanie komory spalania procesem sprężania, przez co uzyskuje się zmniejszenie stężenia tlenu węgla, węglowodorów i cząstek stałych [15]. Podczas zimnego rozruchu silnika wyposażonego w układ recyrkulacji spalin część z nich powraca do cylindra i może powodować skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu [11]. Ze względu na wzrost wymagań dotyczący czystości spalin tłokowych silników spalinowych celem jest stosowanie paliw alternatywnych ograniczających negatywny wpływ silników na środowisko naturalne. Uwzględniając wyżej wymienione tendencje w artykule zbadano wpływ dodatku paliwa FAME oraz ekologicznego dodatku EKO-V firmy INVEX do oleju napędowego na stężenia podstawowych składników spalin podczas zimnego i ciepłego rozruchu silnika spalinowego.

## 2. Obiekt badań i stanowisko pomiarowe

Obiektem badań był czterocylindrowy silnik HDI (High Pressure Direct Injection) wyposażony w systemem common rail i układ recyrkulacji spalin opracowany przez PSA Peugeot Citroen, którego dane techniczne przedstawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Dane techniczne silnika

Silnik o zapłonie samoczynnym PEUGEOT typ DW10TD		
Parametr	Jednostka	Wartość
Układ cylindrów	-	rzędowy
Liczba cylindrów	-	4
Rodzaj wtrysku	-	bezpośredni
Stopień sprężania	-	17,6
Średnica cylindra	mm	85
Skok tłoka	mm	88
Objętość skokowa silnika	dm <sup>3</sup>	1997
Maksymalna moc silnika	kW	66
Prędkość obrotowa mocy maksymalnej	obr/min	4000
Maksymalny moment obrotowy silnika	Nm	209
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu obrotowego	obr/min	1900
Prędkość obrotowa biegu jałowego	obr/min	800

Stanowisko badawcze wyposażone było w urządzenie diagnostyczne KTS 540, dawkomierz paliwa firmy AUTOMEX oraz analizator spalin AVL umożliwiający pomiar stężeń tlenków azotu, węglowodorów, tlenu węgla i dwutlenku węgla. Po zimnym i ciepłym rozruchu silnik pracował przez 120 s na biegu jałowym. Jako zimny rozruch silnika przyjmowano zgodnie z [30] jego rozruch, gdy temperatura silnika była równa temperaturze otoczenia, tj. 15 °C, zaś za rozruch ciepły silnika przyjmowano jego rozruch, gdy temperatura oleju smarowego w silniku wynosiła 90°C. W czasie badań silnik zasilany był handlowym olejem napędowym, mieszaniną B50 i olejem napędowym z 5% ekologicznym wielofunkcyjnym dodatkiem EKO-V firmy INVEX. Dodatek ten scharakteryzowano w pracy

[24]. Według informacji uzyskanej od producenta dodatek ten umożliwia łatwiejszy rozruch silnika i powoduje mniejsze zużycie paliwa.

Badania właściwości fizykochemicznych paliwa stosowanych do zasilania silnika przeprowadzono na analizatorze paliw FTIR ERASPEC firmy „eralytics”, których wyniki przedstawiono w tabeli 2.

*Tabela. 2. Właściwości fizykochemiczne badanych paliw*

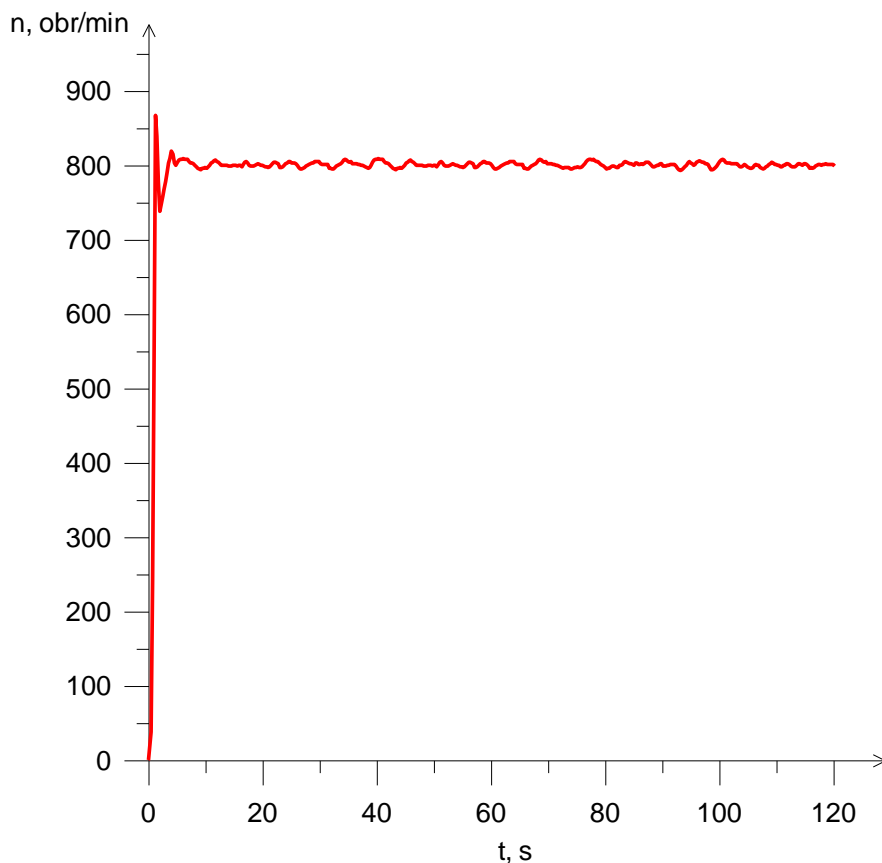
Parametr	Olej napędowy Ekodiesel Ultra D	Paliwo B50	Olej napędowy z 5% dodatkiem EKO-V
Liczba cetanowa	52,4	50,8	55,5
Indeks cetanowy	52,8	51,4	58,2
Gęstość w temperaturze 15°C, kg/m <sup>3</sup>	0,832	0,8535	0,8341
Ilość węglowodorów aromatycznych, % (V/V)	24,2	23,0	20,7
Zawartość FAME, % (V/V)	7,28	53,4	6,02
Punkt destylacji, T10, °C	214,3	246,5	221,4
Punkt destylacji, T50, °C	280,4	336,2	286,2
Punkt destylacji, T90, °C	342,7	369,7	336,3
Punkt destylacji, T95, °C	355,1	371,3	346,2
Temperatura końca destylacji, °C	372,2	384,9	392,0

Uwzględniając istotny wpływ składu frakcyjnego paliwa na jego zdolność do parowania, a tym samym i jego właściwości rozruchowe, w tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów temperatur oddestylowania 10, 50, 90 i 95% (V/V) paliwa. Z przedstawionych w tabeli 2 wyników wynika, że 50% dodatku estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAME do oleju napędowego niekorzystnie wpływa na właściwości rozruchowe paliwa, ponieważ temperatury punktów destylacji T10, T50, T90 i T95 są wyższe w porównaniu z tymi temperaturami dla oleju napędowego. Należy zaznaczyć, że najniższą temperaturę punktu destylacji T10 wynoszącą 214,3 °C otrzymano dla oleju napędowego, zaś najniższą wartość T90 i T95 otrzymano dla oleju napędowego z dodatkiem 5% dodatku ekologicznego EKO-V.

### 3. Wyniki badań eksperymentalnych

Zakres badań eksperymentalnych silnika PEUGEOT 2.0 HDI obejmował pomiary prędkości obrotowej wału korbowego w czasie jego zimnego i ciepłego rozruchu oraz pomiary stężeń: tlenków azotu NO<sub>x</sub>, węglowodorów HC, tlenku węgla CO i dwutlenku węgla CO<sub>2</sub>. Podczas badań silnik pracował przy regulacji ustawionej fabrycznie i zasilany był: handlowym olejem napędowym, mieszaniną estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego i oleju napędowego B50 (50% oleju napędowego i 50% estrów) oraz olejem napędowym i 5% dodatkiem preparatu EKO-V firmy INWEX.

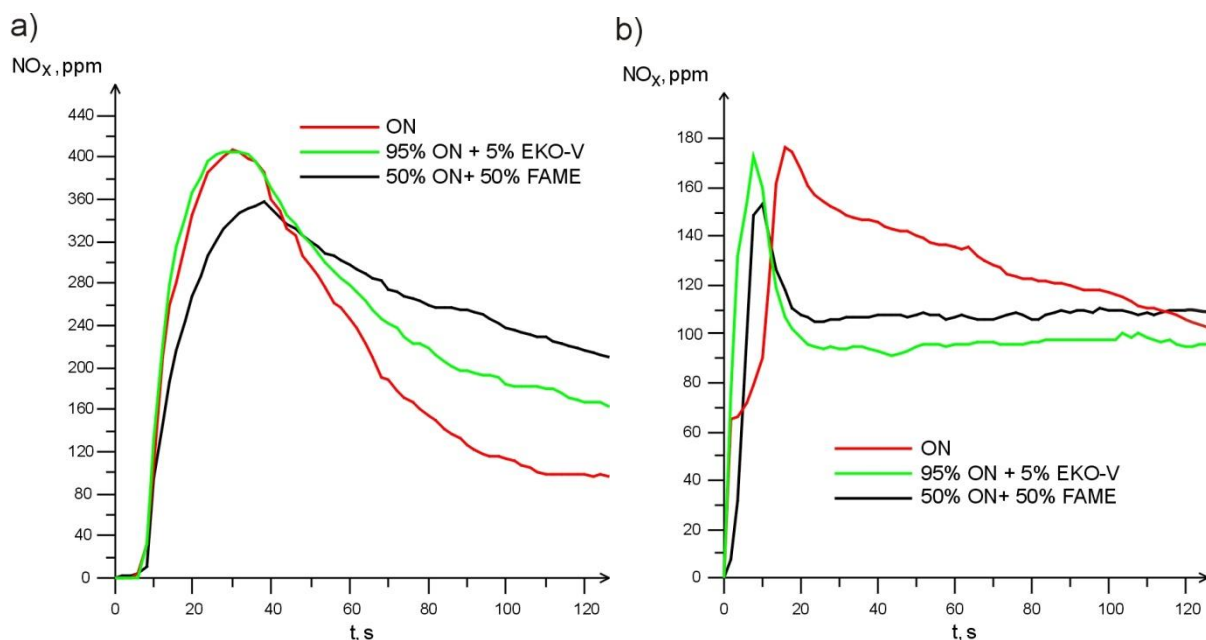
Na rys. 1 przedstawiono wykres prędkości obrotowej wału korbowego silnika podczas jego rozruchu zimnego.



*Rys. 1. Przebieg prędkości obrotowej wału korbowego podczas zimnego rozruchu silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego olejem napędowym*

Z wykresu przedstawionego na rys. 1 wynika, że w pierwszej fazie rozruchu prędkość obrotowa wału korbowego gwałtownie wzrastała do prędkości ok. 870 obr/min, a następnie zmalała do prędkości obrotowej ok. 730 obr/min, po czym po ok. 10 s prędkość ta ustabilizowała się przy wartości równej około 800 obr/min. Prędkość ta odpowiada prędkości biegu jałowego silnika.

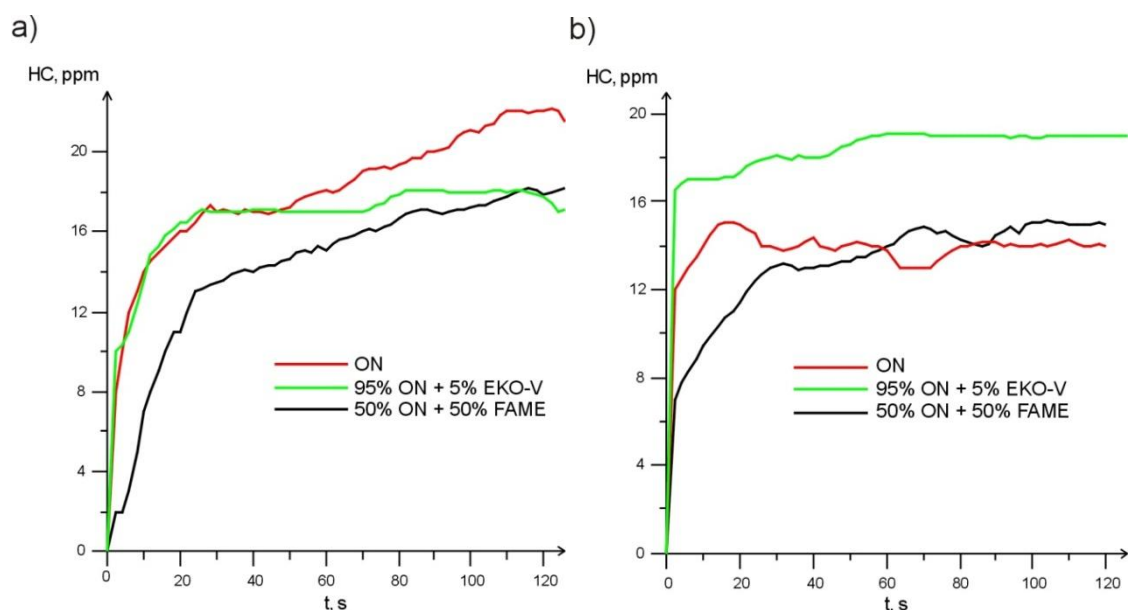
Na rys. 2 przedstawiono wykresy stężeń tlenków azotu w spalinach podczas zimnego i ciepłego rozruchu badanego silnika zasilanego wcześniej wskazanymi trzema różnymi paliwami.



Rys. 2. Przebieg wartości stężenia tlenków azotu w spalinach silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema paliwami podczas: a) rozruchu zimnego silnika; b) rozruchu ciepłego silnika.

Z wykresów przedstawionych na rys. 2 wynika, że w początkowej fazie zarówno zimnego jak i ciepłego rozruchu stężenia tlenków azotu gwałtownie wzrastały. Podczas zimnego rozruchu silnika wartości maksymalnych stężeń tlenków azotu były około dwukrotnie wyższe w porównaniu z tymi stężeniami podczas rozruchu silnika ciepłego. Przy zimnym i ciepłym rozruchu silnika zasilanego mieszaniną B50 otrzymano mniejsze maksymalne wartości stężeń tlenków azotu. W czasie zimnego rozruchu silnika zasilanego mieszaniną B50 stężenia tlenków azotu malały wolniej w porównaniu z zasilaniem go pozostałymi dwoma paliwami. Podczas ciepłego rozruchu silnika zasilanego B50 i mieszaniną oleju napędowego z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V, po upływie około 30 s od rozruchu wartości stężeń tlenków azotu ustabilizowały się na poziomie 90÷110 ppm. Analiza stężeń tlenków azotu w spalinach podczas rozruchu zimnego, w pierwszym okresie pracy wynoszącym około 60 s po rozruchu wskazuje, że przy zasilaniu silnika handlowym olejem napędowym i tym olejem z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V stężenia tlenku azotu są dwukrotnie większe w porównaniu z tymi stężeniami zmierzonymi 100 s po rozruchu silnika. Większe stężenia tlenków azotu otrzymano podczas zimnego rozruchu silnika zasilanego paliwem B50 i olejem napędowym z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V w porównaniu z zasilaniem go w tym okresie olejem napędowym powodowane są większą intensywnością procesu spalania, a zatem i wyższą temperaturą w cylindrze, przez co większa jest także intensywność tworzenia tlenków azotu. Większa intensywność procesu spalania w silniku zasilanym paliwem B50 i olejem napędowym z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V sprzyja szybszemu osiągnięciu przez silnik równowagi cieplnej, podczas której następuje stabilizacja emisji tlenków azotu związanej przede wszystkim z szybkością procesu spalania paliw, którymi zasilany jest silnik.

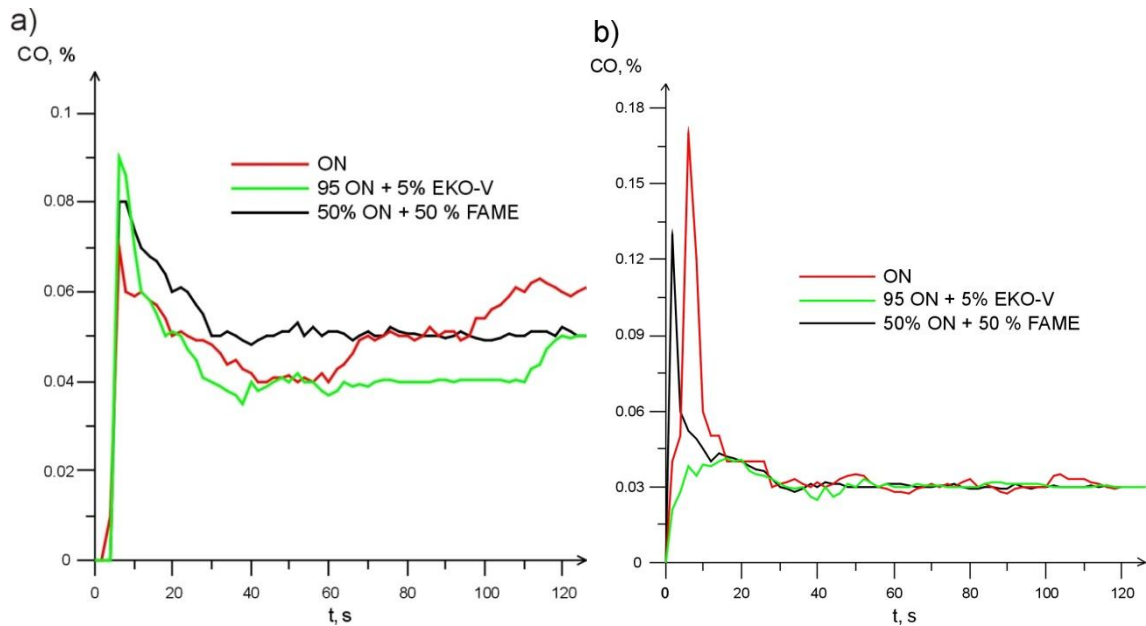
Na rys. 3 przedstawiono przebieg wartości stężeń węglowodorów podczas zimnego i ciepłego rozruchu silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema wcześniej wskazanymi paliwami.



Rys. 3. Przebieg wartości stężeń węglowodorów w spalinach silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema paliwami podczas: a) rozruchu zimnego silnika; b) rozruchu ciepłego silnika.

Z analizy wykresów przedstawionych na rys. 3 wynika, że podczas zimnego rozruchu silnika w początkowej jego fazie stężenia węglowodorów są mniejsze w porównaniu z ich wartościami podczas rozruchu silnika ciepłego. Powodem tego może być niższa temperatura ścianek komory spalania, przez co mniejsza jest intensywność parowania i dyfuzji tych par do powietrza w czasie tworzenia mieszanki palnej. Dlatego też większa ilość paliwa miesza się w warstwie przyściennej z olejem smarującym i spływa do skrzyni korbowej silnika. Podczas zimnego rozruchu silnika najmniejsze stężenia węglowodorów otrzymano przy jego zasilaniu paliwem B50. Dla ciepłego rozruchu silnika największe stężenia węglowodorów otrzymano przy zasilaniu go mieszaniną oleju napędowego z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V. Niewielki wzrost stężeń węglowodorów podczas ciepłego rozruchu silnika zasilanego handlowym olejem napędowym z 5% dodatkiem EKO-V i paliwem B50 może być powodowany obniżaniem się temperatury silnika, który pracował na biegu jałowym. Wzrost stężeń węglowodorów podczas zimnego rozruchu silnika może być spowodowany niecałkowitością i niezupełnością spalania się paliwa wtryskiwanego do cylindra. Podczas procesu spalania mieszanka paliwowo-powietrzna nie jest jednorodna, a istnieją strefy mieszanki o różnej wartości współczynnika nadmiaru powietrza.

Wykresy wartości stężenia tlenku węgla w spalinach silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema wybranymi do badań paliwami przedstawia rys. 4.

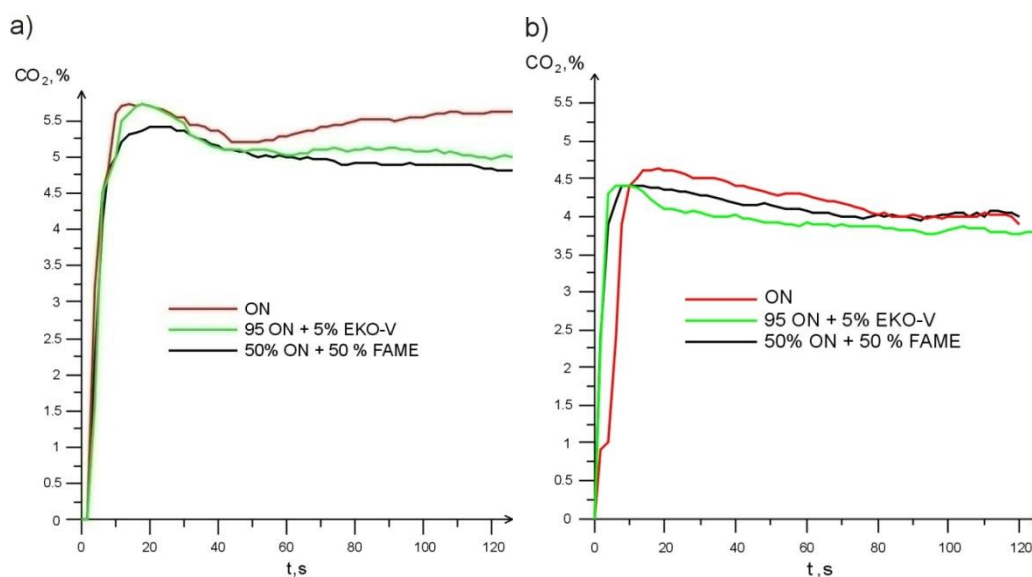


Rys. 4. Przebieg wartości stężenia tlenku węgla w spalinach silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema paliwami podczas: a) rozruchu zimnego silnika; b) rozruchu ciepłego silnika.

Stężenia tlenku węgla w początkowej fazie rozruchu silnika gwałtownie wzrosły, zarówno podczas rozruchu zimnego, jak i ciepłego silnika zasilanego olejem napędowym i mieszaniną B50. Stężenia tlenku węgla podczas rozruchu zimnego silnika ustabilizowały się po około 30 s przy zasilaniu go wszystkimi wytypowanymi do badań paliwami. Dla silnika zasilanego olejem handlowym z dodatkiem EKO-V podczas zimnego rozruchu po około 30 s jego pracy otrzymano najmniejsze stężenia tlenku węgla. Podczas rozruchu ciepłego silnika zasilanego olejem napędowym z dodatkiem EKO-V w pierwszym okresie rozruchu (do około 15 s) otrzymano najmniejsze stężenia tlenku węgla. Z wykresu przedstawionego na rys. 4b wynika, że podczas rozruchu ciepłego silnika i przy zasilaniu go handlowym olejem napędowym oraz paliwem B50 w pierwszym okresie jego pracy (do około 10 sekund) spalanie nie zachodziło w sposób całkowity i zupełny, co było przyczyną większej emisji tlenku węgla.

Na rys. 5 przedstawiono wartości stężenia dwutlenku węgla podczas rozruchu zimnego i ciepłego silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema wcześniej wskazanymi różnymi paliwami.





Rys. 5. Przebieg wartości stężenia dwutlenku węgla w spalinach silnika Peugeot 2.0 HDI zasilanego trzema paliwami podczas: a) rozruchu zimnego silnika; b) rozruchu ciepłego silnika.

Stężenia dwutlenku węgla po około 10 sekundach licząc od rozruchu zimnego i ciepłego silnika ustabilizowały się. Większe stężenie dwutlenku węgla otrzymano podczas rozruchu zimnego silnika, które wynosiło  $5,0 \div 5,6$  %. Podczas rozruchu ciepłego silnika stężenie dwutlenku węgla po 10 sekundach wynosiło  $3,8 \div 4,6$  %. W czasie rozruchu zimnego silnika i przy zasilaniu go handlowym olejem napędowym większe stężenia dwutlenku węgla spowodowane były spalaniem większej, rozruchowej dawki paliwa doprowadzanej do cylindra w czasie rozruchu.

#### 4. Wnioski

Na podstawie analizy wyników otrzymanych z przeprowadzonych badań eksperymentalnych można sformułować następujące wnioski:

- okres rozruchu zimnego silnika charakteryzuje duże stężenie tlenków azotu,
- zastosowanie dodatków estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego do oleju napędowego powoduje w pierwszym okresie pracy zimnego silnika (do 40 s po rozruchu) zmniejszenie stężeń tlenków azotu i węglowodorów w spalinach,
- stężenia tlenku węgla i dwutlenku węgla podczas rozruchu zimnego silnika są większe w porównaniu z silnikiem, który podczas rozruchu jest nagrzany,
- podczas rozruchu zimnego silnika w początkowym okresie jego pracy otrzymano gwałtowny wzrost stężenia tlenku węgla i dwutlenku węgla w spalinach,
- wartości stężeń tlenku węgla i dwutlenku węgla w spalinach podczas rozruchu silnika zasilanego badanymi paliwami były porównywalne,
- podczas rozruchu ciepłego silnika, po około 20 sekundach otrzymano najmniejszą wartość tlenków azotu w przypadku zasilania silnika olejem napędowym z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V,
- podczas rozruchu ciepłego silnika otrzymano największą wartość stężenia węglowodorów w przypadku zasilania silnika olejem napędowym z 5% dodatkiem ekologicznym EKO-V.

Reasumując należy stwierdzić, że ilości szkodliwych składników spalin podczas zimnego rozruchu silnika są znacznie większe w porównaniu z tymi ilościami dla silnika uruchamianego po jego nagrzaniu.

## Literatura

1. Ambrozik A., Ambrozik T., Jakóbiec J., Łagowski P. Relationship between fuel spray parameters and heat release characteristics in self-ignition engine. *Monografia Zespołu Systemów Eksploatacji PAN „Problems of maintenance of sustainable Technological Systems”*, Wydawnictwo Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne 2010; 1: 7-17.
2. Ambrozik A., Ambrozik T., Łagowski P. The influence of hydrocarbon fuels and biofuels on self-ignition delay period. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa 2007*, 7: 15-23.
3. Ambrozik A., Ambrozik T., Orliński P., Orliński S. Wpływ zasilania silnika Perkins 1104C bioetanolem na ekonomiczne i energetyczne wskaźniki jego pracy. *Logistyka 2011*; 3: 29-36.
4. Bielaczyc P, Merkisz J, Pielecha J. A method of reducing the exhaust emissions from DI diesel engines by the introduction of a fuel cut off system during cold start. *SAE Technical Papers 2001*; 2001-01-3283.
5. Bielaczyc P, Merkisz J, Pielecha J. Investigation of exhaust emissions from DI diesel engine during cold and warm start. *SAE Technical Papers 2001*; 2001-01-1260.
6. Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J. Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2001.
7. Broatch A., Lujan J. M., Ruiz S., Olmeda P. Measurement of hydrocarbon and carbon monoxide emissions during the starting of automotive DI diesel engines, *International Journal of Automotive Technology 2008*, 9(2): 129-140.
8. Brzozowski K., Wojciech S. Wyznaczanie natężenia emisji po zimnym rozruchu silnika z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych, *Archiwum Motoryzacji 2007*; 2: 119-134.
9. Drożdziel P. Badania wybranych parametrów rozruchu samochodowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym. Zeszyt nr 13. *Rozruch silników spalinowych. Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Polska Akademia Nauk Oddział w Lublinie, Politechnika Szczecińska 2005*; 53-60.
10. Drożdziel P. Start-up of a diesel engine, *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2007*, 2: 51-59.
11. Haiyong Peng, Yi Cui, Lei Shi, Kangyao Deng. Effects of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion and emissions during cold start of direct injection (DI) diesel engine, *Energy 2008*; 33: 471-479.
12. Jakóbiec J. Efektywność i aspekt ekologiczny zasilania silników spalinowych paliwami odnawialnymi, *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej 2010*; 156-160.
13. Kruczyński S., Orliński P., Biernat K. Olej lniankowy jako biopaliwo dla silników o zapłonie samoczynnym. *Przemysł Chemiczny 2012*; 1: 111-114.
14. Kruczyński S. Performance and emission of CI engine fuelled with camelina sativa oil, *Energy Conversion and Management 2013*; 65: 1-6.
15. Kuranc A. The ecological aspect of a cold and hot starting of a spark ignition combustion engine, *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 2008*; 2: 40-44.
16. Mario Luciano Randazzo, Jose Ricardo Sodre. Cold start and fuel consumption of a vehicle fuelled with blends of diesel oil-soybean biodiesel-ethanol, *Fuel 2011*; 90: 3291-3294.

17. Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S. Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej, Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2012.
18. Mysłowski J. Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym, Warszawa: Wydawnictwo Nauk Technicznych, 1996.
19. Myung C.L, Park S. Exhaust nanoparticle emissions from internal combustion engines: a review, *International Journal of Automotive Technology* 2012; 13(1): 9–22.
20. Octavio Armas, Reyes García-Contreras, Ángel Ramos. Pollutant emissions from engine starting with ethanol and butanol diesel blends, *Fuel Processing Technology* 2012; 100: 63–72.
21. Payri F., Broatch A., Salavert J.M., Martín J. Investigation of Diesel combustion using multiple injection strategies for idling after cold start of passenger-car engines, *Experimental Thermal and Fluid Science* 2010; 34: 857–865.
22. Pszczółkowski J. Charakterystyki rozruchowe silników o zapłonie samoczynnym, Warszawa: Wydawnictwo Stowarzyszenie Edukacyjne Pedagogów Praktyków „Cogito”, 2004.
23. Serdecki W. Badania silników spalinowych, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2012.
24. Szczepaniak S., Szczepaniak R. Ekologiczne dodatki do paliw motorowych, *Przemysł Chemiczny* 2004; 1: 3-4.
25. Szlachta Z. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi, Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2005.
26. Wcisło G. Application of the cold stamping method for rapeseed oil extraction, *Teka Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa* 2006; 6: 175–181.
27. Węgrzyn A., Zając G. Analysis of work parameters changes of diesel engine powered with diesel fuel and FAEE blends, *Eksplatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2008; 2: 17-24.
28. Zając G., Piekarski W. Ocena poziomu zużycia paliwa przez silnik o zapłonie samoczynnym przy zasilaniu FAME i FAEE. *Inżynieria Rolnicza* 2009; 8(117): 281-288.
29. Zając G., Piekarski W., Krzaczek P. Ocena zużycia paliwa przez silnik o zapłonie samoczynnym przy zasilaniu wybranymi paliwami. *Inżynieria Rolnicza* 2008; 2(100): 323-330.
30. BN-82/1374-10. Określanie właściwości rozruchowych w niskich temperaturach.