

VII Young Scientists Academy

13-15.11.2023



www.ptnss.pl



**Analiza porównawcza procesu spalania
paliw alternatywnych pochodzenia odpadowego
w nowoczesnym silniku badawczym**

Arkadiusz Rybak

Politechnika Lubelska

Katedra Zrównoważonego Transportu i Źródeł Napędu



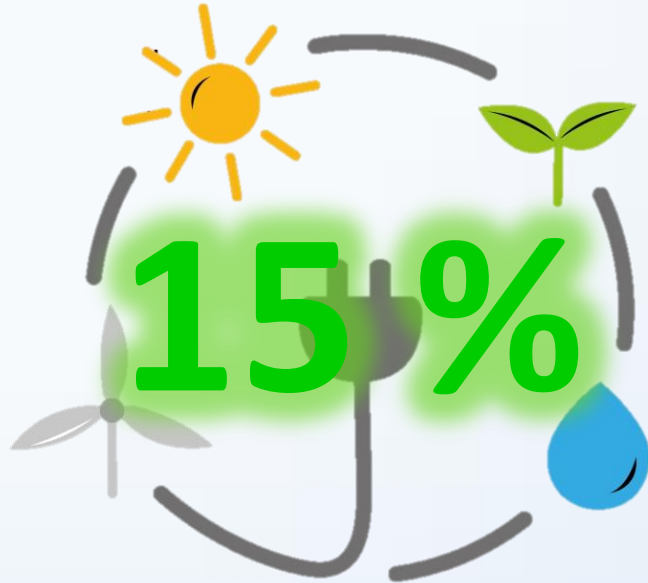
- Globalny rozwój gospodarczy prowadzi do stałego wzrostu zapotrzebowania na surowce energetyczne.
- Produkty naftowe nadal odgrywają tu kluczową rolę, stanowiąc główne źródło napędu w sektorze transportu.
- W wyniku postępującej elektryfikacji szacuje się spadek zużycia benzyny i wzrost zużycia oleju napędowego.





- Ciągłe zainteresowanie silnikami o zapłonie samoczynnym wynika przede wszystkim z faktu, że znajdują one zastosowanie w sektorze transportu ciężkiego, transporcie morskim oraz w zastosowaniach poza drogowych.
- Specyfika tych sektorów znacząco ogranicza ich elektryfikację.
- Liczne prognozy wskazują, że w dającej się przewidzieć przyszłości silniki spalinowe pozostaną główną siłą napędową sektora transportu.





- Dążenia do osiągnięcia celów w zakresie zmian klimatycznych, określonych w „Porozumieniu Paryskim” z 2015 r.
- Dynamiczny rozwój sektora energii odnawialnej.
- Szacuje się, że do roku 2040 paliwa odnawialne będą stanowić około 15% produkcji energii pierwotnej.

➤ Z tych samych szacunków wynika jednak, że pozwoli to pokryć jedynie połowę wzrostu zapotrzebowania na energię.

Zasadne jest zatem intensyfikowanie badań w obszarze paliw ze źródeł odnawialnych.





- Obecnie możemy wyróżnić dwie odmiany odnawialnego oleju napędowego, estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) i hydrowerfinowany olej roślinny (HVO). Charakteryzują się one wysokim stopniem wykonalności technologicznej umożliwiającą produkcję na skalę przemysłową.
- Istotną wadą zarówno FAME, jak i HVO, w przypadku paliw pierwszej generacji, jest konieczność konkurencji o surowiec z przemysłem spożywczym.
- Rozwiązaniem powyższych problemów jest wprowadzenie dywersyfikacji surowców w produkcji paliw alternatywnych.



Aby zapewnić ciągłość i opłacalność produkcji, surowiec powinien być łatwo dostępny w dużych ilościach i niedrogi.

Globalną ilość zużytych opon szacuje się na 29 000 000 ton rocznie, przy tempie wzrostu 4% rocznie!

Globalną ilość odpadów z tworzyw sztucznych szacuje się na 360 000 000 ton rocznie. Od 2000 roku liczba ta podwoiła się!



- Procesem, który pozwala przetworzyć bezużyteczne odpady w wartościowe paliwo jest piroliza.
- Termiczny rozkład ciał stałych w środowisku beztlenowym.
- Umożliwia jednoczesną syntezę zarówno materiałów syntetycznych, jak i biologicznych.





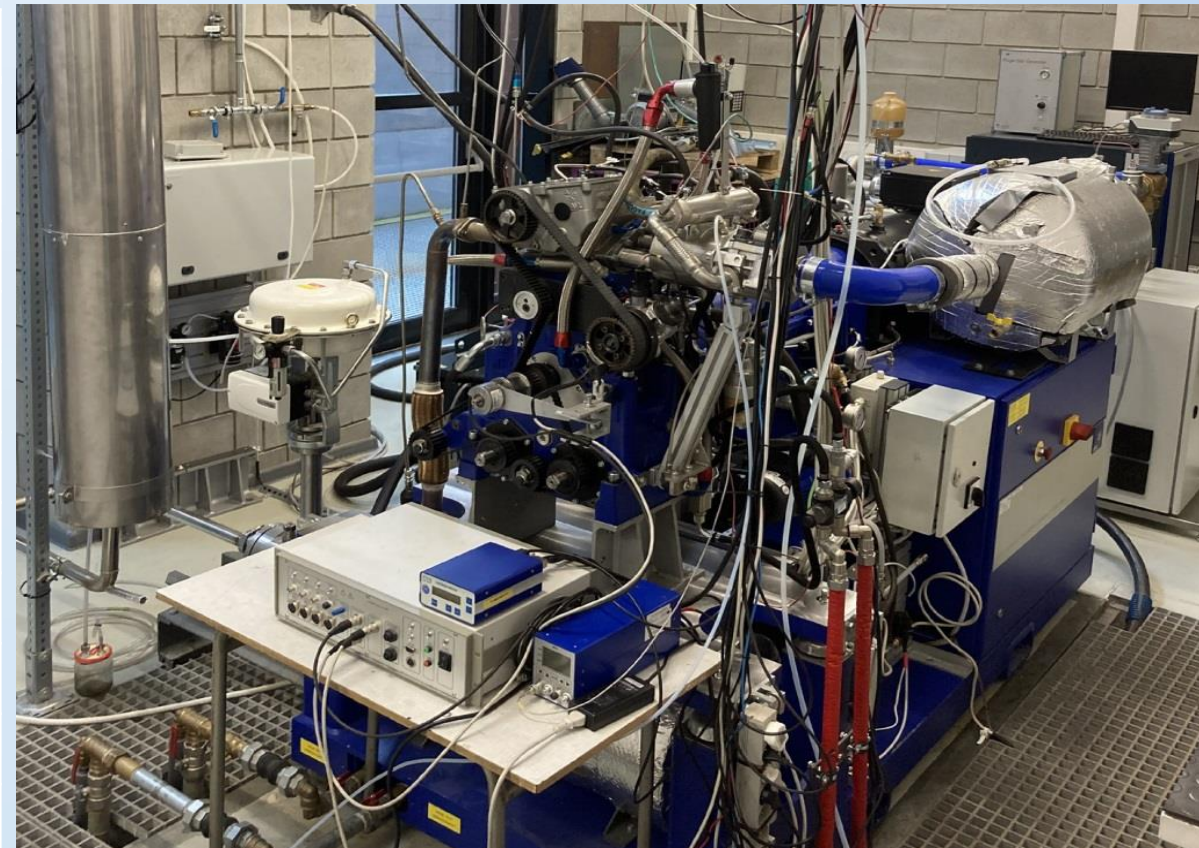
- Powyższe wprowadzenie wyraźnie ukazuje znaczny potencjał odpadowych olejów pirolitycznych (WPO). W istniejącej literaturze brakuje jednak kompleksowej analizy całego cyklu ich życia.
- Ocena obecnego stanu wykorzystania WPO jest bardzo trudna. Dzieje się tak ze względu na połączenie szybkiego postępu i trudności w uzyskaniu pełnego obrazu na podstawie wielu różnych zastosowań WPO.
- Występuje duża rozbieżność w jakości paliwa, różnych strategiach mieszania i różnorodności stosowanych platform silnikowych.

Niniejsza praca ma na celu próbę udzielenia odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jaki jest potencjał WPO jako składnika paliwa konwencjonalnego?
2. Jak różne mieszanki paliw WPO zachowują się w silniku pod względem charakterystyki spalania i emisji?



Type	AVL 5402 SCRE
Setup	4-stroke, 1-cylinder
Bore	85 mm
Stroke	90 mm
Displacement	510.5 cm ³
Compression ratio	17
No. of valves	4
Max. injection pressure	180 MPa
Injection system	CR 4.1 multi-pulse
Inj. nozzle configuration	8 x 0.12 mm x 162 °
Engine management	AVL-RPEMS, ETK7-Bosch
Max. load (IMEP)	2.4 MPa

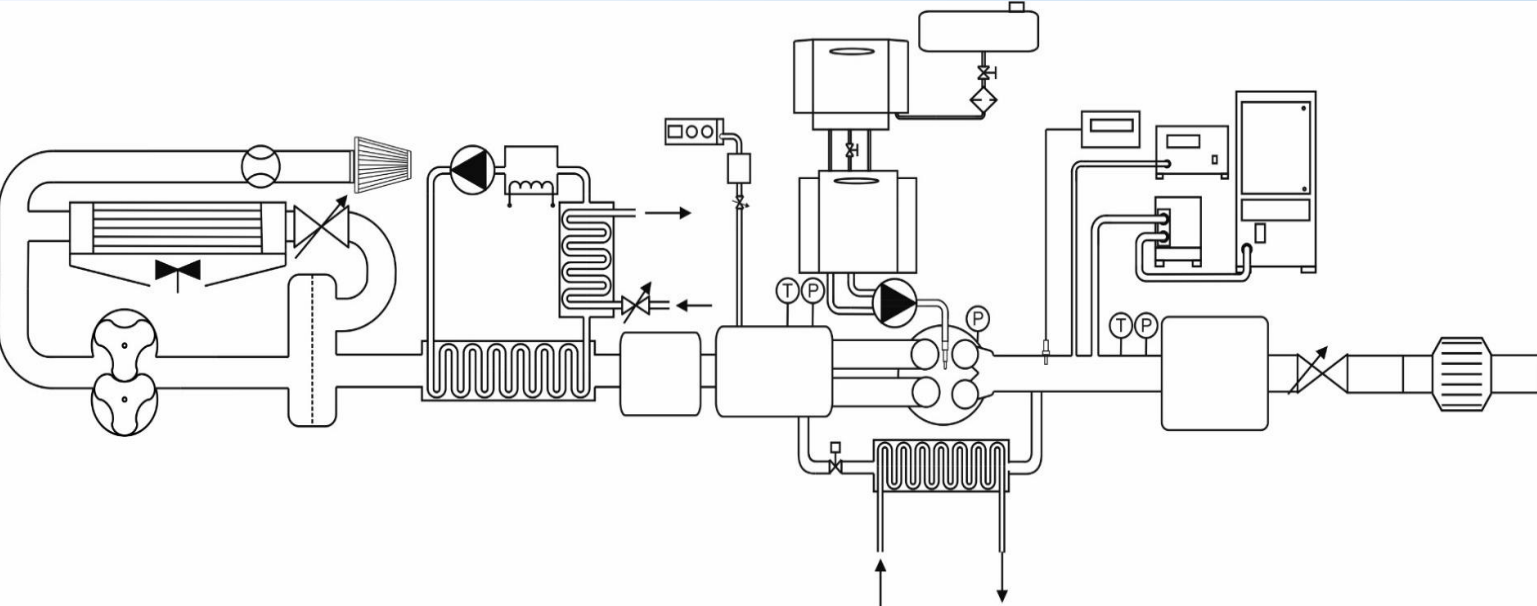
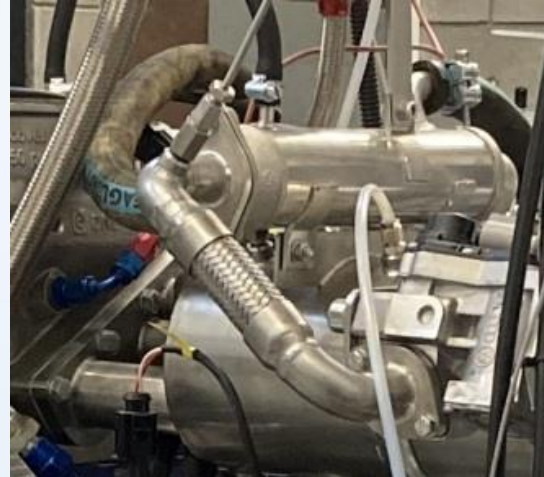




Stanowisko badawcze



POLITECHNIKA
LUBELSKA
LUBLIN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY





Zakres badań



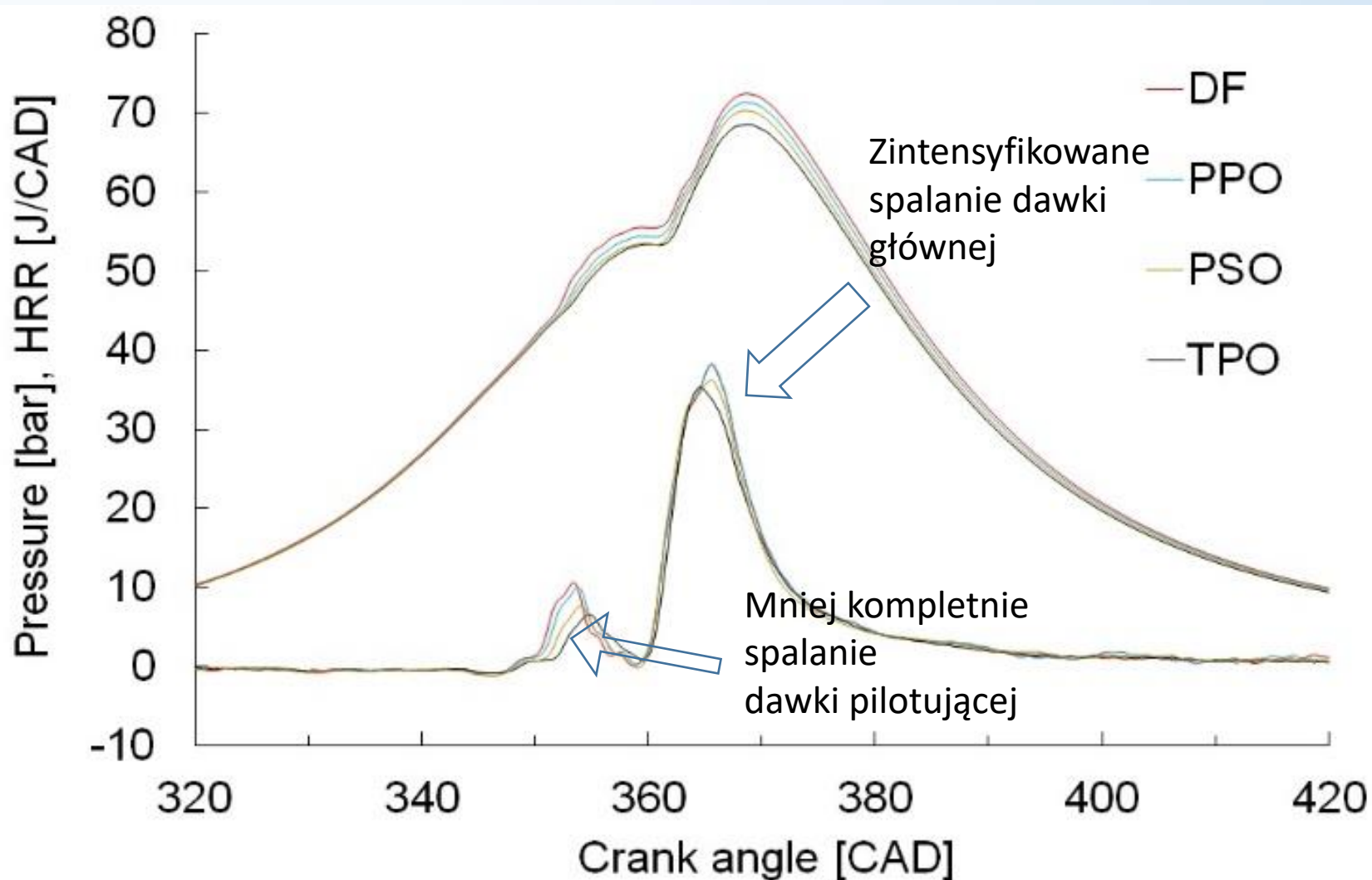
- Pojedynczy punkt pracy IMEP 0.5 Mpa.
- Stała prędkość obrotowa 1500 obr/min.
- Punkt pracy odpowiadający największym emisjom.
- Zmienne czasy wtrysku +/- 2, 4 CAD
- Zmienna wartość współczynnika EGR 0 – 30%

WPO

Parametr	DF	WPO		
		TPO	PPO	PSO
Gęstość [kg/m ³]	826	948	776	642
Lepkość [mm ² /s]	2.3	3.7	1.22	1.69
Temp. Zapłonu [°C]	61	90	24	34
Zaw. Siarki [mg/kg]	6.1	5000	0	0
Zaw. WA [% mas.]	27	40	0	98
W. opałowa [MJ/kg]	44.8	44.7	44.7	40.5
Liczba cetanowa	40	32	54	20

Load [%]	25
IMEP [MPa]	0.5
MAP [kPa]	125
SOI1 [CAD]	340
SOI2 [CAD]	354
Fuel pressure [MPa]	80
Pilot fuel quantity [mg]	1.6
Pilot fuel fraction [%]	10

- DF bez dodatku biokomponentów.
- Destylowany TPO otrzymano w zakresie temperatur 330-375°C.
- Mieszaniny z udziałem masowym 20% WPO.

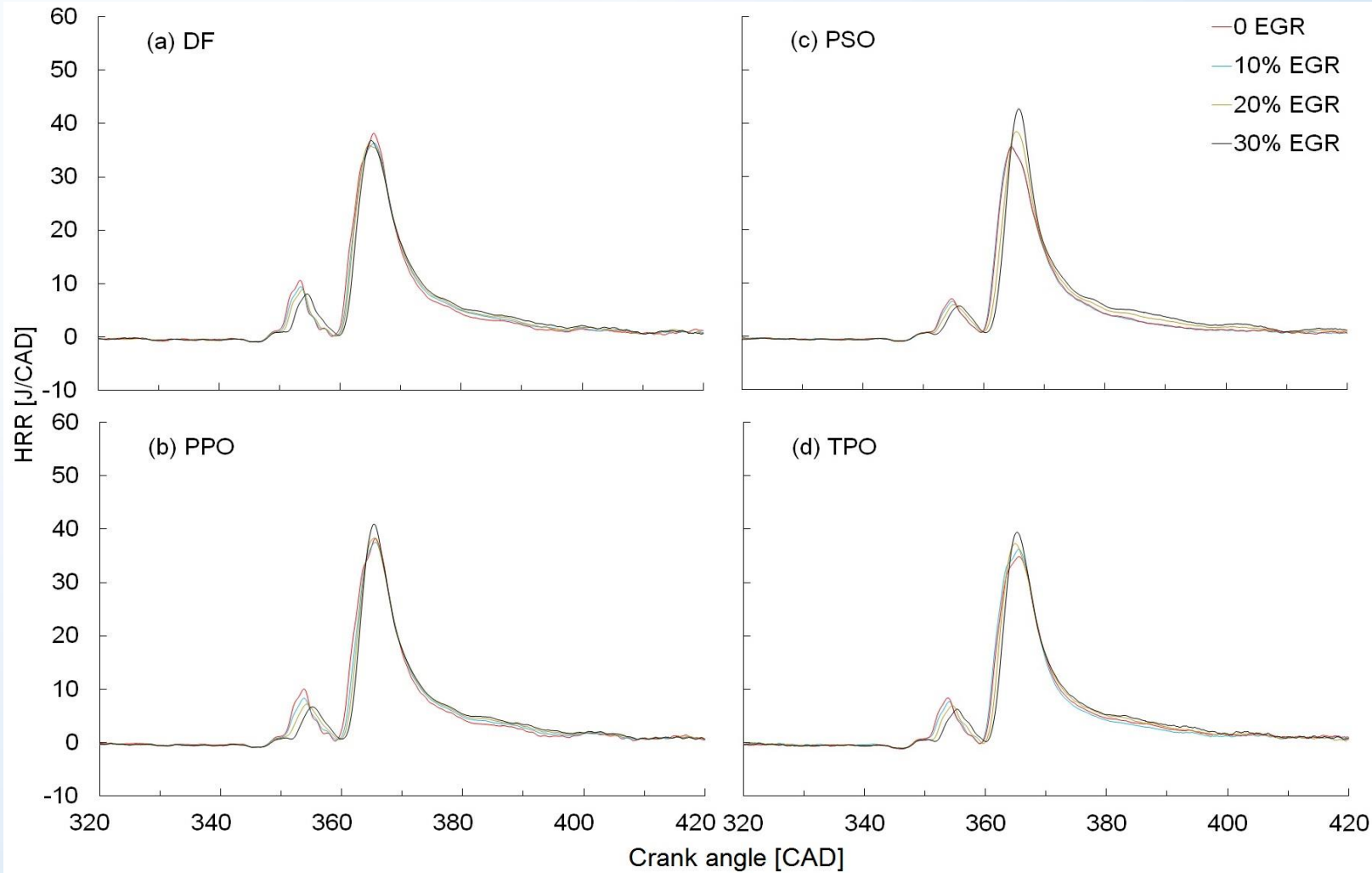


- Krzywe ciśnienia mają kształt typowej charakterystyki spalania oleju napędowego.
- Intensywne tempo wzrostu ciśnienia rozpoczyna się w GMP, niezależnie od dodanego oleju pirolitycznego.
- Zaobserwowane opóźnienie zapłonu dawki pilotującej nie wpływa na inicjację spalania dawki głównej, ale skutkuje nieco większą ilością niespalonego paliwa w miarę przejścia spalania do fazy kontrolowanej mieszaniem.

Przebieg zmian ciśnienia w cylindrze i współczynnik wydzielania ciepła dla wszystkich badanych paliw; 0.5 MPa IMEP, referencyjny SOI



Proces spalania w warunkach referencyjnych

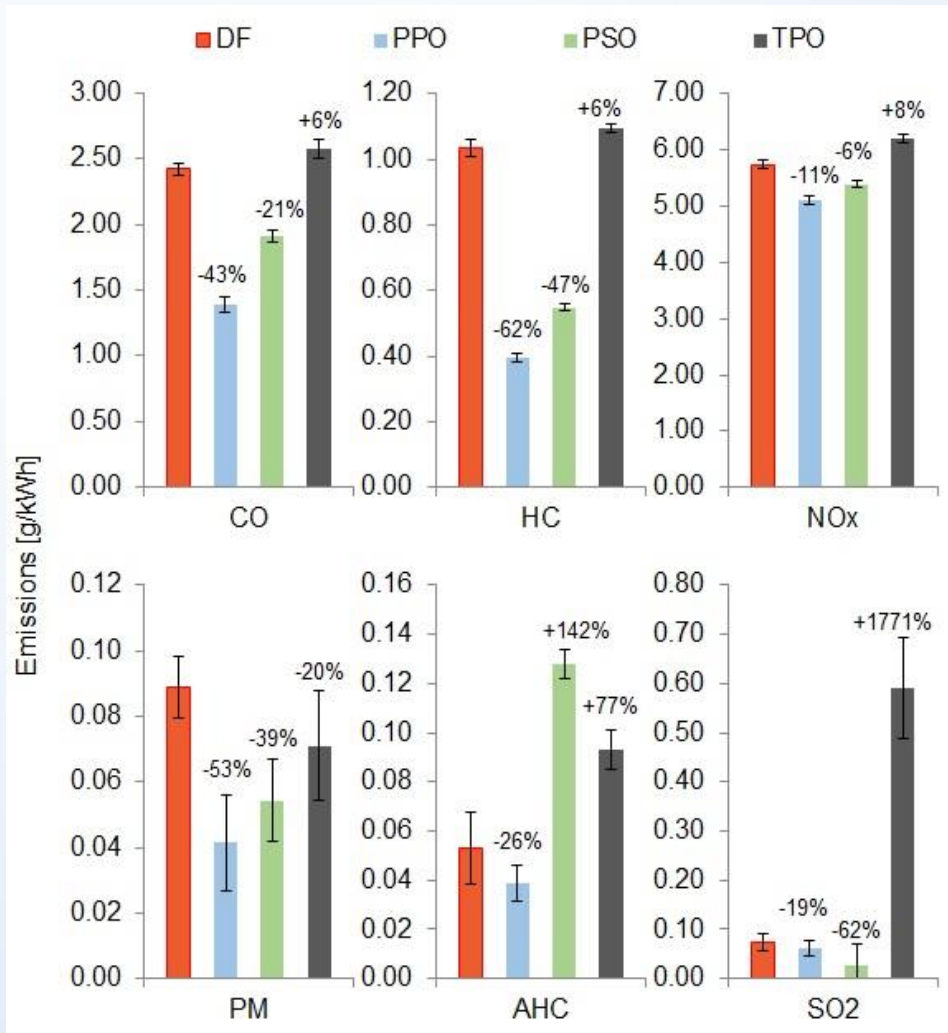


- Dodatek EGR hamuje spalanie dawki paliwa pilotującego.
- Opóźnienie wynosi około 1 CAD na każde 10% wzrostu EGR.
- Opóźnienie to powoduje, że spalana jest mniejsza ilość paliwa przed zapłonem głównej dawki, co zmniejsza szybkość wydzielania ciepła (HRR) w tej fazie spalania.
- Energia ta jest następnie uwalniana podczas spalania głównej dawki, co prowadzi do wyższych wartości szczytowych HRR i dłuższych czasów spalania.

Wpływ ilości EGR na współczynnik wydzielania ciepła dla wszystkich badanych paliw; warunki referencyjne



Emisje w warunkach referencyjnych

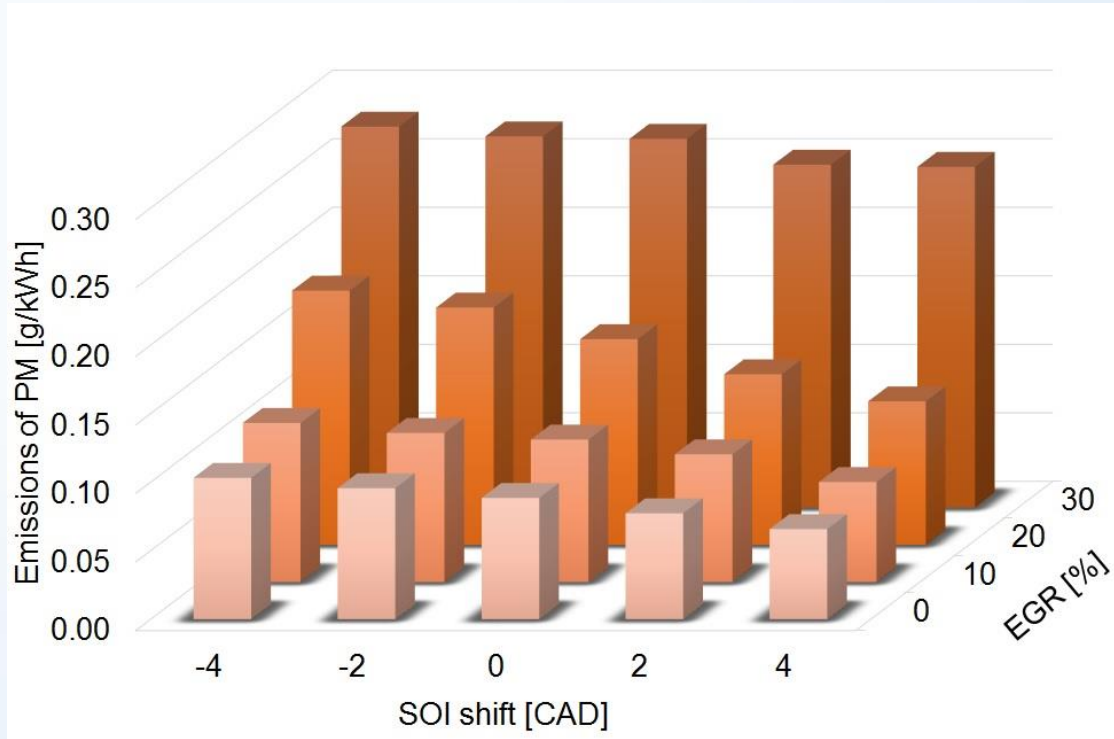


Emisje regulowanych i nieregulowanych składników spalin w warunkach referencyjnych.

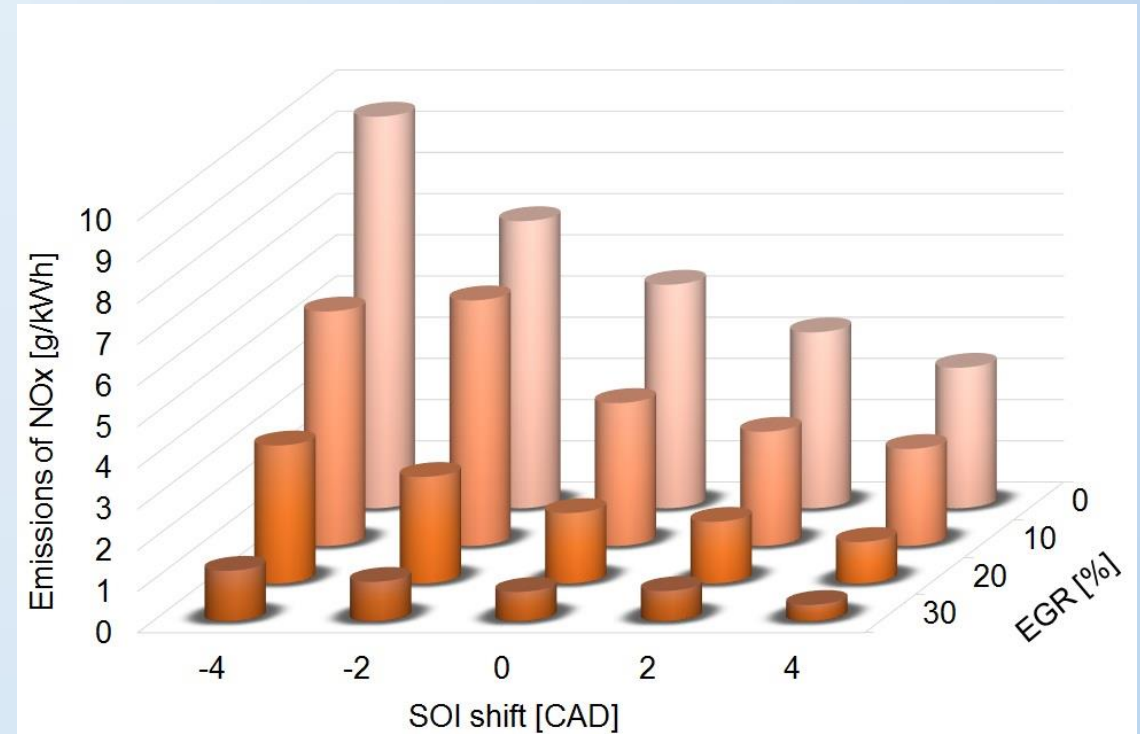
- W badanym reżimie obciążenia próbki PPO i PSO powodują poprawę emisji regulowanych składników spalin.
- Zwiększony poziom CO wynika z faktu, że spalanie TPO jest opóźnione w kierunku fazy rozprężania i ulega wygaszeniu płomienia, gdy tłok zbliży się do otworu zaworu wydechowego.
- Wzrost NOx dla domieszki TPO wynika z redukcji CI przesuwałej spalanie w stronę głównej fazy wysokotemperaturowej.
- Biorąc pod uwagę niepewność pomiaru, zastosowanie 20% domieszki TPO nie ma istotnego wpływu paliwa na PM.
- Wyjątkowo wysoka emisja węglowodorów aromatycznych przy stosowaniu PSO doskonale koreluje ze składem chemicznym tego paliwa. PSO zawiera aż 98% związków aromatycznych.
- Wysoka zawartość siarki w TPO powoduje gwałtowny wzrost emisji dwutlenku siarki.
- Emisje SO₂ rejestrowane podczas spalania PPO i PSO wynikają wyłącznie z siarki zawartej w DF. Jednakże wpływ dodatku PPO i PSO jest bardzo pozytywny na redukcję emisji SO₂, odpowiednio o 19 i 62%



EGR i SOI jako parametry kalibracyjne do zarządzania emisjami

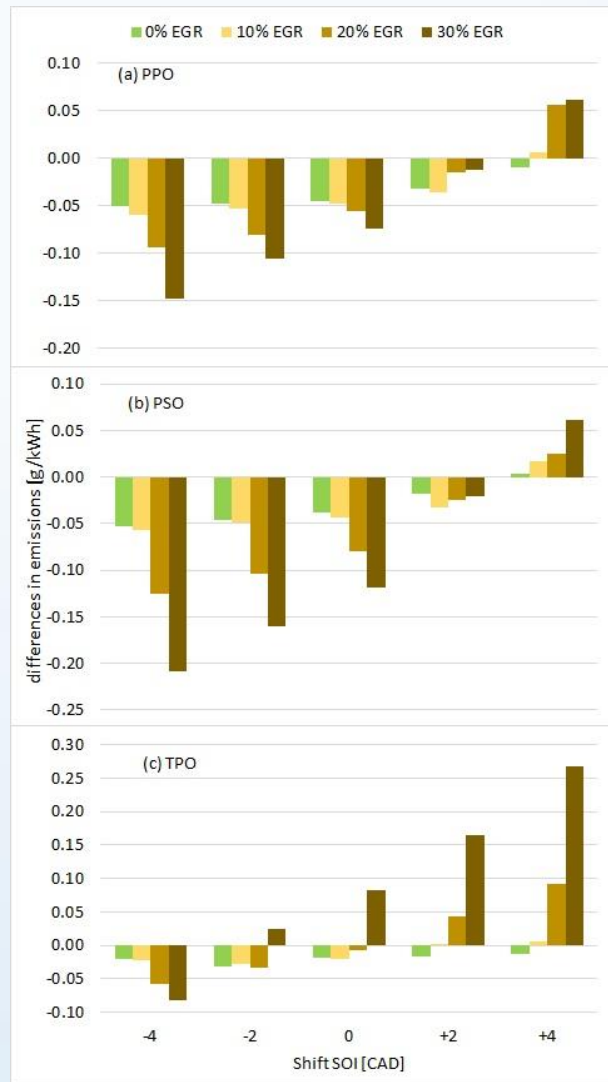


Emisje cząstkowe PM przy zmiennych wskaźnikach SOI i EGR dla paliwa referencyjnego

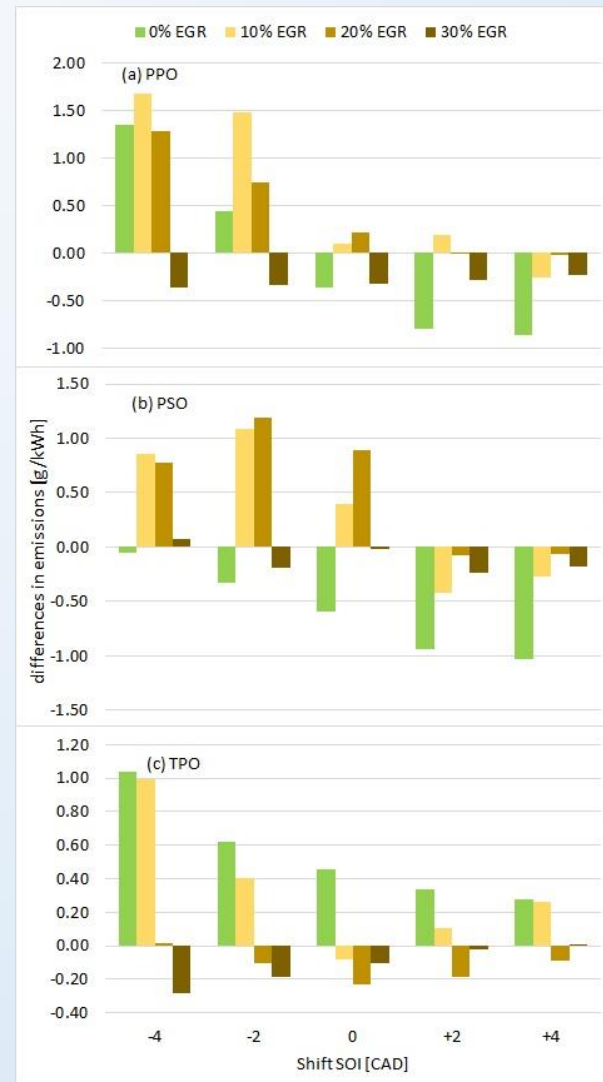


Emisje cząstkowe NOx przy zmiennych wskaźnikach SOI i EGR dla paliwa referencyjnego

- Kompromis EGR pomiędzy PM i NOx jest ewidentny dla paliwa referencyjnego.
- Najniższe emisje PM osiągane są przy niskich wartościach EGR, podczas gdy najniższe wartości NOx występują po przeciwnej stronie mapy kalibracyjnej (zwróć uwagę na odwrócone wartości osi EGR dla NOx).



Różnice w wartościach emisji PM pomiędzy WPO i DF



Różnice w wartościach emisji NOx pomiędzy WPO i DF

- Przy zastosowaniu najwyższych testowanych wskaźników EGR i zaawansowanego SOI, zarówno emisje NOx, jak i PM są niższe niż wartość bazowa DF dla wszystkich testowanych paliw.
- W przypadku parametrów (SOI wyprzedzony o 4 CAD i 30% EGR) PSO może osiągnąć redukcję emisji PM o 0,21 g/kWh w porównaniu z DF. Efekt ten maleje znacząco zarówno wraz ze zmniejszaniem ilości EGR jak i wraz ze zmniejszaniem czasu wtrysku dawki pilotującej.
- Kalibracji z najniższą emisją cząstek stałych podczas pracy bez EGR towarzyszą najwyższe emisje NOx dla PPO i TPO.



- Współczesne silniki wysokoprężne mogą pracować na mieszankach o zawartości 20% paliw pirolitycznych bez konieczności ponownej kalibracji.
- Opóźnione spalanie zwiększa emisję CO i HC.
- Tendencje emisji NO_x i PM wynikają z lokalnych warunków spalania i chemicznej skłonności paliwa do tworzenia sadzy i NO_x.
- Emisje PM z paliw pirolitycznych zwiększają się ze względu na skład chemiczny – emisję zwiększają związki aromatyczne (PSO), siarka (TPO).
- PPO nie stanowi żadnego wyzwania w zakresie emisji.
- Największy wpływ na proces spalania dawki pilotującej zaobserwowano w przypadku PSO. Dzieje się tak, ponieważ PSO składa się głównie z węglowodorów aromatycznych o stosunkowo niskich właściwościach samozapłonu.
- Różna wrażliwość różnych olejów pirolitycznych na parametry kontrolne umożliwia opracowanie strategii mieszania w celu uzyskania paliw odpowiednich dla wszystkich silników Diesla.



Dziękuję za uwagę



Arkadiusz Rybak

Politechnika Lubelska

Wydział Mechaniczny

Katedra Zrównoważonego Transportu i Źródeł Napędu

a.rybak@pollub.pl



POLITECHNIKA
LUBELSKA
LUBLIN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY