



# **Spalanie hydrowyafinowanego oleju roślinnego w silniku o zapłonie samoczynnym**

# PLAN PREZENTACJI

## WPROWADZENIE I GENEZA PODJĘCIA TEMATU

- ✓ KONIECZNOŚĆ WPROWADZANIA PALIW ZASTĘPCZYCH
- ✓ HYDRORAFINOWANY OLEJ ROŚLINNY (HVO – HYDROTREATED VEGETABLE OIL) JAKO PALIWO SILNIKOWE
- ✓ OBECNY STAN BADAŃ

## METODYKA BADAŃ

- ✓ STANOWISKO BADAWCZE
- ✓ METODY
- ✓ ZAKRES BADAŃ

## WYNIKI

## WNIOSKI







# Wprowadzenie – taka jest rzeczywistość

**Czy możliwe jest zelektryfikowanie transportu dalekobieżnego?**



**1000 litrów oleju napędowego**

**=**

**20 m<sup>3</sup> akumulatorów**

**i**

**dodatkowe 35 000 kg**

**Silniki spalinowe będą obecne przez kolejne dziesięciolecia.**

**Każde przełomowe rozwiązanie w dziedzinie napędu pojazdów zastosowane dziś jest w stanie znaleźć się w połowie floty pojazdów za 20 lat.**

**Szybka ścieżka dekarbonizacji prowadzi przez zastosowanie w pełni odnawialnych biopaliw nowej generacji.**

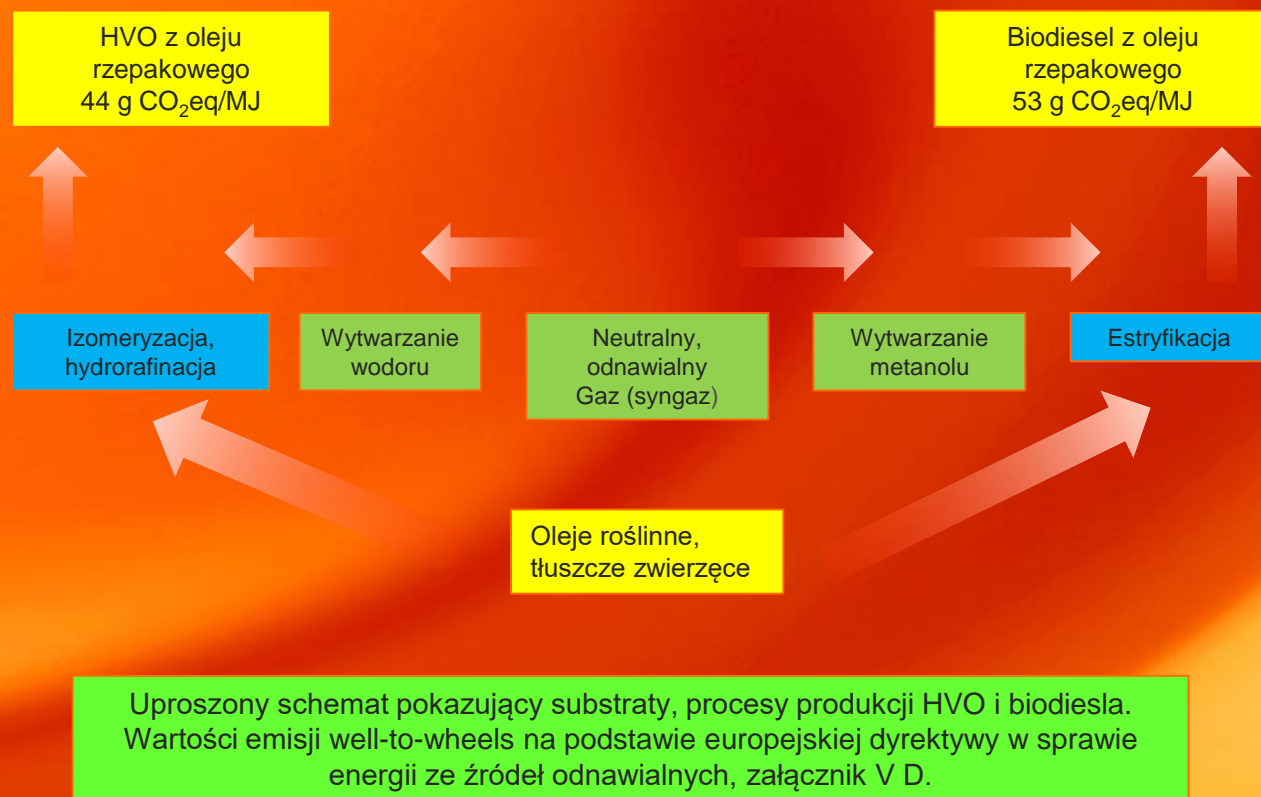


# Wprowadzenie – taka jest rzeczywistość



# Skala przemysłowa – odnawialne paliwa HVO vs. biodiesel

1. Wyłącznie n-alkany, brak węglowodorów aromatycznych, siarki, popiołu itd.
2. Mniejsza emisja CO<sub>2</sub> well-to-wheels
3. HVO miesza się z ON w każdych proporcjach i spełnia normę PL-EN 590
4. Dostępne na rynku; koszt tylko 15% wyższy od B7 (w Finlandii)
5. Brak zagrożeń w postaci kompatybilności materiałowej
6. Długookresowa stabilność
7. W większość właściwości fizykochemiczne lepsze od ON!



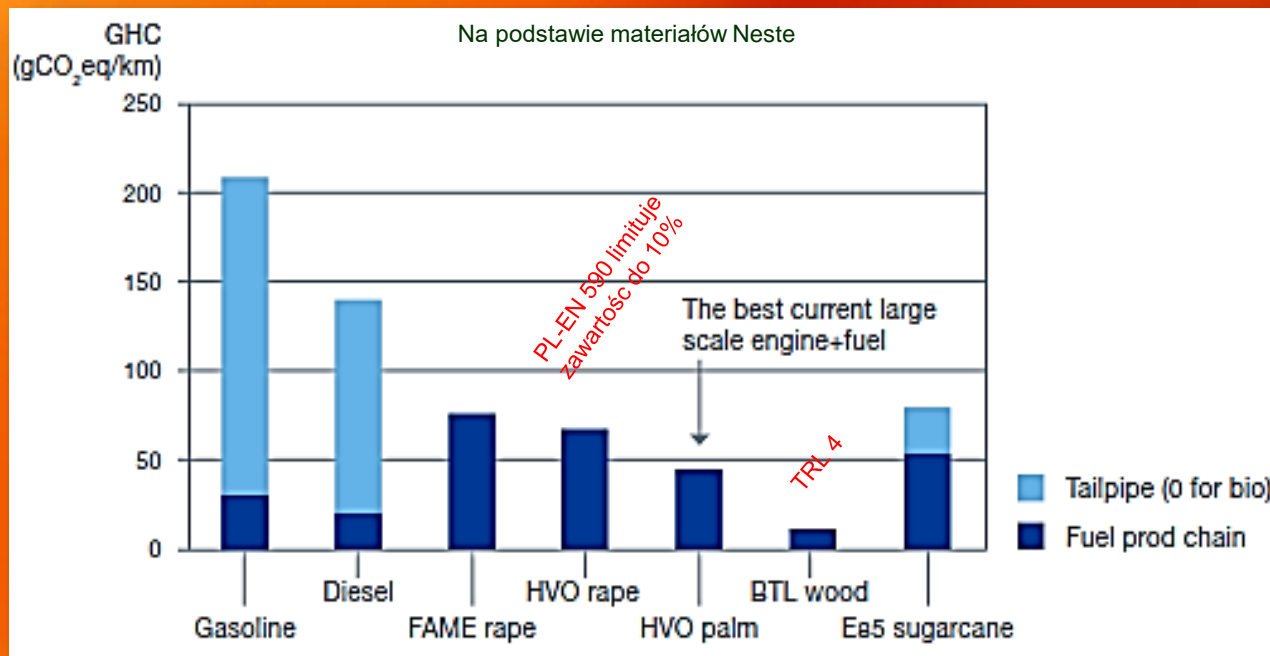
Na podstawie materiałów Neste





# Skala przemysłowa – odnawialne paliwa HVO vs. biodiesel

1. Wyłącznie n-alkany, brak węglowodorów aromatycznych, siarki, popiołu itd.
2. Mniejsza emisja CO<sub>2</sub> well-to-wheels
3. HVO miesza się z ON w każdych proporcjach i spełnia normę PL-EN 590
4. Dostępne na rynku; koszt tylko 15% wyższy od B7 (w Finlandii)
5. Brak zagrożeń w postaci kompatybilności materiałowej
6. Długookresowa stabilność
7. W większość właściwości fizykochemiczne lepsze od ON!



Emisja gazów cieplarnianych well-to-wheels typowego samochodu klasy średniej. Emisja well-to-tank obliczona na podstawie europejskiej dyrektywy w sprawie energii ze źródeł odnawialnych.



EU - BioJetBunk jest to pilotażowy program wprowadzania biopaliw to transportu morskiego i lotniczego



# Skala przemysłowa – odnawialne paliwa HVO vs. biodiesel

1. Wyłącznie n-alkany, brak węglowodorów aromatycznych, siarki, popiołu itd.
2. Mniejsza emisja CO<sub>2</sub> well-to-wheels
3. HVO miesza się z ON w każdych proporcjach i spełnia normę PL-EN 590
4. Dostępne na rynku; koszt tylko 15% wyższy od B7 (w Finlandii)
5. Brak zagrożeń w postaci kompatybilności materiałowej
6. Długookresowa stabilność
7. W większość właściwości fizykochemiczne lepsze od ON!

	Energy tax (c/l)	CO <sub>2</sub> tax (c/l)	Security of supply levy (c/l)	Total (c/l)	Difference to diesel fuel (c/l)
Diesel fuel	31.65	18.61	0.35	50.61	
Paraffinic diesel (e.g. GTL, CTL)	24.89	17.58	0.35	42.82	- 7.79
Renewable paraffinic diesel (e.g. HVO)	24.89	8.79	0.35	34.03	- 16.58
Double counted paraffinic diesel (e.g. HVO from waste, BTL)	24.89	0.00	0.35	25.24	- 25.37
Biodiesel (e.g. FAME)	29.01	8.53	0.35	37.89	- 12.72
Double counted biodiesel (e.g. FAME from waste)	29.01	0.00	0.35	29.36	- 21.25

Opodatkowanie paliw w Finlandii (styczeń 2016) w Eurocentach za litr bez podatku od towarów i usług.

Firmy oferujące HVO z produkcji w dużej skali:

- Axens IFP
- Honeywell UOP
- Neste
- Haldor Topsoe
- ENI

W Finlandii – HVO jest już w 63% produkowane z materiałów odpadowych





# Skala przemysłowa – odnawialne paliwa HVO vs. biodiesel

1. Wyłącznie n-alkany, brak węglowodorów aromatycznych, siarki, popiołu itd.
2. Mniejsza emisja CO<sub>2</sub> well-to-wheels
3. HVO miesza się z ON w każdych proporcjach i spełnia normę PL-EN 590
4. Dostępne na rynku; koszt tylko 15% wyższy od B7 (w Finlandii)
5. Brak zagrożeń w postaci kompatybilności materiałowej
6. Długookresowa stabilność
7. W większość właściwości fizykochemiczne lepsze od ON!

## Volvo Press release June 22<sup>nd</sup>, 2015:

"Volvo Buses' 5-litre and 8-litre Euro 6 engines are certified to the paraffinic fuels CEN TS 15940 standard, which in addition to HVO also covers tall oil diesel and gas-to-liquid (GTL) fuels". Volvo also stated that: "Volvo Buses also approves HVO as a fuel for all buses with Euro 5 engines, with **no reduction in service interval**".

## Scania press release on October 8<sup>th</sup>, October 2015:

"Scania has given the green light to hydrotreated vegetable oil (HVO) being used to power its Euro 6 range, provided the fuel used meets technical specification TS15940. Vehicles using HVO – which chemically mimics fossil-fuel-based diesel – can under optimal conditions achieve up to a 90-percent reduction in CO<sub>2</sub> emissions. **HVO does not affect a vehicle's characteristics or its maintenance requirements**".

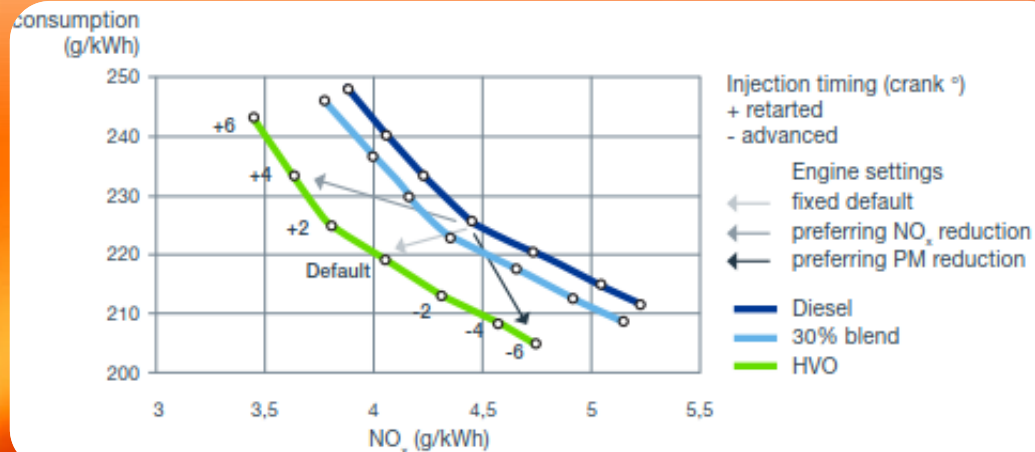
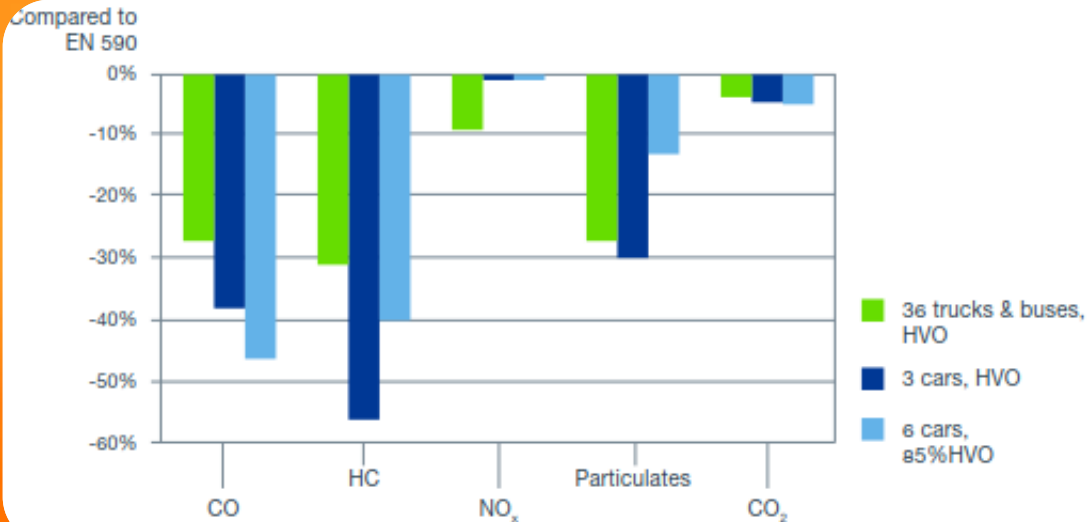
## Daimler press release on February 22<sup>nd</sup>, 2016:

"Trucks from Mercedes-Benz fitted with engines from the OM 470, OM 471, OM 936 and OM 934 series meeting the Euro VI emissions standard may be operated with HVO from February 2016. This decision applies to all engine variants whatever their output category."

"Mercedes-Benz Trucks has established the acceptability of the alternative fuel for use in its engines by means of comprehensive testing. Since the characteristics of HVO mean that it is absolutely comparable to conventionally produced petroleum-based diesel fuel, **no modifications to the engines or their peripherals are necessary. The injection process, fuel lines and seals remain unchanged. The same is also true of the intervals for oil changes and for cleaning the particulate filter, while there is also no restriction in terms of warranty and goodwill policy.** Engine performance and torque data also remain the same when HVO is used. The approval applies to all fuels that comply with the prEN 15940 standard".



# HVO w silnikach produkcyjnych – stan badań



1. Redukcja CO, HC, PAH, aldehydów i innych mutagenicznych składników
2. Zmniejszenie emisji NO<sub>x</sub> (brak tlenu w paliwie)
3. Mniejsza emisja cząstek stałych
4. Zmniejszenie emisji sadzy podczas zimnego rozruchu i w warunkach zimowych
5. Zużycie paliwa 2-6% mniejsze niż przy zasilaniu ON.
6. Zależności pomiędzy NO<sub>x</sub> i PM typowe dla diesla – standardowa kalibracja silnika nie pozwala na pełne wykorzystanie zalet HVO.

Aatola, et al., Hydrotreated Vegetable oil (HVO) as a renewable diesel Fuel: Trade-off between NO<sub>x</sub>, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. SAE International Journal of Engines, 1(2008)1, p. 1251 – 1262.



# HVO w silnikach produkcyjnych – stan badań

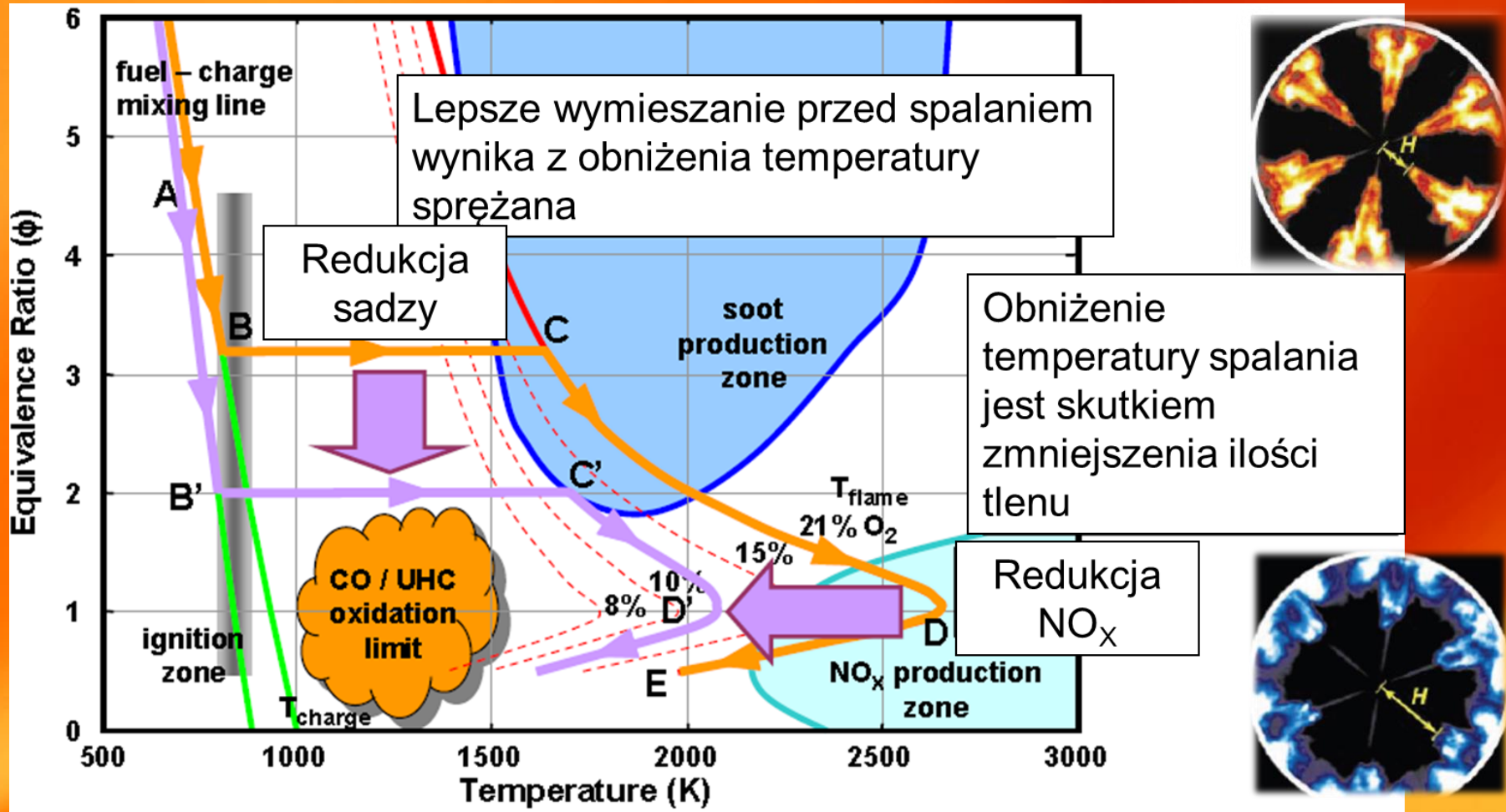
Property	Unit	Market diesel	HVO
FAME content	% v/v	7	0
Density at 60°C	kg/m <sup>3</sup>	832.4	778.7
Kinematic viscosity	mm <sup>2</sup> /s	3.24	2.82
Flash point	°C	59	83
Cloud point	°C	-5	-22
Sulfur content	ppwt	9.1	< 5.0
Cetane number	-	56.5	76.3
Ash content	%m/m	0.002	< 0.001
Water content	mg/kg	160	20
Polyaromatic hydrocarbons	%m/m	2.2	0
CFPP	°C	-5	-21
Heating value	MJ/kg	43	44
Oxidation stability	hr	> 6	> 22
Distillation	°C	191-357	189-301
AF <sub>s</sub>	-	14.2	15.2
Oxygen content	% wt	0.77	0
C/H ratio	-	7.26	5.49
Hydrogen content	% wt	12	15.4
Carbon content	% wt	87.2	84.6

- Mała lepkość sprzyja dobrej atomizacji i mieszaniu
- Większe bezpieczeństwo
- Lepsze właściwości niskotemperaturowe
- Eliminacja tlenków siarki
- Większa reaktywność
- Mniejsza degradacja aparatury paliwowej
- Eliminacja rakotwórczych węglowodorów poliaromatycznych
- Większa zawartość energii
- Większa trwałość
- Mniej NO<sub>x</sub>
- Mniejsza emisja CO<sub>2</sub>





# Stan badań – PPCI i potencjał HVO

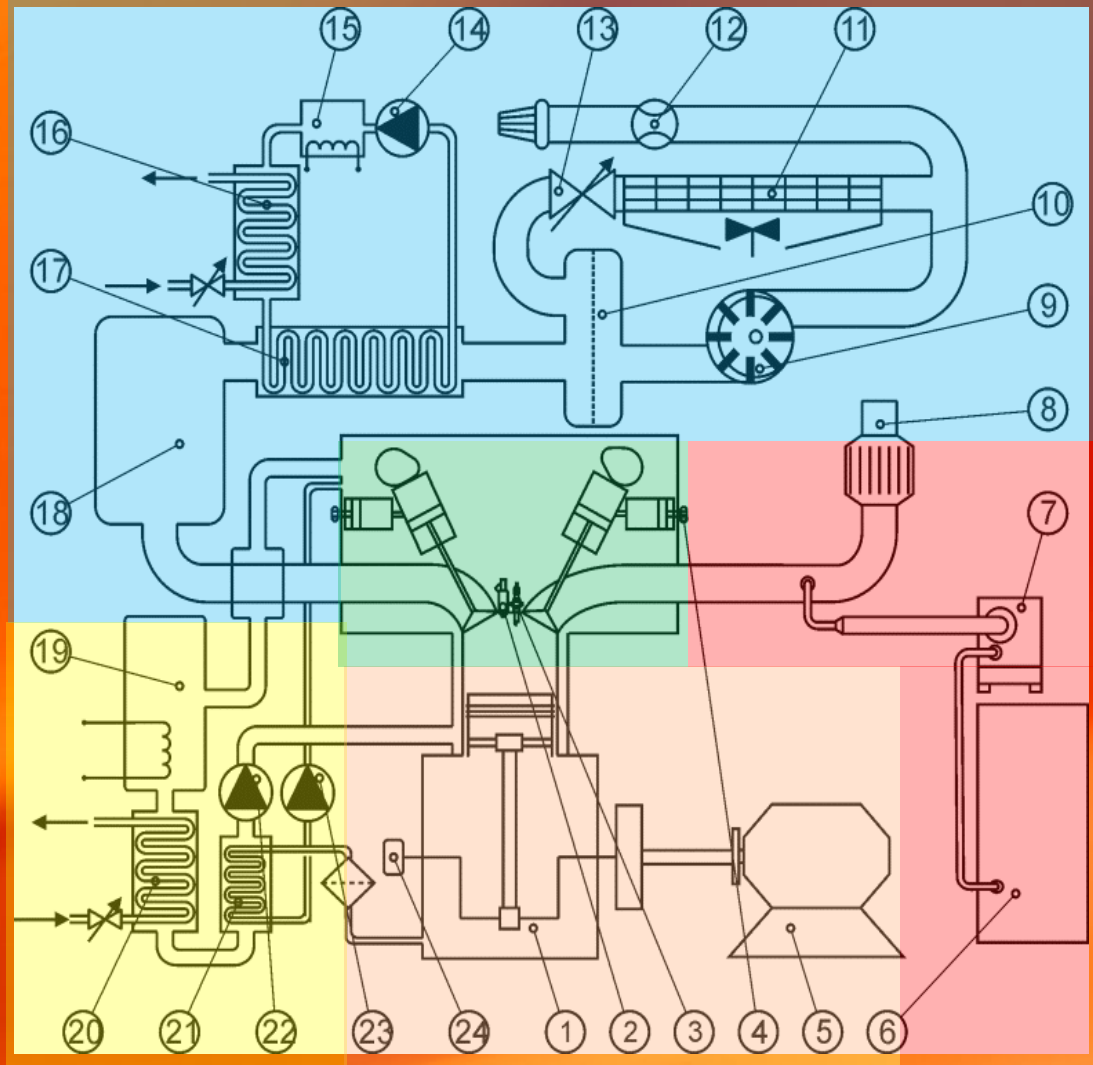


- Mała lepkość wspomaga atomizację i tworzenie mieszanki jednorodnej
- Duża liczba cetanowa umożliwia spalanie mieszanek uboższych i zawierających więcej EGR



# Stanowisko badawcze

- Kadłub silnika oraz hamulec silnikowy AC
- Układ dolotowy z pełną kontrolą temperatury i ciśnienia.
- Oddzielny układ kondycjonowania EGR
- Układ kondycjonowania cieczy chłodzącej i oleju
- Układ paliwowy z pomiarem zużycia i kondycjonowaniem temperatury
- Układ zmiennych faz rozrządu
- Piezoelektryczny przetwornik ciśnienia w cylindrze
- Układ wylotowy z zaworem spiętrzenia spalin i zaworami EGR
- Szczegółowa analiza spalin (FTIR)
- Miernik zawartości cząstek stałych MAHA MP4
- Pełny układ pomiaru parametrów termodynamicznych wszystkich mediów





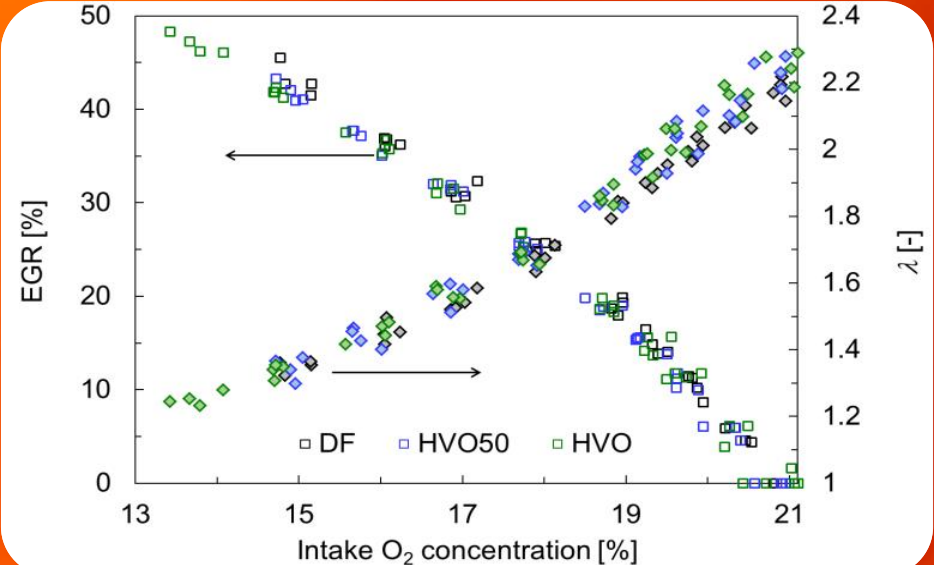
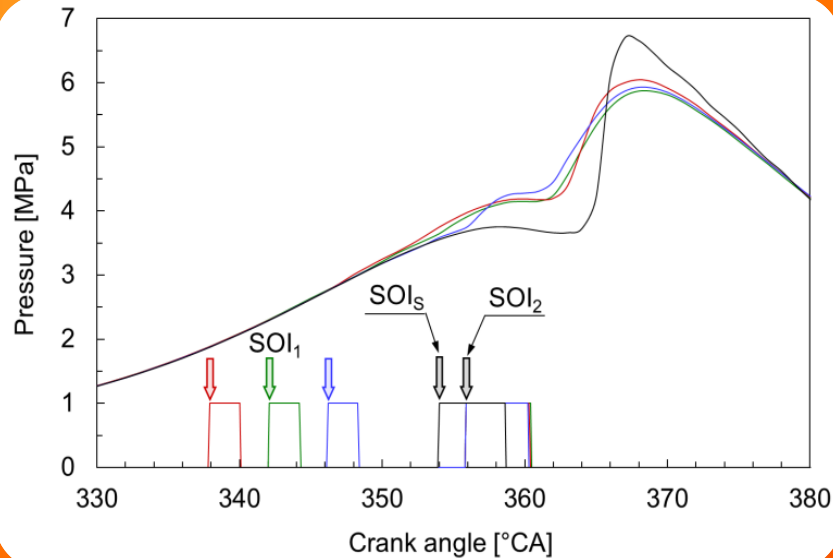
# Silnik badawczy

Typ	AVL 5402 SCRE
Budowa	4-stroke, 1-cylinder
Średnica cylindra	85 mm
Skok tłoka	90 mm
Objętość skokowa	510.5 cm <sup>3</sup>
Stopień sprężania	17
Liczba zaworów	4
Ciśnienie wtrysku	180 MPa
System wtryskowy	CR 4.1 multi-pulse
Sterowania silnika	AVL-RPEMS, ETK7-Bosch
Maksymalne obciążenie (p.)	2.4 MPa





# Zakres badań

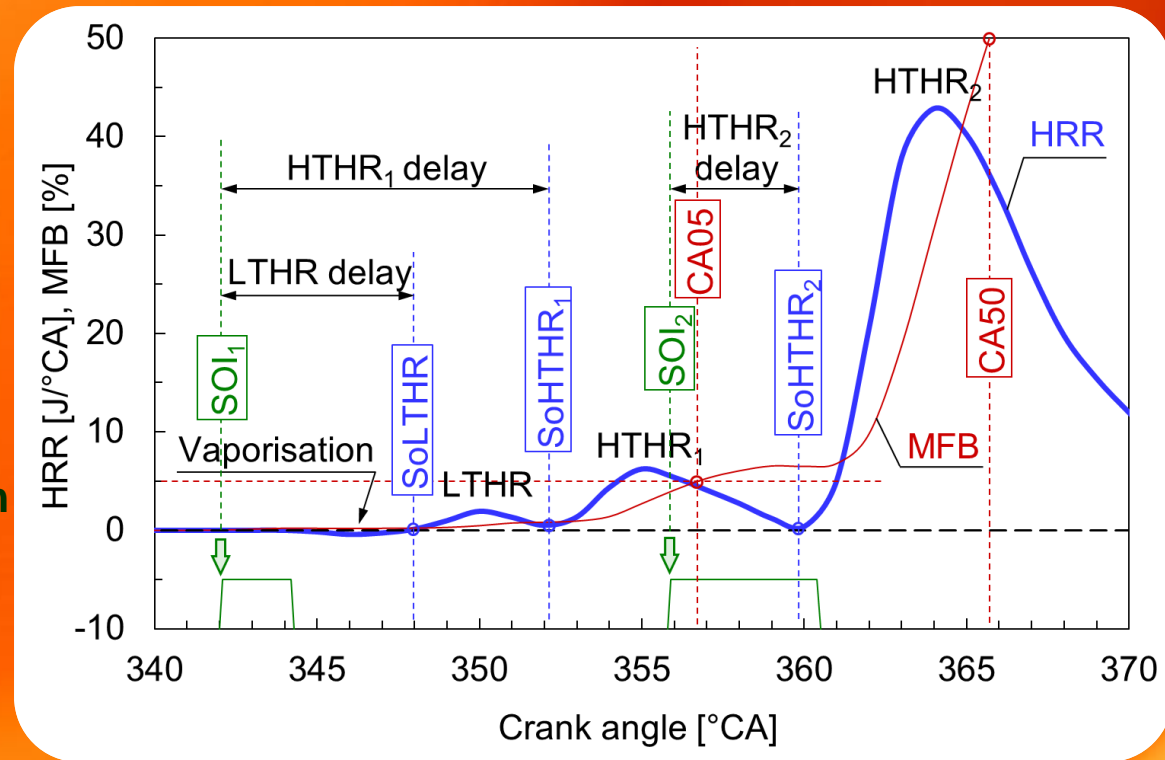


Paliwa	Tryb spalania	SOI <sub>1</sub> [°OWK]	SOI <sub>2</sub> [°OWK]	O <sub>2</sub> w dolocie[%]	EGR [%]
HVO ON EN590 (B7) 1:1HVO/B7	Podział dawki paliwa PPC	342	356	21	0
				16	35
		338	356	21-14.5*	
		342			
	346				
	Pojedynczy wtrysk CDC	-	354	21	0
			16	35	



# Metodyka badań

- **Szczegółowa analiza termodynamiczna ciśnienia w cylindrze**
  - Szczegółowe dane o przebiegu spalania
- **Analiza bilansu energetycznego wspomagana 0-wymiarowym modelowaniem**
  - Pełny bilans energetyczny
- **Emisja składników regulowanych:**
  - THC, NO<sub>x</sub>, CO i PM w kontekście normy Euro VI
- **Emisja wybranych składników nieregulowanych:**
  - Aldehydy i węglowodory aromatyczne



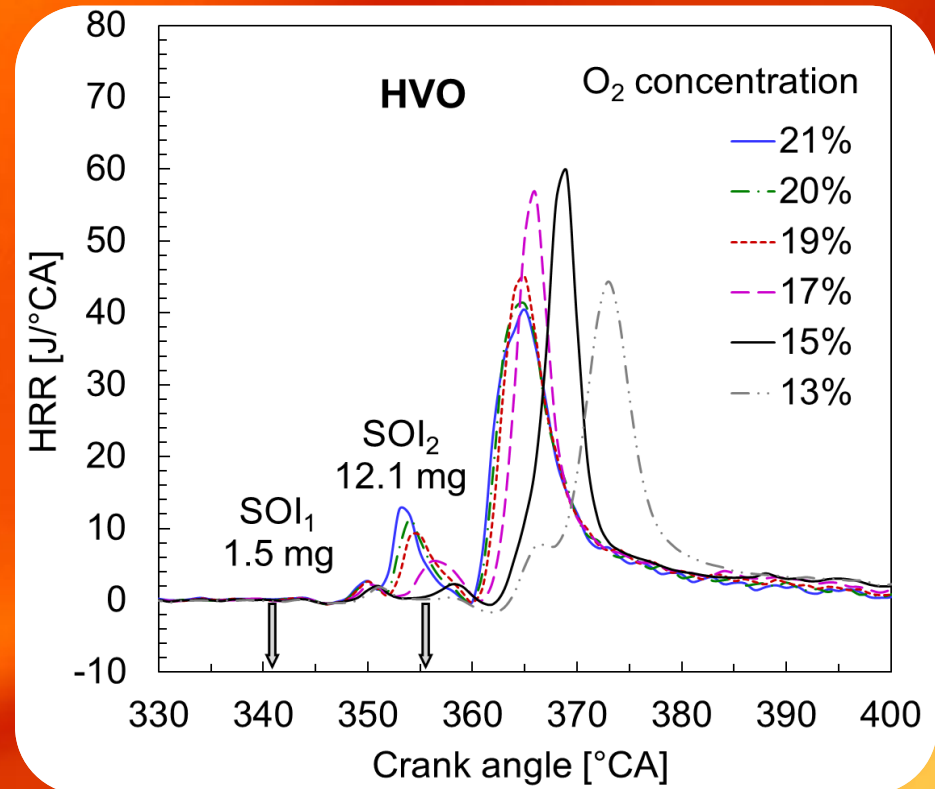
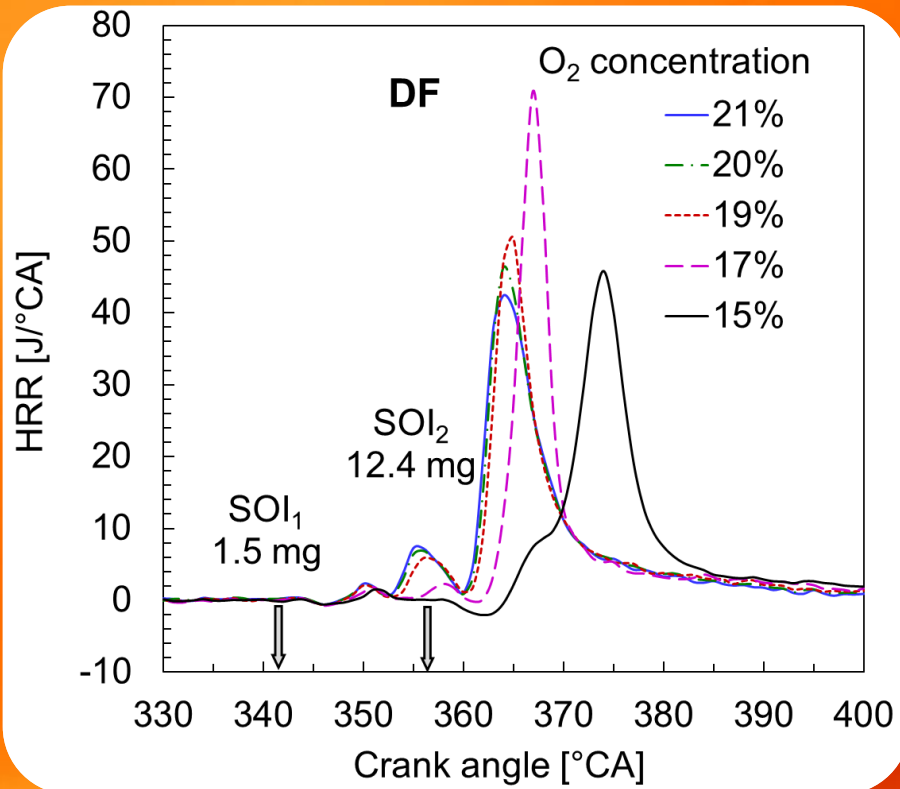
Okres zimnych płomieni i NTC

Spalanie kinetyczne pierwszej dawki

Spalanie kinetyczne i dyfuzyjne drugiej dawki



# Wyniki badań - bazowa strategia wtrysku paliwa



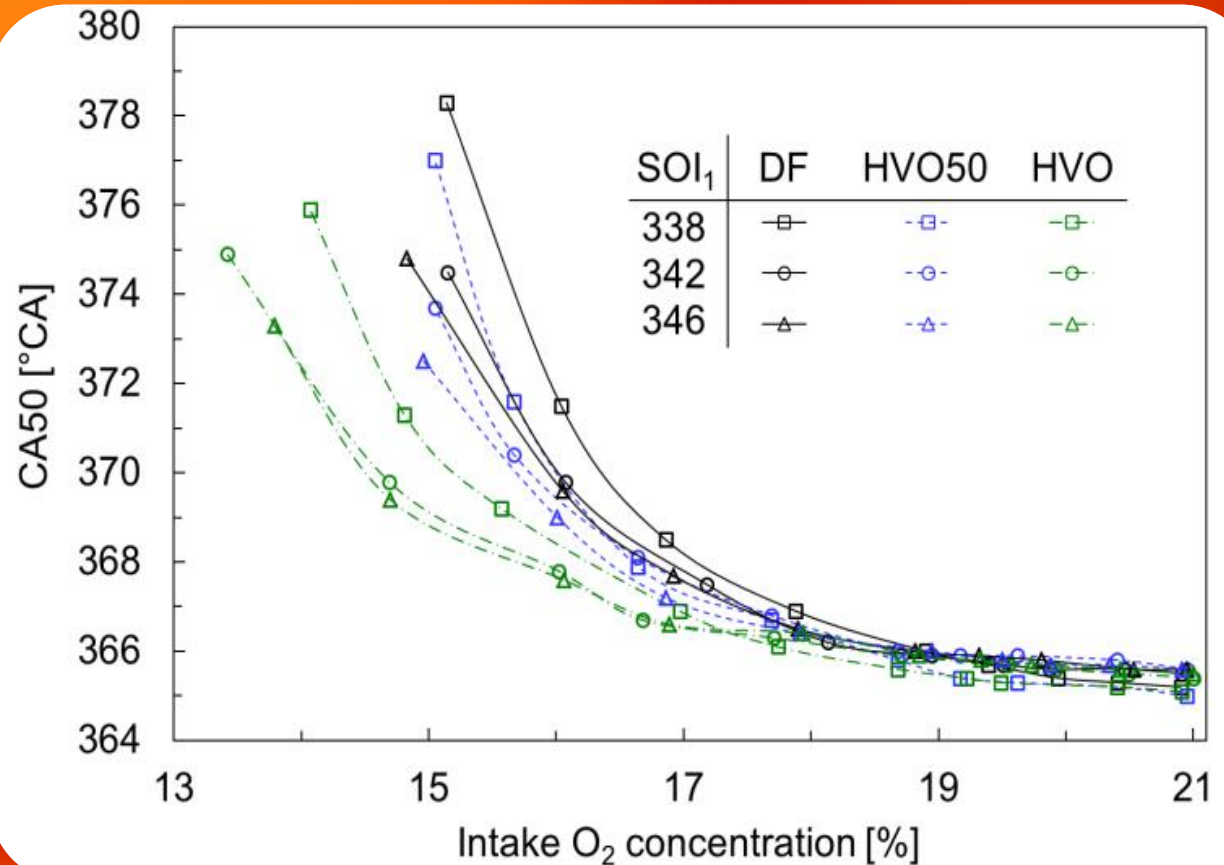
- W przypadku HVO duża liczba cetanowa pozwala na zachowanie właściwego przebiegu spalania przy skrajnie dużych współczynnikach EGR
- Odpowiednie kątowne położenie spalania pozwala na uzyskiwanie dużych wartości sprawności cieplnej





# Wyniki badań – położenie kątowe spalania

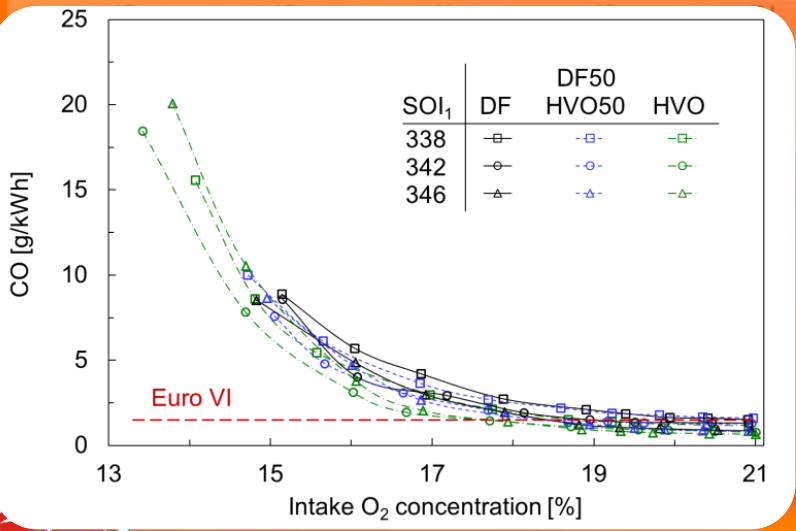
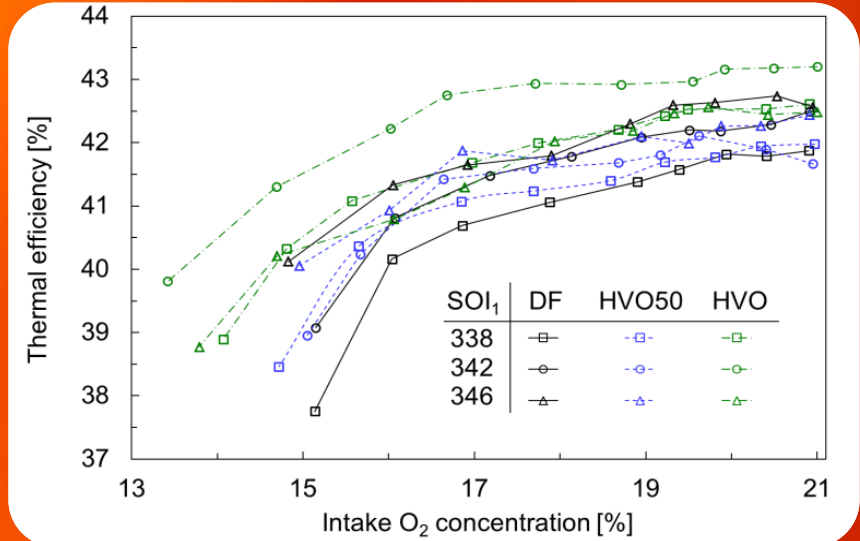
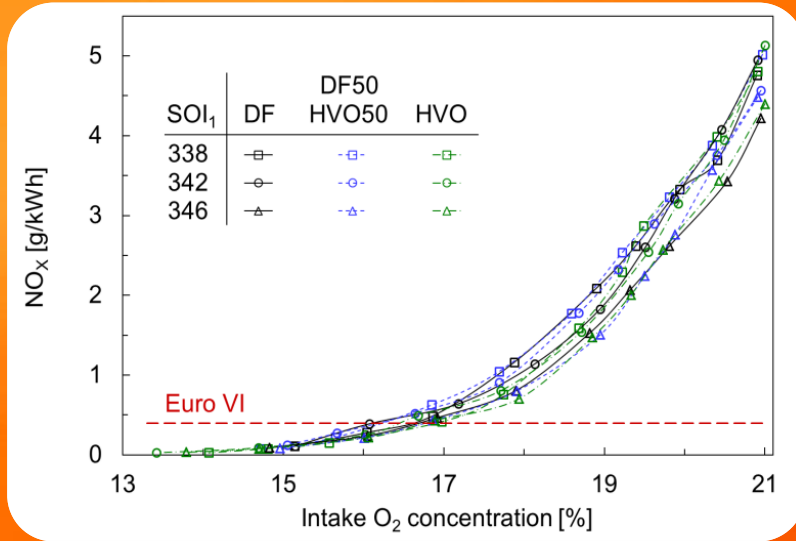
- Przy dużych współczynnikach EGR HVO zapewnia wcześniejsze spalanie niż ON
- Zachowana jest także stabilność spalania
- Późny wtrysk dawki pilotującej umożliwia zastosowanie 50 % EGR przy zachowaniu stabilnego spalania



Kąt wypalenia 50% dawki paliwa w zależności od zawartości tlenu w gazie dolotowym dla różnych paliwa i strategii wtrysku paliwa



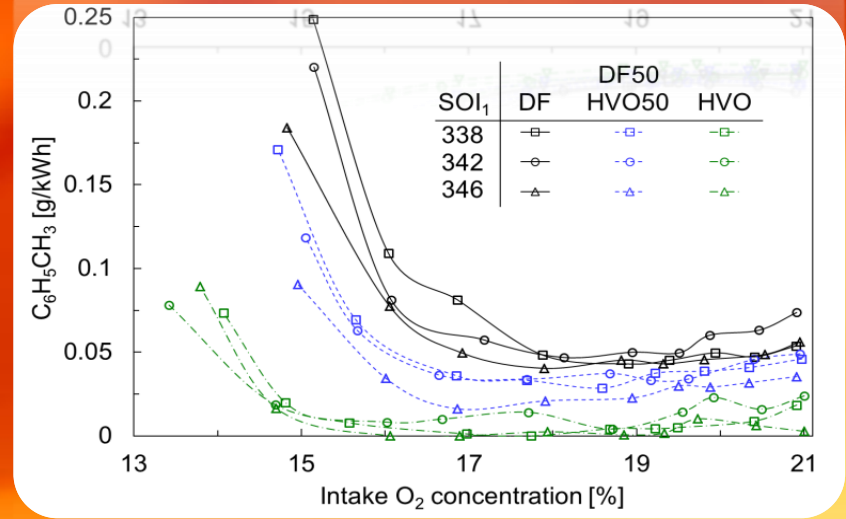
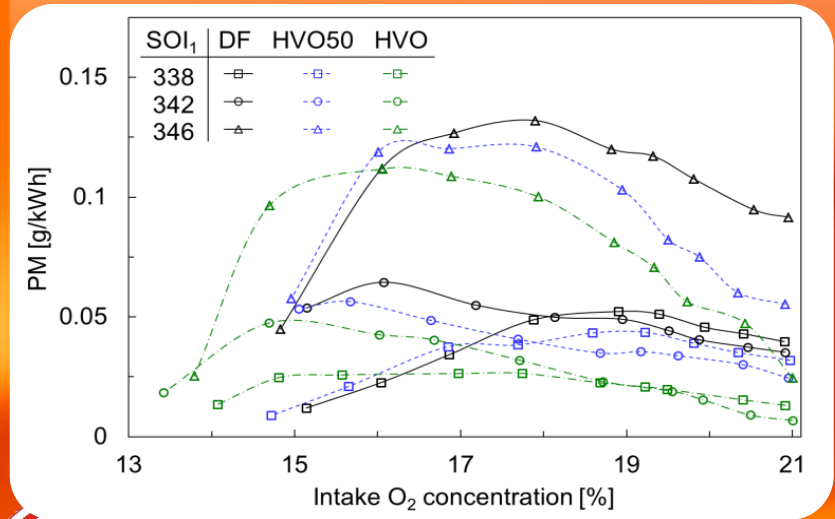
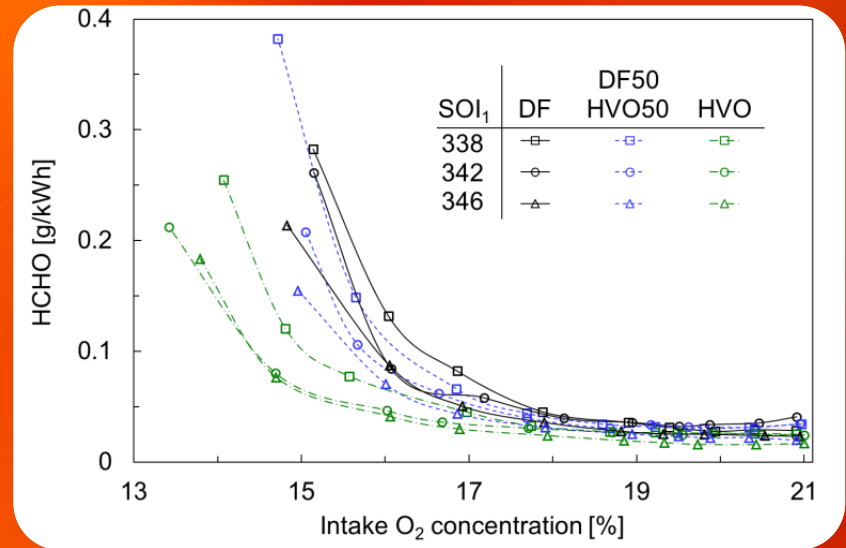
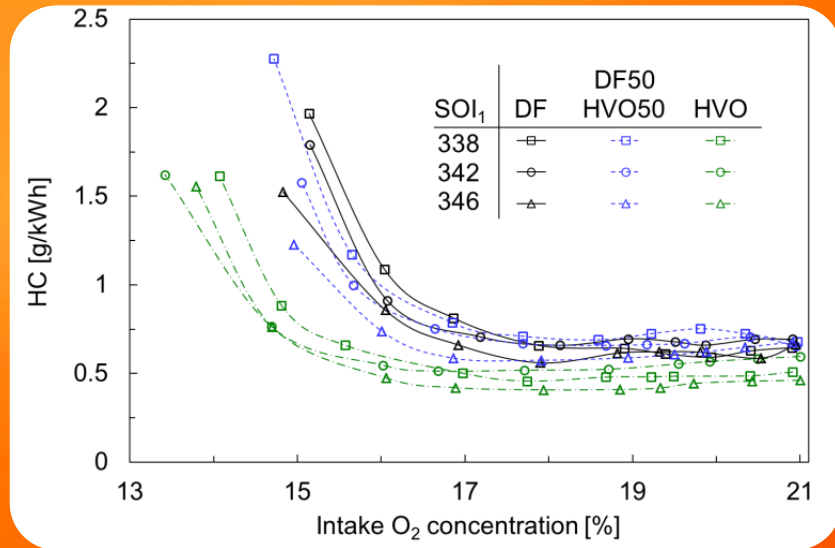
# Wyniki badań – emisja składników regulowanych i sprawność



- Typowa zależność pomiędzy emisjami CO i NO<sub>x</sub> przy zmiennym EGR
- Optymalna strategia wtrysku HVO pozwala zachować optymalną sprawność w szerszym zakresie EGR
- PPCi z zastosowaniem HVO pozwala na spełnienie norm Euro VI bez stosowania złożonych systemów oczyszczania spalin



# Wyniki badań – emisja składników regulowanych i sprawność





# Podsumowanie

- Przeprowadzono szczegółowe badania empiryczne w celu oceny potencjału HVO w warunkach spalania mieszanek częściowo jednorodnych (ang. Partially Premixed Compression Ignition).
- HVO jest dużo bardziej odporne niż ON na duże współczynniki EGR. Ta cech umożliwia uzyskanie spalania niskotemperaturowego dzięki dużemu rozrzedzeniu paliwa.
- HVO umożliwia uzyskanie sprawności cieplnej na poziomie 43% przy zachowaniu emisji NO<sub>x</sub> i CO na poziomie normy Euro VI. Jest to wynik o 1,5% lepszy, niż zoptymalizowane spalanie ON.
- Jednocześnie HVO zapewnia zmniejszenie emisji wszystkich składników spalin, w szczególności aldehydów i węglowodorów aromatycznych.



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

## Spalanie hydrorafinowanego oleju roślinnego w silniku o zapłonie samoczynnym

POLITECHNIKA LUBELSKA  
Katedra Transportu, Silników  
Spalinowych i Ekologii  
dr hab. inż. Jacek Hunicz  
dr inż. Paweł Kordos

---

Projekt „Politechnika Lubelska - Regionalna Inicjatywa Doskonałości”  
- finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo  
Nauki  
i Szkolnictwa  
Wyższego

