

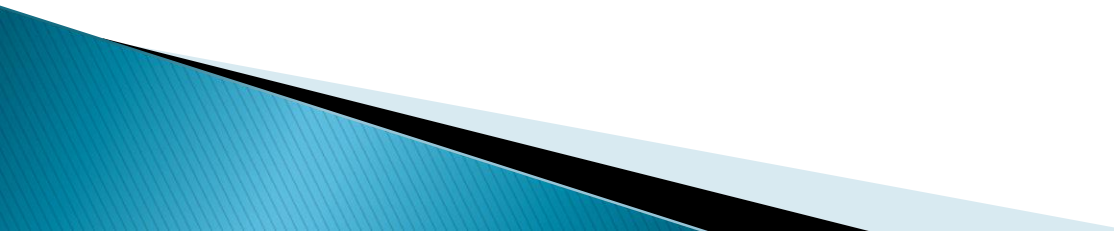
WPŁYW STRATEGII BEZPOŚREDNIEGO WTRYSKU WODY NA PARAMETRY OGÓLNE ORAZ POZIOM EMISJI W SILNIKU ZI

mgr inż. Konrad Kuchmacz

Promotor: dr hab. inż. Marcin Noga, prof. PK



Cel Prac Badawczych

- Wtrysk wody do cylindra silnika spalinowego to obiecujące podejście do ograniczenia emisji substancji szkodliwych spalin, a zwłaszcza emisji NO_x.
 - Wtrysk wody wpływa na proces spalania oraz na parametry ogólne silnika spalinowego ZI.
 - Celem pracy jest zbadanie wpływu początku wtrysku względem GMP oraz stosunku masy wody do masy dostarczonego do cylindra paliwa (W/F) na poziom emisji oraz parametry ogólne silnika spalinowego ZI.
- 

Zakres prac

- Prace obejmowały symulacje pracy silnika ZI Honda GX 160 w środowisku przeznaczonym do analizy 1D GT Power.
- Bazowe symulacje zostały skalibrowane względem pomiarów ciśnienia indykowanego dla prędkości obrotowych 2000, 2500 oraz 3000 obr/min
- Zamodelowany został dla każdej prędkości obrotowej wtrysk wody dla różnych początków wtrysku względem GMP wyrażonych w stopniach OWK oraz dla każdego z tych momentów wtrysku różny stosunek wtryskiwanej wody w stosunku do dostarczanego paliwa.
- Wyniki symulacji zostały porównane względem symulacji bazowej bez wtrysku wody do cylindra dla każdej z trzech prędkości obrotowych.

Obiekt Symulacji

Typ silnika	Jedno cylindrowy silnik czterosurowy
Objetość skokowa	163 ccm
Średnica cylindra x skok tłoka	68 x 45 mm
Długość korbowodu	60 mm
Stopień sprężania	8.5 : 1
Moc maks.	3.6 kW
Moment Maks.	10.3 Nm
Chłodzenie	Powietrze
Kąt wyprzedzenia zapłonu	27 deg bTDC (stały)
Rodzaj zasilania	gaźnikowy



Honda GX160

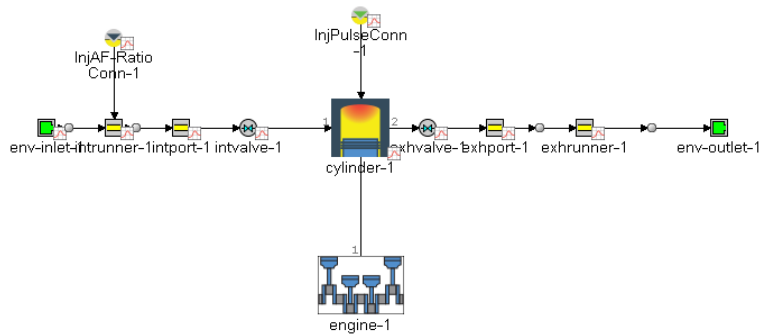
Scenariusz badań symulacyjnych

Prędkość obrotowa [obr/min]	W/F	Moment wtrysku względem GMP [OWK]							
2000	0.1	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.15	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.2	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
2500	0.1	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.15	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.2	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
3000	0.1	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.15	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.2	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30

Łącznie 9 zestawów wyników dla trzech wartości prędkości obrotowej, dla każdego zestawu 8 różnych momentów wtrysku, co sumarycznie razem z symulacjami bazowymi daje 75 symulacji

W niniejszej prezentacji, ze względu na ograniczony czas, zostaną omówione wyniki dla jednego wybranego zestawu warunków początkowych.

Ustawienia symulacji w środowisku GT power



Model spalania *SI Turbulent Flame Combustion Model*

- laminar flame speed **standard for gasoline**
- kąt wyprzedzenia zapłonu **27 deg bTDC const.**
- Model NOx **Extended Zeldovich**
- Parametry równania modelu spalania **Closed Volume Calibration values**

Zasilanie silnika: *Model InjAF*

- **lambda**

Model paliwa: *Indolene combustion*

Model wtrysku wody: *InjPulseConn*

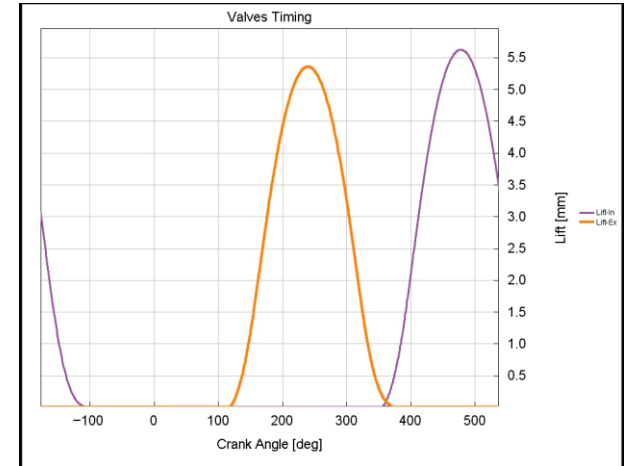
- Średnica otworu rozpylacza **0.3 mm**
- Ilość otworków **6**
- Współczynnik strat przepływu **0.7 (domyślny)**
- Parametry wtrysku wody **na podstawie charakterystyki wtryskiwacza**

Model Parowania: *EngCylSprayEvap*

Model wymiany ciepła *GT Woschni*

- Overall Convection Multiplier **1.1**
- Head/Bore Area Ratio **1.3**
- Piston/Bore Area ratio **1.03**
- Convection Temperature Evaluation **On**

Straty tarcia dmodel *Chen-Flynn*



Wymiana ładunku

- Czas otwarcia i zamknięcia zaworów w OWK
- Wznios zaworu w funkcji OWK

Warunki początkowe:

Dolot:

T=300 K

P=1 bar

Wylot:

T=600 K

P=1.1 bar

Lambda= 0.93

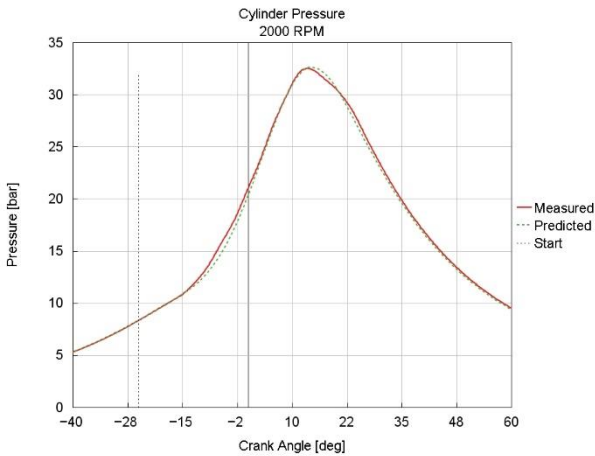
Kinematyka układu korbowego

Średnica x skok tłoka 68x45 mm

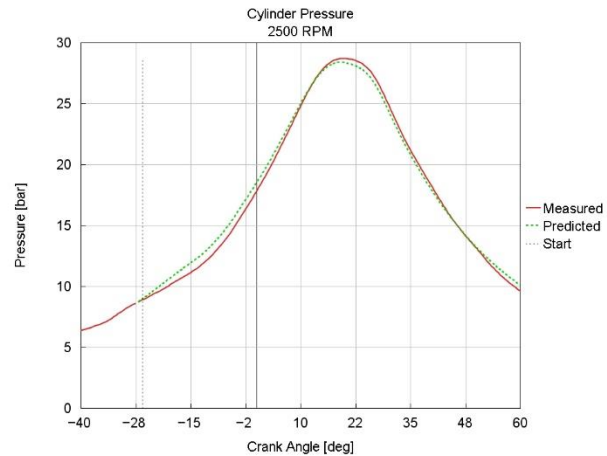
Długość korbowodu 60 mm

Stopień sprężania 8.5:1

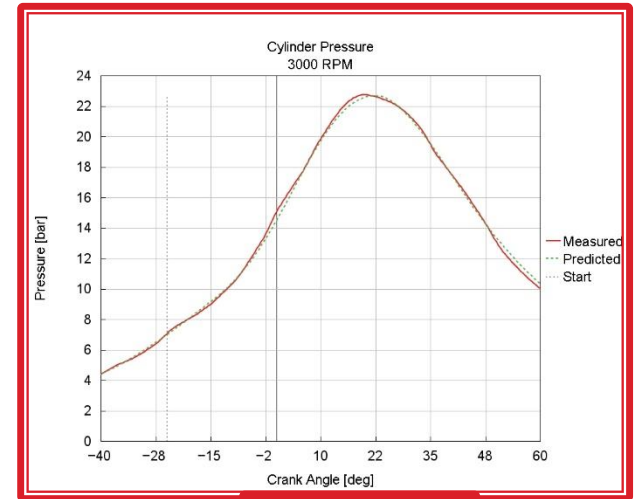
Model calibration



IMEP % Error 1.34 %



IMEP % Error 2.32 %



IMEP % Error 1.22 %

Wybrane Obliczone Parametry Cyklu	
Lambda	0.989
Średnie ciśnienie użytkowe	5.6 bar
Masa paliwa	8 mg
Sprawność ogólna	24.10%
Ciśnienie maksymalne obiegu	22.8 bar
Sprawność napełniania	61 %
Kąt wyprzedzenia zapłonu	27deg bTDC
Sprawność spalania	99%

Parametry Kalibracji Modelu Spalania SiTurb	
Dilution Exponent Multiplier	0.331981
Flame Kernel Growth Multiplier	2.875282
Turbulent Flame Speed Multiplier	0.412272
Taylor Length Scale Multiplier	1.683686

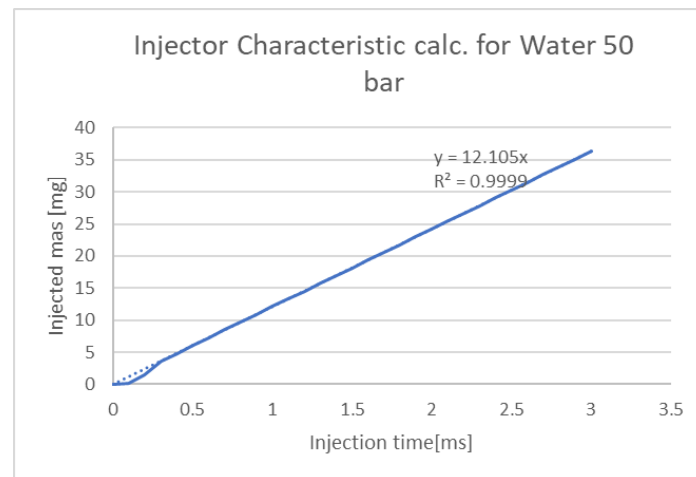
Parametry modelu spalania SiTurb dla których dopasowanie krzywej ciśnienia jest obarczone najmniejszym błędem

Wybrane parametry cyklu bez udziału wody będącego cyklem odniesienia do symulacji uwzględniającej wtrysk wody według zadanego scenariusza obliczeń

Parametry wtrysku dla wybranego zestawu obliczeń

Predkosc obrotowa [obr/min]	W/F	Moment wtrysku wzgledem GMP [OWK]							
2000	0.1	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.15	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.2	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
2500	0.1	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.15	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.2	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
3000	0.1	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.15	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30
	0.2	-100	-80	-60	-40	-25	0	20	30

Wybrany zestaw wyników dla obliczen uwzględniających wtrysk wody



Charaktersytyka wtryskiwacza dla wody

Czas wtrysku wyliczany jako parameter symulacji wg. Poniższej formuły:

$$t = \frac{\text{masa paliwa} \cdot W/F}{((Cd \cdot (2 \cdot (Pwtr \cdot Pi) / \rho wody))^0.5 \cdot \text{Total Nozzles Area} \cdot \rho wody)}$$

Gdzie:

Cd – współczynnik strat przepływu przez otworek wtryskiwacza= 0.7

W/F – stosunek masy wody do masy paliwa w tym przypadku = 0.2

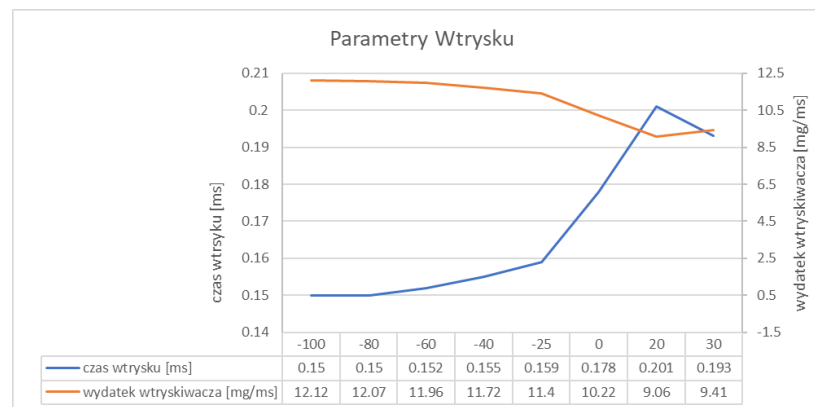
gdzie masa paliwa = 8mg

$Pwtr$ – ciśnienie wtrysku = 50 bar

Pi – ciśnienie panujące w cylindrze w zależności od kąta początku wtrysku wody

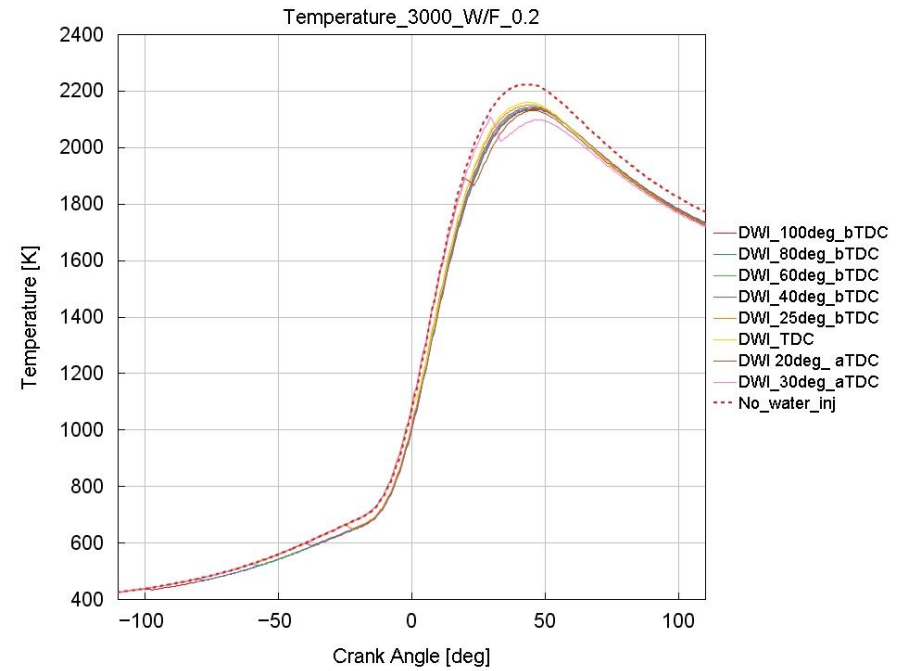
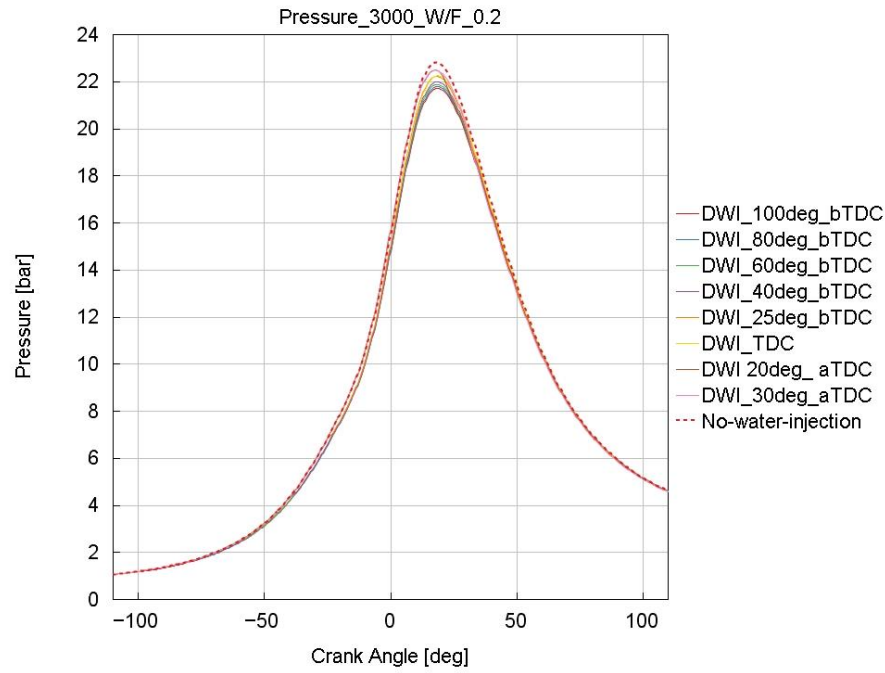
$\rho wody$ – gęstość wody= wyliczona przez program

Total Nozzle Area– całkowita powierzchnia przepływu przez otworki wtryskiwacza



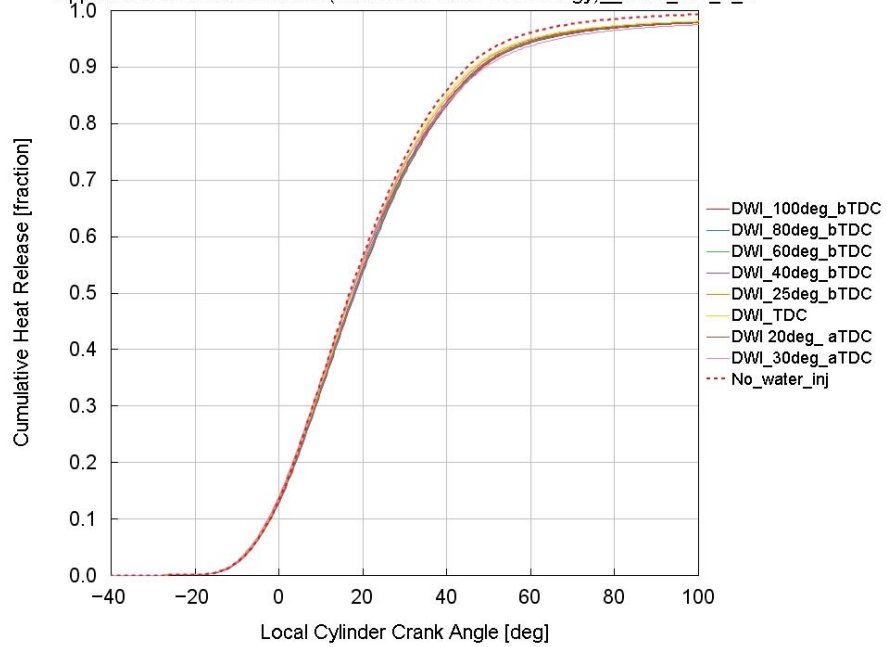
Parametry wtrysku w zależności od kąta początku wtrysku

3000 RPM W/F 0.2

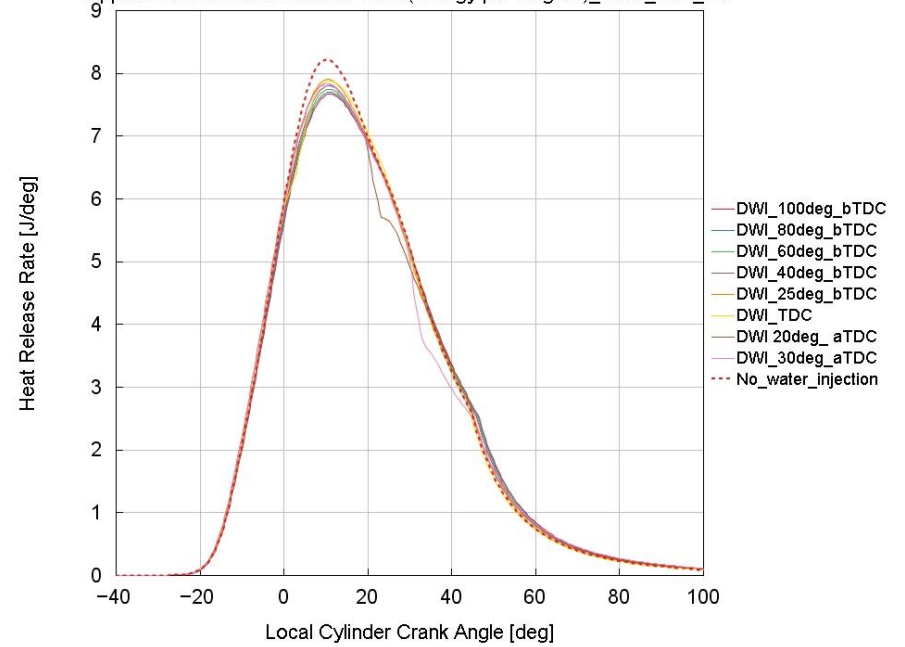


3000 RPM W/F 0.2

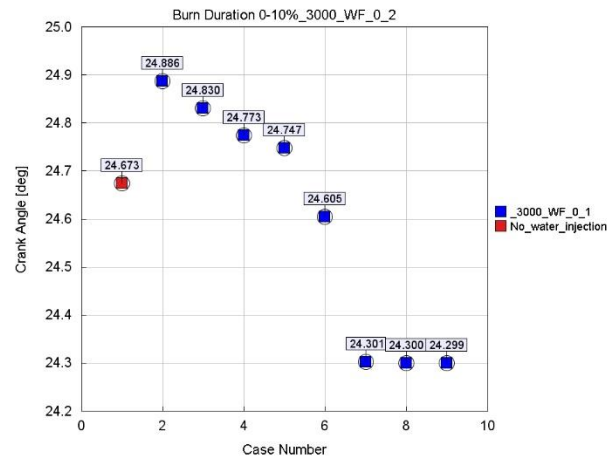
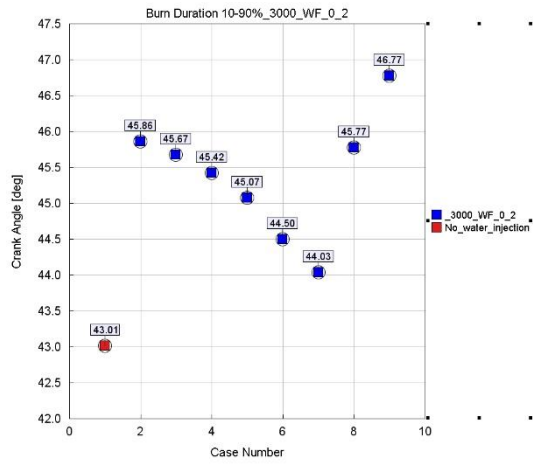
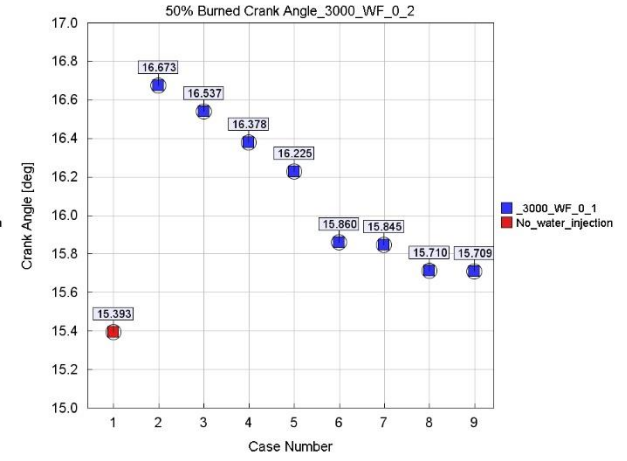
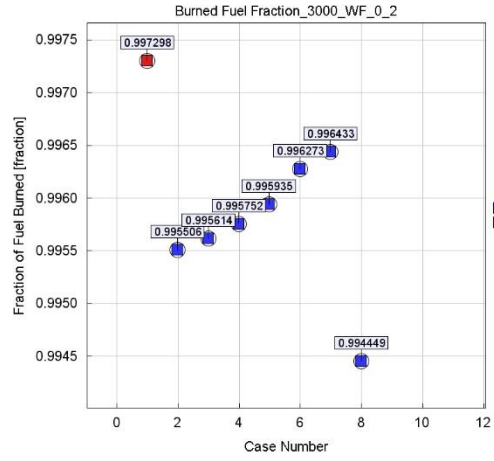
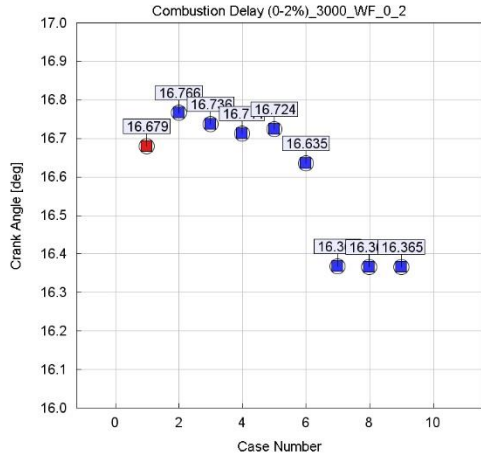
Apparent Gross Heat Release (Fraction of Total Fuel Energy)_3000_WF_0_2



Apparent Gross Heat Release Rate (Energy per Degree)_3000_WF_0_2

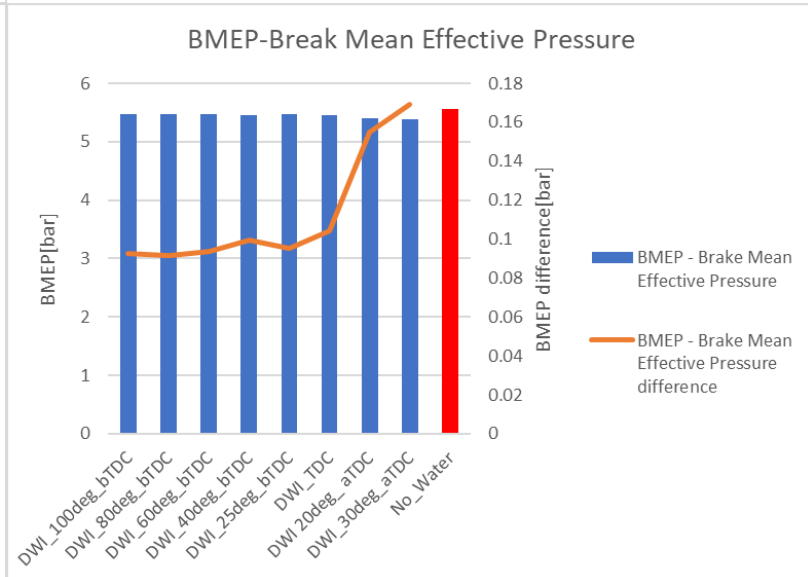
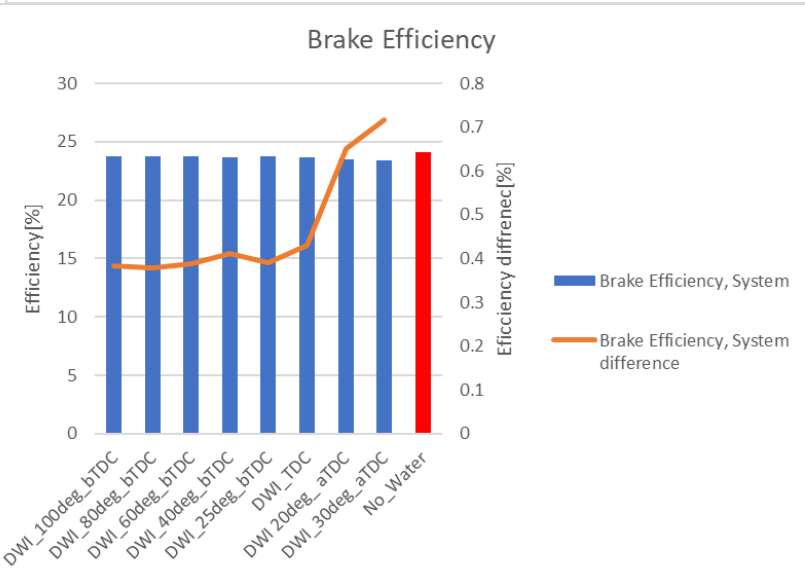
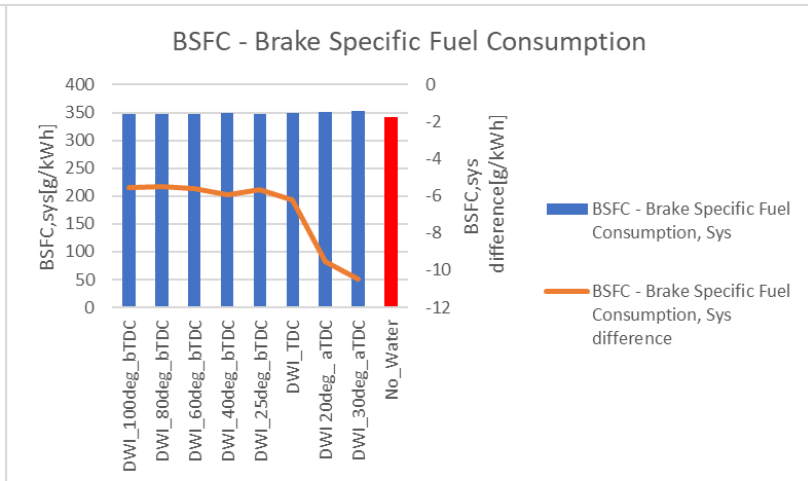
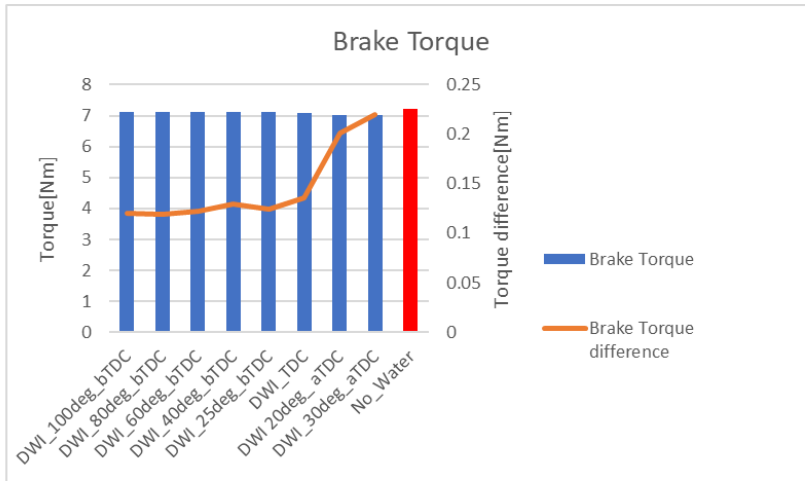


3000 RPM W/F 0.2

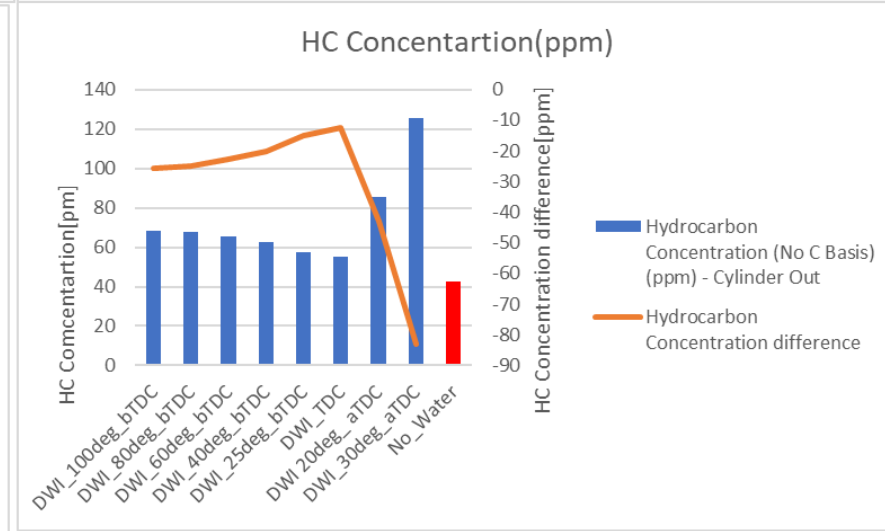
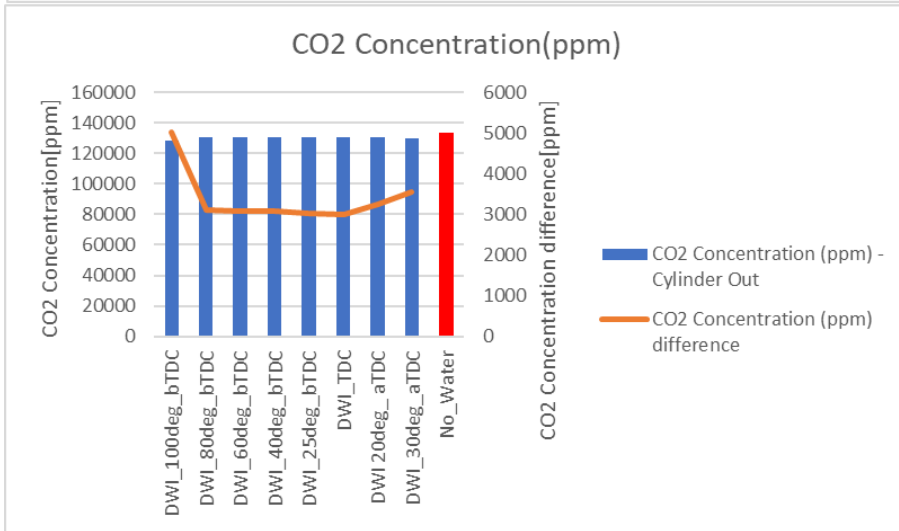
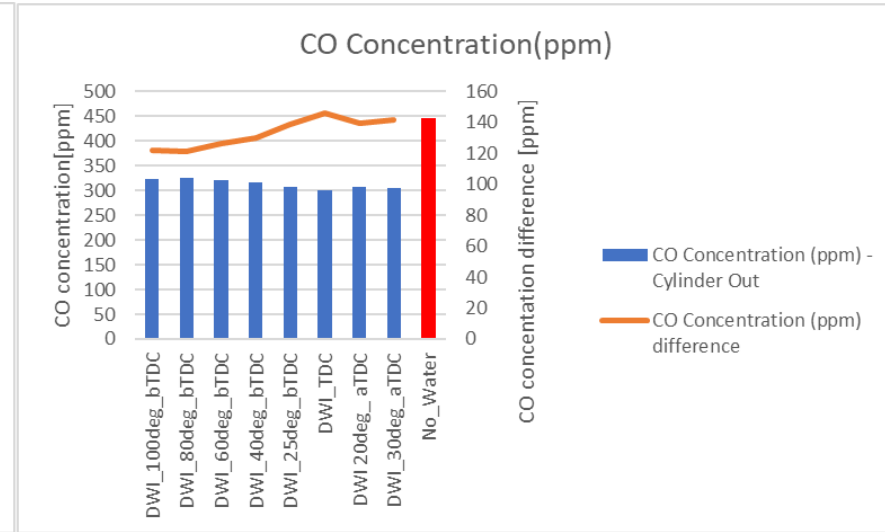
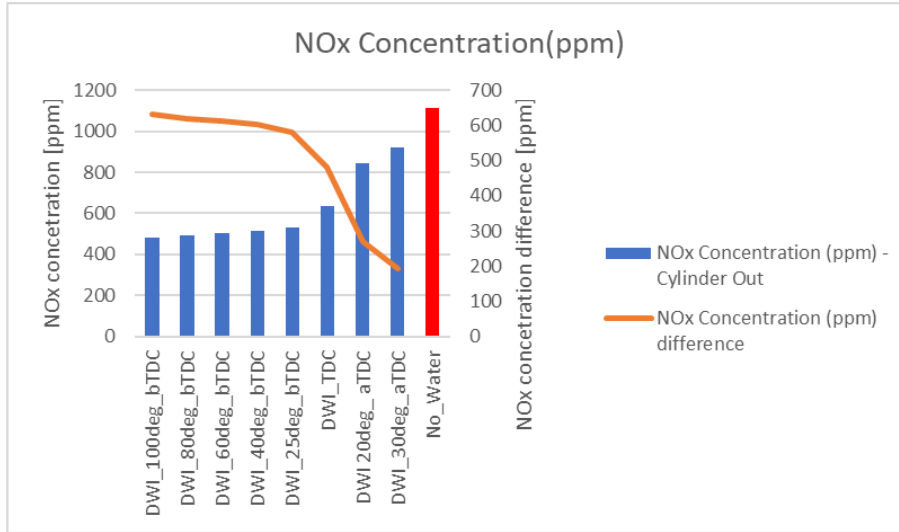


Case number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	No water inj.	DWI_100deg_bTDC	DWI_80deg_bTDC	DWI_60deg_bTDC	DWI_40deg_bTDC	DWI_25deg_bTDC	DWI_TDC	DWI_20deg_aTDC	DWI_30deg_aTDC

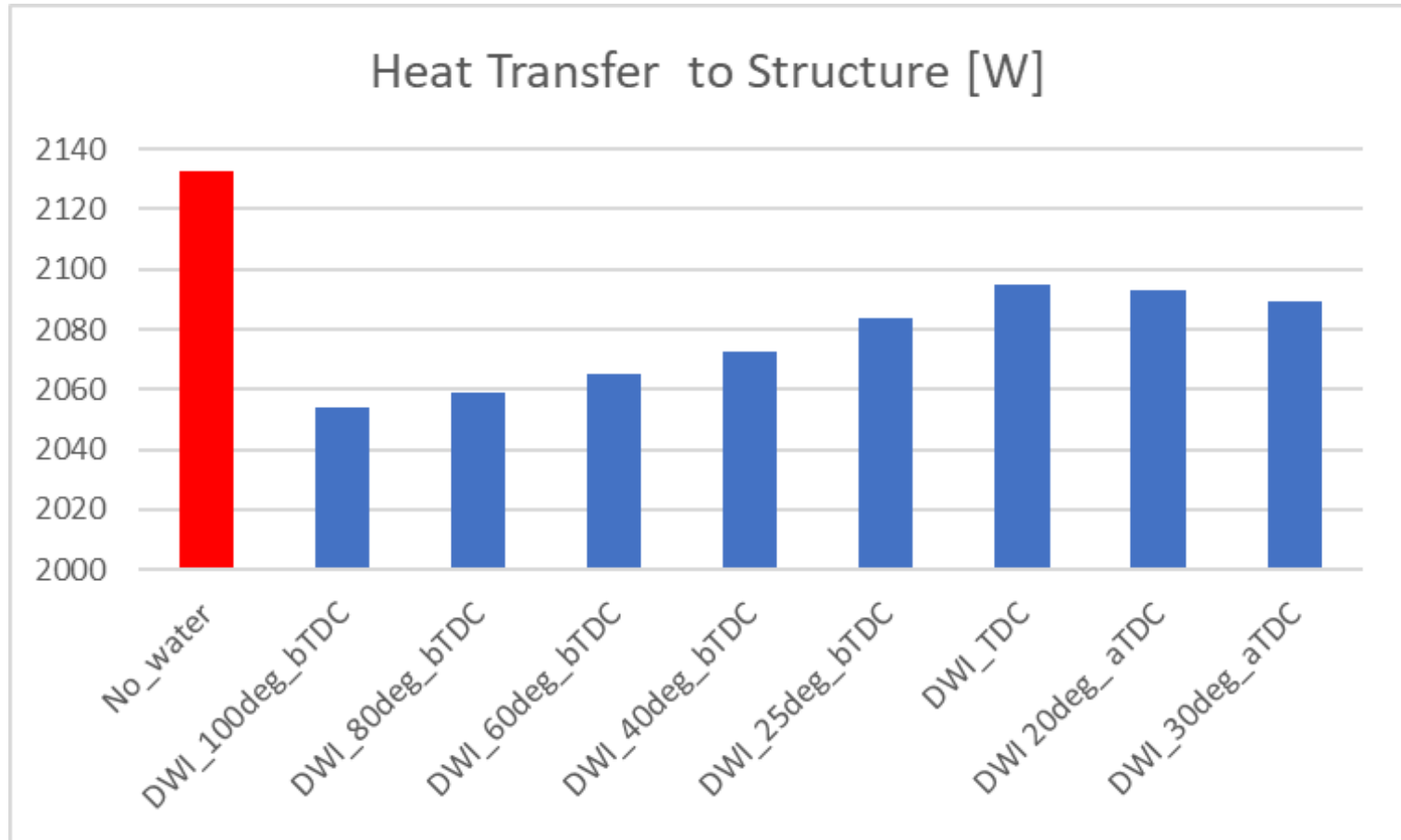
3000 RPM W/F 0.2



3000 RPM W/F 0.2



3000 RPM W/F 0.2



WNIOSKI

- Bezpośredni wtrysk wody do cylindra powoduje zmniejszenie emisji NO_x na skutek zmniejszenia ciśnienia oraz temperatury cyklu pracy silnika, dodatek wody zmniejsza także emisje CO, CO₂
- Wzrost emisji HC spowodowany jest zmniejszeniem sprawności spalania paliwa na skutek obecności pary wodnej która wydłuża nieznacznie proces spalania, przy czym podczas wtrysku w TDC wzrost emisji HC jest najmniej w stosunku do do emisji bez dodatku wody
- Wtrysk bezpośredni wody powoduje zmniejszenie transferu ciepła do elementów metalowych wewnątrz silnika.
- Dla początku wtrysku wody równym 100 deg bTDC występuje najmniejsza wartość emisji NO_x i CO względem emisji bez dodatku wody
- Dla wtrysku wody w TDC emisja CO₂ jest najmniejsza względem emisji bez dodatku wody
- Parametry ogólne pracy silnika spalinowego ZI pogarszają się w stopniu nie wielkim zależnym od początku wtrysku, przy czym im wcześniejszy wtrysk wody tym te różnice są mniejsze.
- Na bazie analizy wyników optymalnymi kątami wtrysku wody są kąty pomiędzy -100deg aTDC a TDC.
- Wyniki symulacji przedstawiają jedynie pewien trend. W celu dogłębnego zrozumienia wpływu bezpośredniego wtrysku wody wymagane jest przeprowadzenie bardziej zaawansowanych obliczeń CFD a przede wszystkim badań na stanowisku testowym.

Dalsze prace

- Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie testów bezpośredniego wtrysku wody na dedykowanym stanowisku badawczym
- Stanowisko do generowania wysokiego ciśnienia wody zostało przygotowane, jest ono nie zależne względem silnika i posiada własny napęd.
- Silnik pierwotnie jest zasilany poprzez układ gaznikowy oraz układ zapłonowy mechaniczny bez możliwości zmiany parametrów ze stałym kątem wyprzedzenia zapłonu. Przygotowana została konwersja układu zasilania do układu wtryskowego oraz układu zapłonowego do w pełni kontrolowanego przez jednostkę sterującą ECU.

DZIEKUJĘ ZA UWAGĘ