CHƯƠNG 4: XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ RCCI DỰA TRÊN ĐỘNG CƠ AVL 5402

4.1 Cơ sở xây dựng mô hình

RCCI là động cơ sử dụng hai nhiên liệu, vì vậy mô hình tính toán mô phỏng sẽ xây dựng trên cơ sở này. Bằng cách kết hợp mô hình động cơ phun diesel trực tiếp và động cơ phun xăng trên đường ống nạp. Như vậy, mô hình mô phỏng động cơ RCCI sẽ dựa trên mô hình mô phỏng động cơ AVL 5402, điểm khác nhau là việc thay đổi hệ thống cung cấp nhiên liệu và điều chỉnh một số thông số về nhiên liệu.

4.1.1 Mô hình hệ thống phân phối khí

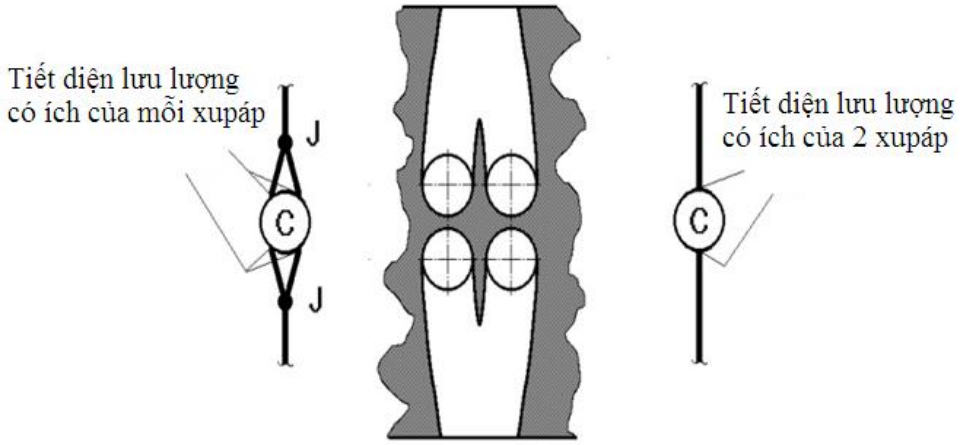
Trong phần mềm AVL Boost, hệ thống phân phối khí được mô hình hóa thành hệ thống ống, không thể hiện các xupáp trên mô hình mà chỉ thể hiện cổ nạp bằng các ống nối (pipe). AVL Boost đưa ra hai lựa chọn cho việc mô hình hóa một động cơ nhiều xupáp :

Một ống nối được nối vào mỗi xupáp (hình 4.1, 4.2, bên trái): Trong hình vẽ, cổ nạp và cổ xả được mô hình hóa bằng hai ống nối và một chạc nối. Đối với chạc nối này, mô hình nên được sử dụng một cách chuyên biệt, khi mà mô hình áp suất tĩnh dẫn tới việc mất mát áp suất cao. Mô hình này chỉ được yêu cầu khi hai xupáp có đặc tính thời điểm đóng mở khác nhau, hình dạng ống nối với xupáp khác nhau hoặc khi có một hệ thống ngắt xupáp được sử dụng.

Tất cả xupáp nạp và xả được mô hình hóa bằng một ống nối duy nhất (Hình 4.1., 4.2., bên phải). Lúc này, số lượng ống nối được tính bằng việc xác định hệ số dòng chảy và hệ số tỷ lệ sao cho hiệu suất tổng của dòng lưu chất tính trên diện tích mặt cắt của tất cả các xupáp đạt được. Mô hình này hay được sử dụng hơn do nó yêu cầu ít thành phần hơn và vì vậy bớt phức tạp và hiệu quả hơn.

Các họng khí sẽ được mô hình bằng mỗi một ống nối. Trong trường hợp mô hình động cơ AVL 5402 RCCI, đường kính nấm xupáp của xupáp nạp là 24,9 mm. Tính toán cho ra một hệ số tỷ lệ là:

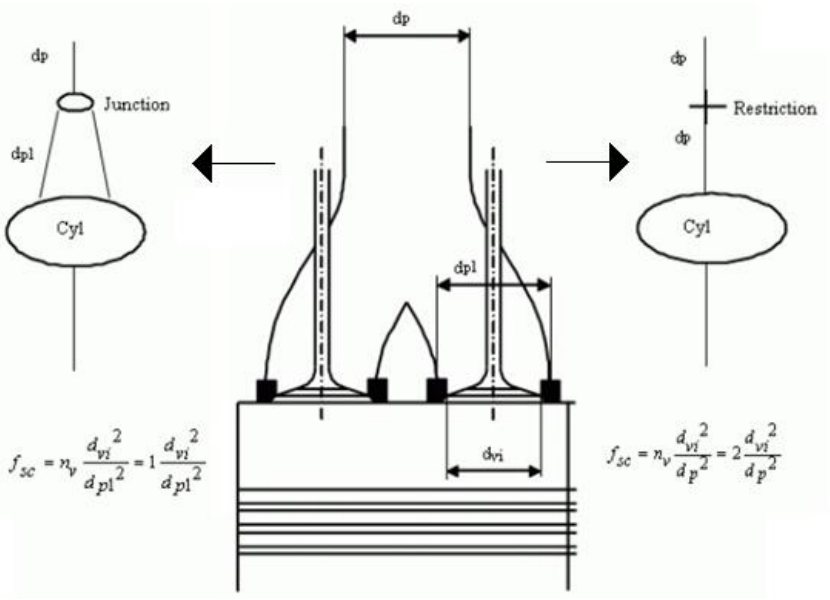
$$f_{sc} = \frac{n_v.d_{vi}^2}{d_{pipe9}^2} = \frac{2.24,9^2}{34^2} = 1,07$$



Hình 4.1: Mô hình động cơ nhiều xupáp.

Bản thân hệ số dòng lưu chất được xác định trong một hộp thoại xuất hiện sau khi vào mục Flow Coefficients. Chú ý rằng mục Flow Coefficients được xác định với chỉ một tỷ lệ áp suất nhất định, chúng sẽ được sử dụng độc lập với tỷ lệ áp suất thực tế tại mỗi xupáp.

Tóm lại, hệ thống phân phối khí cho động cơ AVL 5402 RCCI được mô hình hóa như sau trong phần mềm AVL Boost:



Hình 4.2: Mô hình hóa hệ thống phân phối khí cho động cơ AVL 5402 RCCI

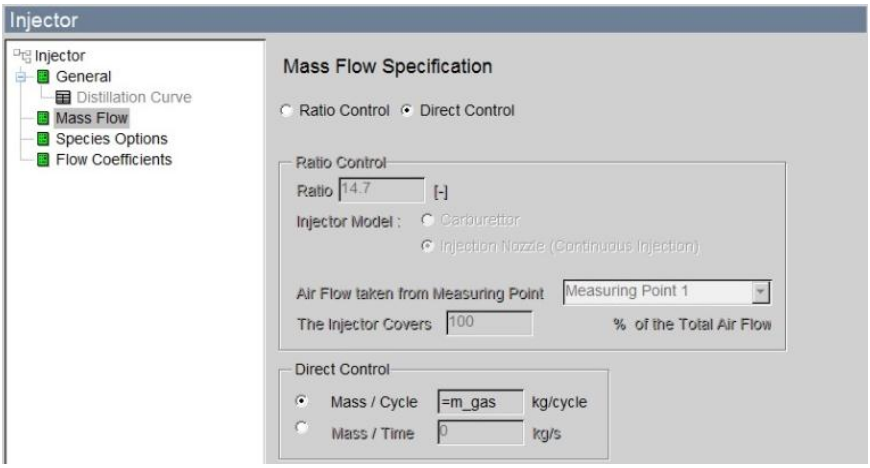
4.1.2 Mô hình hệ thống nhiên liệu

Nguyên tắc làm việc của động cơ Diesel là hình thành hỗn hợp nhiên liệu và không khí bên trong buồng cháy. AVL Boost không mô hình hóa hệ thống nhiên liệu của động cơ Diesel thành một phần tử cụ thể nào, mà bằng cách điều chỉnh nó bằng các thông số thông qua các mô hình cháy và mô hình truyền nhiệt.

Trong trường hợp của động cơ RCCI mà nền tảng là động cơ Diesel AVL 5402 được bổ sung thêm hệ thống cung cấp nhiên liệu cho xăng. Như đã nói trong phần Cơ sở lý thuyết, ta cần bố trí kim phun xăng trên đường ống nạp để việc hòa trộn hỗn hợp khí diễn ra bên ngoài buồng cháy.

4.1.2.1 Lý thuyết mô hình hóa kim phun xăng của AVL Boost

Để tính toán được tổn thất áp suất cụ thể là do hiện tượng dòng chảy đa chiều mà không thể dự đoán được bằng phần mềm, Boost yêu cầu xác định các thông số hệ số lưu lượng dòng chảy của kim phun xăng. Hệ số lưu lượng này là tỷ lệ giữa lưu lượng khối lượng thực tế và khối lượng mất mát lưu lượng đẳng entropy tại áp suất không đổi và với cùng tỷ lệ áp suất.



Hình 4.3: Thiết lập thông số của kim phun xăng.

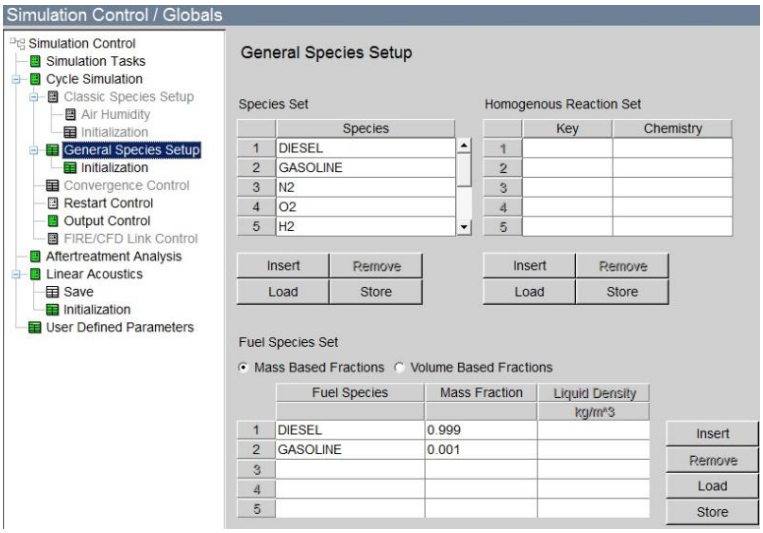
Đối với phần tử Injector, nếu chọn mô hình Ratio Control thì lượng nhiên liệu cung cấp được xác định bằng tỷ lệ A/F và thông số từ cảm biến lưu lượng khí nạp tại điểm đo (measuring point) được xác định (volumetric efficiency). Nếu chọn mô hình Direct Control thì lượng nhiên liệu được xác định trực tiếp là khối lượng nhiên

liệu trên một chu kỳ (kg/cycle). Trong mô hình động cơ RCCI sử dụng mô hình Direct Control.

4.1.2.2 Điều chỉnh các thông số hệ thống nhiên liệu của mô hình động cơ RCCI:

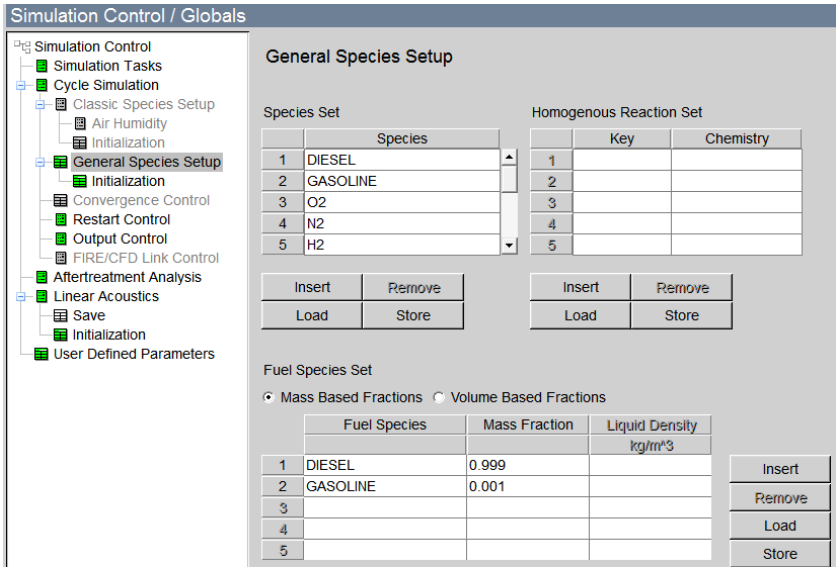
Các thông số cần phải điều chỉnh bao gồm điều chỉnh: Mô hình mô phỏng động cơ chạy đa nhiên liệu, mở cửa sổ Simulation Control → General Species Setup.

Có hai điều cần lưu ý khi thiết lập chung phần động cơ RCCI: Thứ nhất để mô hình hiểu sử dụng 2 nhiên liệu là xăng và diesel thì bắt buộc ta phải khai báo phần diesel, xăng trong Fuel Species Set đối với diesel là 0.999, xăng là 0.001. Lưu ý thứ hai là đối với AVL_Boost 2011 thứ tự sắp xếp là diesel, gasoline, N_2,O_2. Nhưng trong AVL_Boost 2013thì thứ tự này phải là diesel, gasoline, O_2 ,N_2, nếu ta không chỉnh theo thứ tự nêu trên thì phần mềm sẽ không chạy được, báo lỗi.



Hình 4.4: Thiết lập mô hình động cơ hai nhiên liệu cho AVL_Boost 2011.

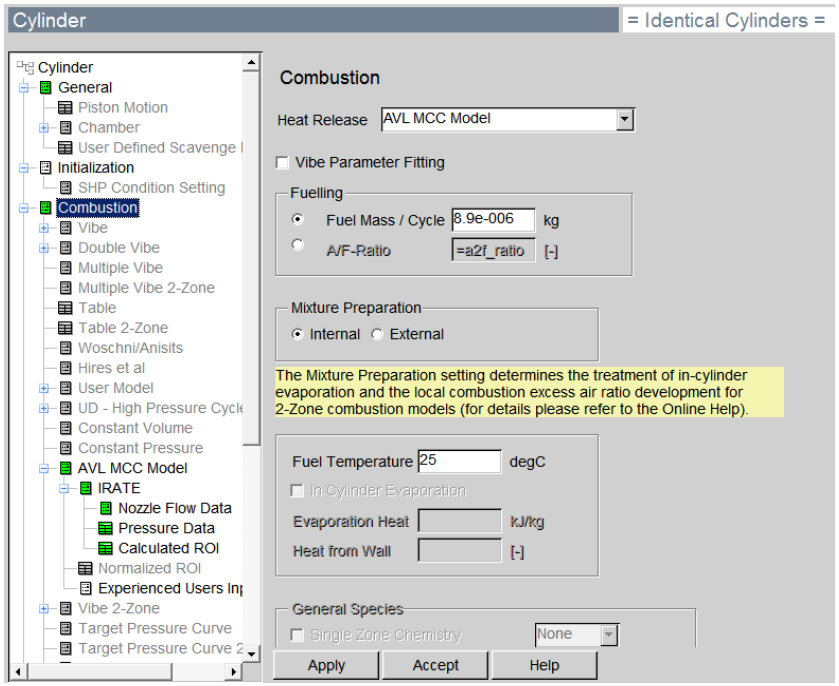
Trong phần chọn mô hình cháy: Ta chọn mô hình AVL_MCC, ưu điểm của mô hình này là có thể thiết lập các trường hợp mô phỏng kim phun diesel, thời điểm phun diesel, số lần phun diesel một cách dễ dàng. Và quan trọng nhất mô hình này gần với các thiết lập của người dùng hơn các mô hình khác. Ví dụ mô hình Vibe có các thông số m, thông số a, mà khi thiết lập mô hình thì ta phải tìm hiểu ý nghĩa các thông số này, điều này cũng không đơn giản.



Hình 4.5: Thiết lập mô hình động cơ hai nhiên liệu cho AVL_Boost 2013.

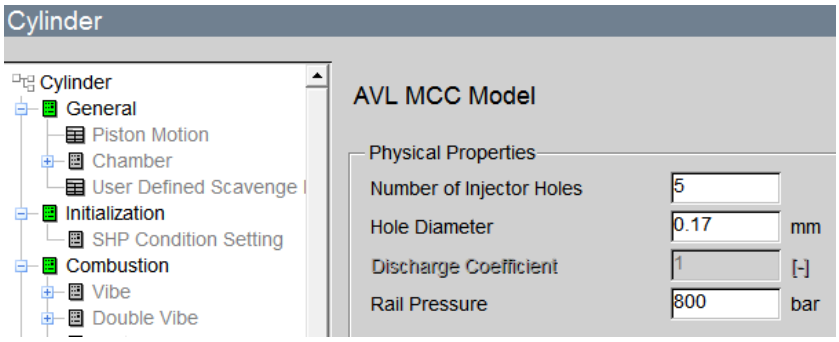
Ngoài ra, một ưu điểm lớn của mô hình AVL_MCC nữa là mô hình có khả năng tính được thời gian phun, lượng phun diesel của từng lần phun, điều mà các mô hình khác không làm được, hoặc là làm được nhưng khó để người dùng tiếp cận.

Chọn cách phân phối nhiên liệu vào xylanh bằng cách chọn phương pháp Fuel Mass/ cycle, lượng nhiên liệu trong một chu kỳ.



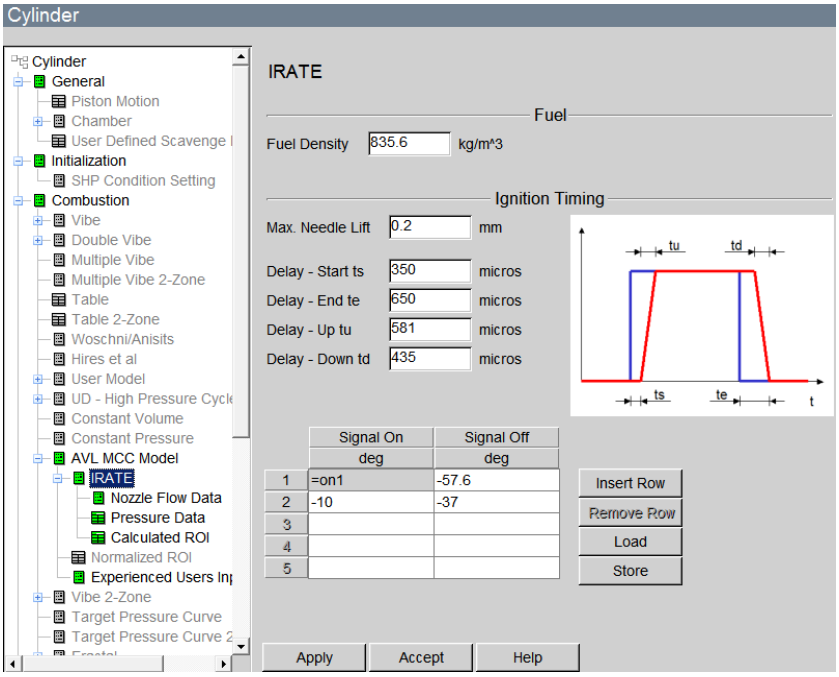
Hình 4.6: Thiết lập mô hình AVL MCC cho cửa sổ Combustion.

Thiết lập các thông số về kim phun.



Hình 4.7: Thiết lập thông số cho mô hình AVL MCC.

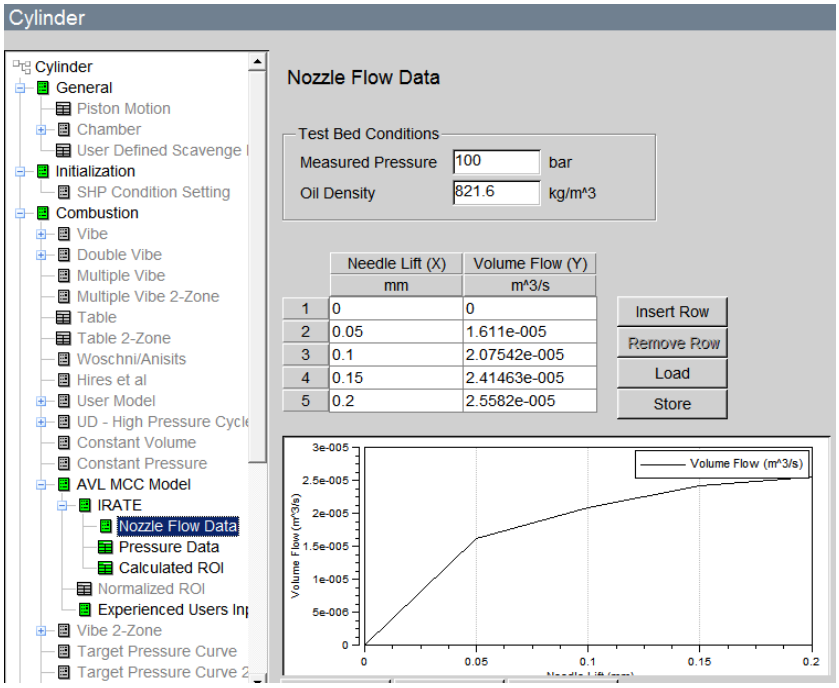
Thiết lập số lỗ kim phun, đường kính lỗ kim phun, áp suất phun. Các thông số này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến sự tính toán thời điểm phun, lượng phun (tính trong Normalized ROI) sau này.



Hình 4.8: Thiết lập thời điểm phun diesel.

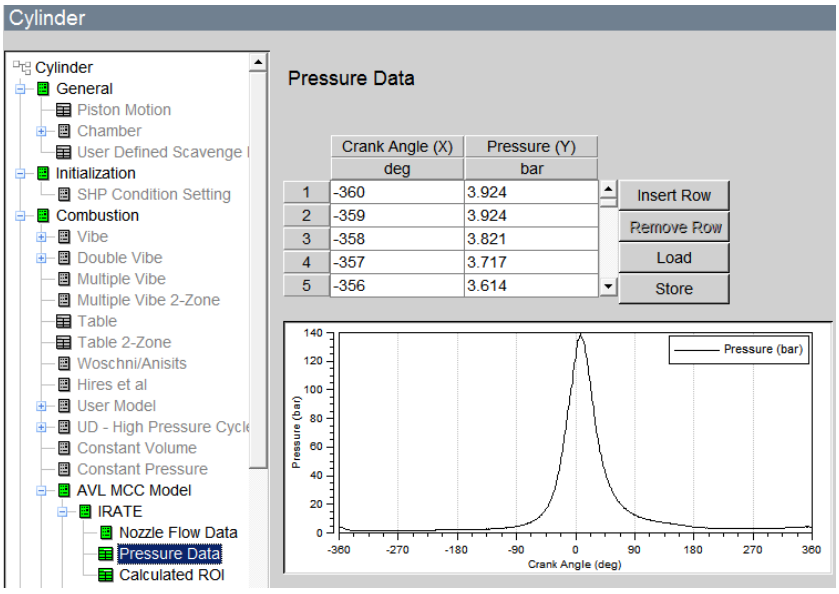
Tất cả các thiết lập này đều ảnh hưởng đến việc tính toán thời điểm phun, lượng phun trong Normalized ROI. Do đó, trong quá trình thiết lập phải thường xuyên cập nhật các kết quả ở Normalized ROI để có thể điều chỉnh kịp thời.

Một lưu ý nữa là thời điểm tín hiệu phun: Quan trọng nhất là thời điểm tín hiệu on, off lần phun đầu tiên, và tín hiệu on lần phun thứ hai. Tín hiệu off lần phun hai thực chất phần mềm sẽ tự tính toán, không hoàn toàn giống như người dùng đã thiết lập.



Hình 4.9: Khai báo độ nâng kim phun.

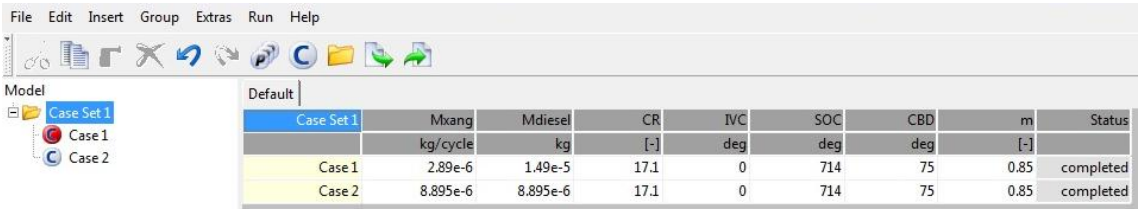
Trong phần khai báo độ nâng kim cần lưu ý khai báo đúng đơn vị, là m hay là mm. Khi khai báo dữ liệu áp suất nâng kim cũng vậy, đơn vị là bar hay Pa. Nếu khai báo sai đơn vị thì cũng sẽ làm sai lệch kết quả.



Hình 4.10: Khai báo dữ liệu áp suất nâng kim.

Điều chỉnh lượng nhiên liệu diesel và xăng trong cửa sổ Case Explorer. Sau khi khai báo đầy đủ các thông số phần mềm yêu cầu, phần mềm sẽ tiến hành tính toán.

Nếu tính toán được sẽ thông báo bên góc phải “Calculation successful”, nếu không tính toán được sẽ thông báo “Calculation failed”.

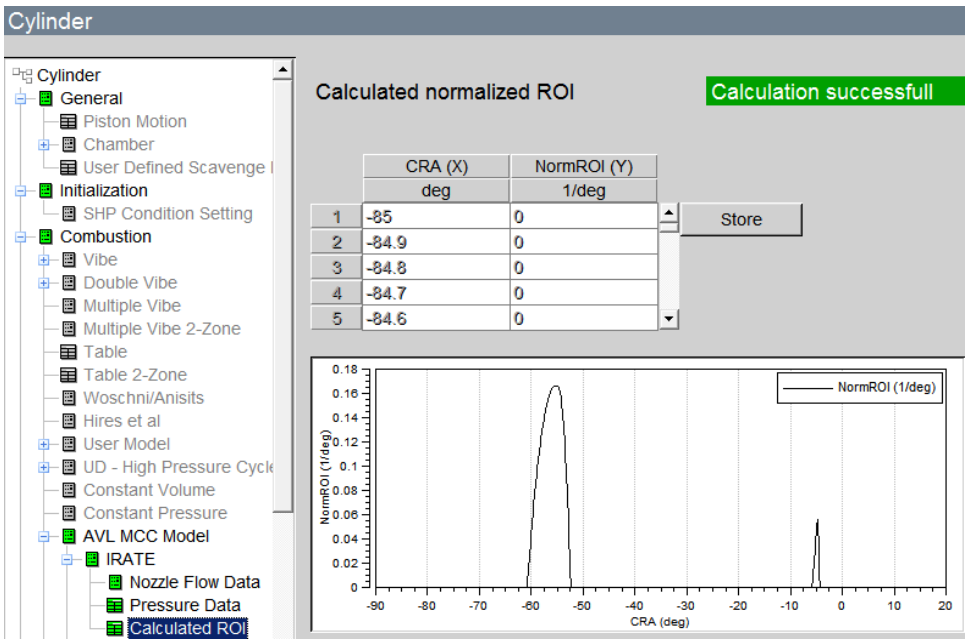


Case Set 1	Mxang	Mdiesel	CR	IVC	SOC	CBD	m	Status
	kg/cycle	kg	[-]	deg	deg	deg	[-]	
Case 1	2.89e-6	1.49e-5	17.1	0	714	75	0.85	completed
Case 2	8.895e-6	8.895e-6	17.1	0	714	75	0.85	completed

Hình 4.11: Thiết lập thay đổi các thông số mô phỏng nhiều trường hợp

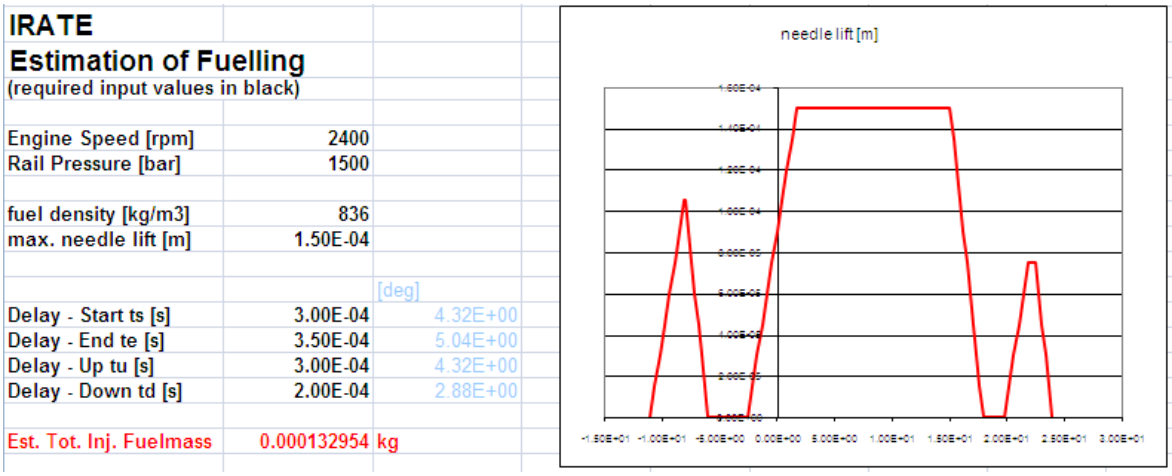
Các thông số đầu vào để phần mềm tính toán bao gồm: Khối lượng diesel được phun vào trong một chu kỳ, số lỗ kim phun, đường kính kim phun, áp suất đường ống, độ trễ của kim, độ nâng kim, áp suất kim…

Một lưu ý quan trọng nữa là các thiết lập của người dùng sau khi phần mềm tính toán sẽ sai khác so với dự tính ban đầu của người dùng. Do đó, để đảm bảo tính chính xác người dùng cần phải tra bảng kết quả Normalized ROI.

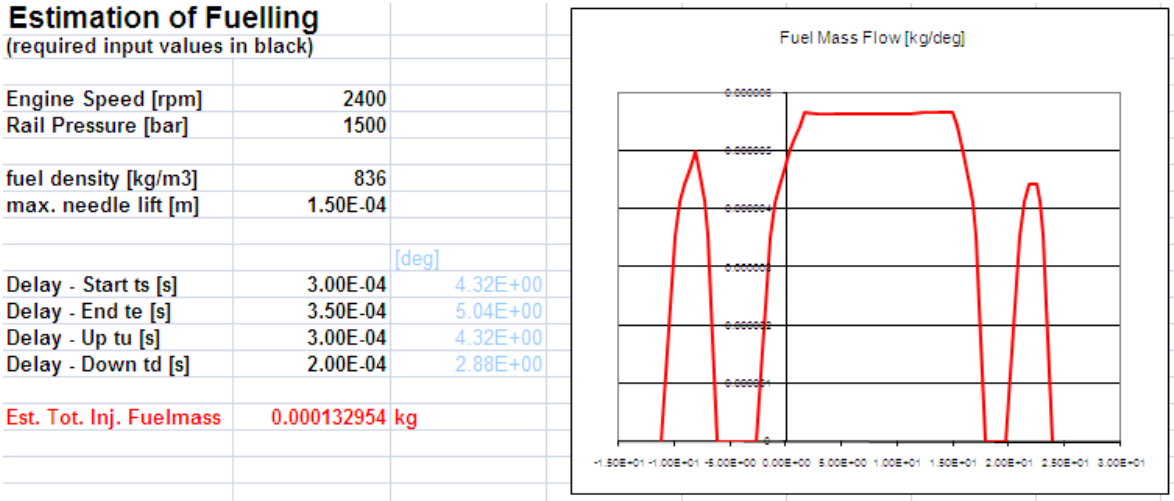


Hình 4.12: Kết quả tính toán phun diesel.

Để tính toán được lượng phun của từng lần phun AVL cung cấp một file excel Irate_estimation.xls cho người dùng tính toán. Tuy nhiên, việc tính toán này cũng cần phải có một số lưu ý.



Hình 4.13: Phần tính toán độ nâng kim phun trong file Irate_estimation.xls.



Hình 4.14: Phần tính toán lưu lượng phun trong file Irate_estimation.xls.

Nếu người dùng sử dụng file excel làm cơ sở để tính khối lượng phun, tức là nhập các thông số theo như hướng dẫn trong file excel, từ đó lấy kết quả (khối lượng cho mỗi lần phun là bao nhiêu, khối lượng phun tổng cộng là bao nhiêu) rồi nhập ngược lại phần mềm Boost, kết quả là phần mềm sẽ báo lỗi hoặc kết quả không chính xác.

Bởi vì file excel chỉ tính toán dựa trên các thông số: Tốc độ động cơ, áp suất đường ống, mật độ nhiên liệu, độ nâng kim, áp suất nâng kim, độ trễ kim, thời điểm phun. Trong khi đó ở phần mềm, ngoài các thông số trên phần mềm còn dựa trên đường kính kim, số lỗ kim phun, khối lượng nhiên liệu phun.

Nên phương pháp chính xác hơn là: Ta nhập tổng lượng phun vào phần Fuel mass/cycle, tất nhiên là đã thiết lập đầy đủ các thông số, sau đó cho phần mềm tính

toán. Sau khi tính toán, phần mềm sẽ xuất ra file Normalized ROI, từ kết quả từ bảng này ta nhập ngược lại file excel để tính phần trăm lần phun diesel thứ nhất, thứ hai. Từ phần trăm này ta tính được khối lượng của từng lần phun.

4.2 Thiết lập lượng nhiên liệu dùng cho mô phỏng

Do nhiệt trị của nhiên liệu diesel và xăng khác nhau do đó cần phải thiết lập tỷ lệ lượng nhiên liệu quy đổi giữa diesel và xăng để cho lượng năng lượng cung cấp đầu vào giống nhau đối với các trường hợp mô phỏng giữa động cơ Diesel và động cơ RCCI. Đây là cơ sở cho việc thiết lập lượng nhiên liệu dùng trong mô phỏng.

Nhiệt trị của diesel là 42500 kJ/kg. Nhiệt trị của xăng là 43500 kJ/kg

Cách quy đổi từ 35 mm^3 diesel như sau:

35 mm^3 diesel→35. 10^{-6} lít diesel →35. 10^{-6} x0.857→**2.995. 10^{-5} kg** diesel. Lượng diesel này quy đổi ra năng lượng là tương đương 2.995. 10^{-5} x 42500=1.273 kJ.

Tương đương với mức năng lượng 1.273 kJ này khối lượng xăng sẽ là: 1.273/43500=**2.926. 10^{-5} kg.** Vậy muốn lấy 10% xăng thì ta chỉ cần lấy 10% của phần khối lượng 2.926. 10^{-5} kg.

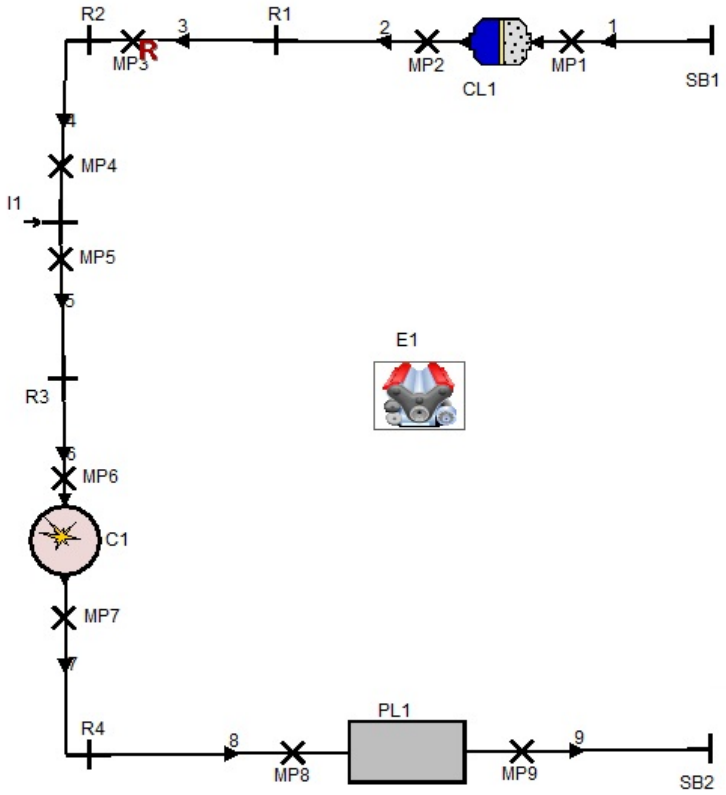
Từ đó, lượng nhiên liệu giữa diesel và xăng trong các trường hợp mô phỏng được quy đổi như sau:

Bảng 4.1: Khối lượng nhiên liệu diesel và xăng dựa trên tỷ lệ phần trăm của xăng

Khối lượng xăng (kg)	Phần trăm xăng (%)	Năng lượng của xăng (kJ)	Khối lượng diesel (kg)	Phần trăm diesel (%)	Năng lượng của diesel (kJ)	Tổng khối lượng (kg)	Tổng năng lượng (kJ)
1.463. 10^{-6}	5%	0.063	2.845. 10^{-5}	95%	1.209	2.9917. 10^{-5}	1.272
2.926. 10^{-6}	10%	0.127	2.695. 10^{-5}	90%	1.145	2.9876. 10^{-5}	1.272
5.852. 10^{-6}	20%	0.254	2.396. 10^{-5}	80%	1.018	2.9812. 10^{-5}	1.272
8.778. 10^{-6}	30%	0.382	2.0965. 10^{-5}	70%	0.891	2.9743. 10^{-5}	1.272
1.1704. 10^{-5}	40%	0.509	1.797. 10^{-5}	60%	0.764	2.9674. 10^{-5}	1.272
1.463. 10^{-5}	50%	0.636	1.4975. 10^{-5}	50%	0.636	2.9605. 10^{-5}	1.272
1.7556. 10^{-5}	60%	0.764	1.198. 10^{-5}	40%	0.509	2.9536. 10^{-5}	1.272
2.0482. 10^{-5}	70%	0.891	8.985. 10^{-6}	30%	0.382	2.9467. 10^{-5}	1.272
2.3408. 10^{-5}	80%	1.018	5.99. 10^{-6}	20%	0.254	2.9398. 10^{-5}	1.272
2.6334. 10^{-5}	90%	1.145	2.995. 10^{-6}	10%	0.127	2.9329. 10^{-5}	1.272

4.3 Mô hình động cơ RCCI

Sau khi đã thiết lập các thông số cho quá trình mô phỏng, tiến hành mô phỏng động cơ RCCI theo mô hình sau.

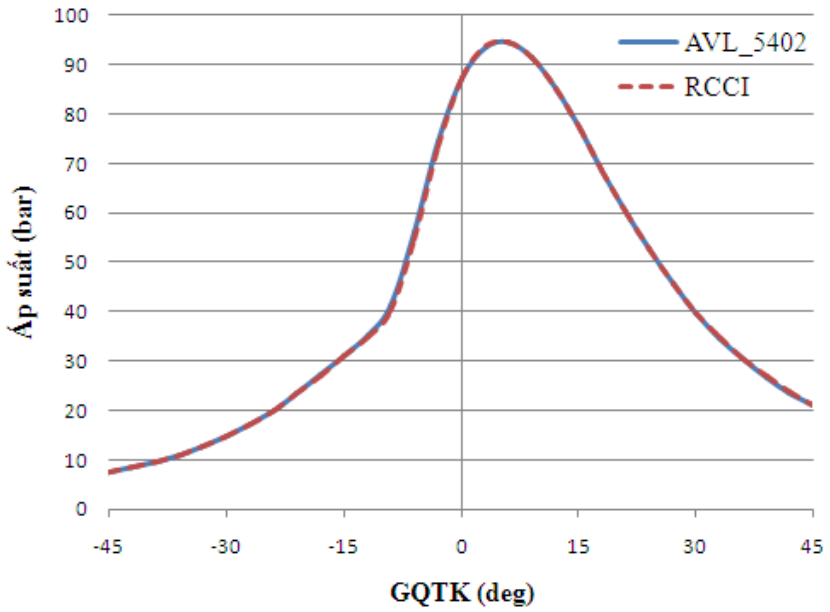


Hình 4.15: Mô hình động cơ RCCI dùng cho mô phỏng trong AVL Boost.

Mô hình bao gồm: Một bộ lọc gió (CL1); một động cơ (E1); một xylanh (C1); một kim phun xăng (I1); một bình ổn áp (PL1); chín điểm đo (MP); hai điểm điều kiện đầuvào (SB); bốn phần tử cản dòng (R); chín đoạn ống nối (1,2..9).

Sau khi xây dựng mô hình RCCI, ta kiểm tra tính chính xác của mô hình RCCI, động cơ RCCI có hoạt động như động cơ diesel truyền thống khi không áp ứng dụng công nghệ RCCI hay không, bằng cách *không cho phun xăng*, chỉ cho phun diesel giống như động cơ AVL_5402 ở cùng điều kiện.

Kết quả trên hình 4.16 cho thấy mô hình động cơ RCCI vẫn có khả năng chạy như một động cơ diesel truyền thống. Và cũng chứng tỏ mô hình RCCI đã thiết lập là chính xác.



Hình 4.16: So sánh áp suất mô hình RCCI với mô hình AVL_5402.

4.4 Mô phỏng công nghệ RCCI vào động cơ AVL 5402 hiện hành

4.4.1 Mô phỏng mô hình động cơ RCCI phun xăng, phun diesel một lần (RCCI_1)

Mô hình động cơ RCCI được cho chạy phun xăng, phun diesel một lần (kết quả xem phần phụ lục).

Trong các trường hợp mô phỏng trên ta chọn ra trường hợp tối ưu nhất (trường hợp phun 5% xăng) để so sánh với động cơ AVL 5402 truyền thống. Ta đặt tên cho động cơ này là RCCI_1. Trường hợp động cơ RCCI_1 có áp suất cực đại tại 9 độ sau ĐCT, nên ta sẽ đối chiếu bảng 3.7 để tìm ra trường hợp của động cơ AVL 5402 có áp suất cực đại là trường hợp 14.

Bảng 4.2: Các thông số đầu vào cho mô hình động cơ RCCI_1 (case2)

Kiểu động cơ	**RCCI_1**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	$1.463.\ 10^{-6}$ (chiếm 5%)
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/cycle)	$2.845.\ 10^{-5}$(chiếm 95%)
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272
Thời điểm phun diesel (deg)	-11
Thời điểm phun xăng (deg)	Phun khi xupáp nạp mở

Tỷ số nén ε	17,1
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	16.82
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	304.88
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	633.12
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

Bảng 4.3: Các thông số đầu vào cho mô hình động cơ Diesel AVL_5402 (case14)

Kiểu động cơ	**Diesel**
Thời điểm phun diesel (deg)	-13
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng nhiên liệu sử dụng (kg/cycle)	$2.995.10^{-5}$
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272
Tỷ số nén ε	17,1
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	16.85
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	304.88
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	633.12
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

Bảng 4.4: So sánh động cơ RCCI_1 với động cơ AVL_5402.

STT	**1**	**2**
Loại động cơ	RCCI_1	AVL_5402
Thời điểm phun diesel (deg)	-11	-13
Các thông số về hiệu suất làm việc của động cơ		
IMEP (bar)	8.990	9.096
BMEP (bar)	7.153	7.259
Suất tiêu hao nhiên liệu (g/kWh)	294.63	232.49
Hiệu suất (%)	35.88	36.18
Các thông số về khí thải		
NOx (g/kWh)	5.117	10.813
Soot (g/kWh)	1.601	3.950
Các thông số về quá trình cháy		
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-4.5	-6.50
Khoảng thời gian cháy (deg)	132.50	134.50
Áp suất cực đại (bar)	71.22	70.96
Tại GQTK (deg)	**9.00**	**9.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	4.13	3.57
Tại GQTK (deg)	1.50	0.00
Nhiệt độ cực đại (K)	1923.36	1987.90
Tại GQTK (deg)	24.50	24.00
Nhiệt độ cháy (K)	2656.16	2694.11
Tại GQTK (deg)	4.50	3.00
Cân bằng khối lượng nhiên liệu		
Tổng khối lượng nhiên liệu phun trực tiếp (g)	0.02845	0.029995
Lưu lượng khối lượng phun xăng (g/cycle)	0.0015	0
Cân bằng năng lượng		

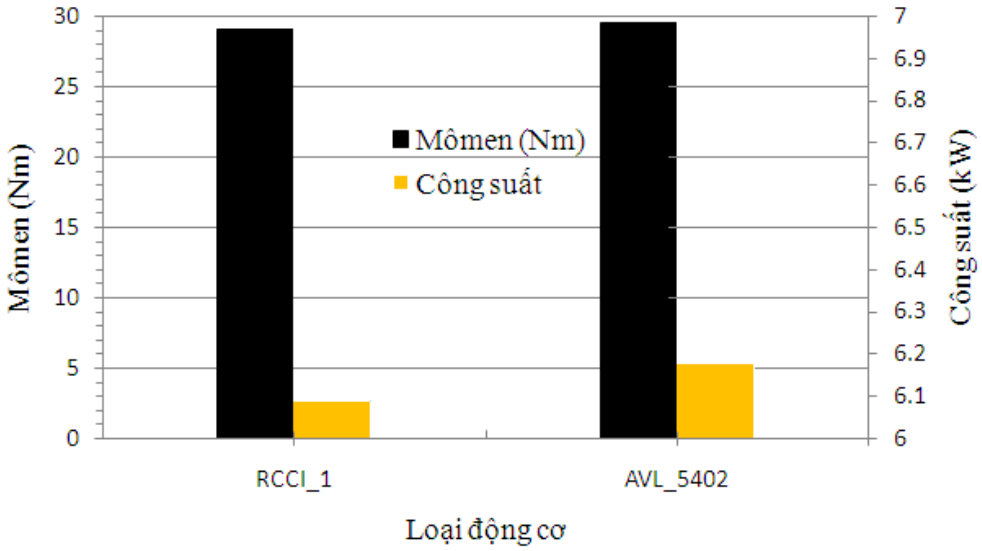
Năng lượng nhiên liệu (kJ)	1.27984	1.27353
Năng lượng được giải phóng (kJ)	1.23906	1.27353
Các thông số chuẩn tại thời điểm bắt đầu đạt áp suất cao (SHP)		
Áp suất (bar)	1.222	1.166
Nhiệt độ (K)	373.40	374.08
Lưu lượng không khí (g/s)	8.332	8.389
Lưu lượng nhiên liệu (g/s)	0.498	0.500
Tỷ lệ A/F (khi cháy)	16.82	16.85
Hệ số dư lượng không khí	1.1087	1.1461
Các thông số trao đổi khí		
Tổng khối lượng tại SHP (g)	0.5187	0.5222
Tổng khối lượng không khí trong xylanh tại SHP (g)	0.5028	0.5055
Tổn thất thành nhiệt (wall heat losses)		
Tổng tổn thất thành nhiệt (kJ)	-0.3688	-0.40456
Tổng tổn thất thành nhiệt ở áp suất cao (kJ)	-0.3239	-0.34910
Tổng tổn thất thành nhiệt khác (kJ)	-0.2882	-0.3150
Các thông số tại xupáp xả		
Áp suất (bar)	4.21	4.36
Nhiệt độ (K)	1244.05	1293.90
Hệ số A/F (tại xupáp xả)	16.45	16.70
Tỷ lệ khối lượng sản phẩm cháy	0.92955	0.98745
Tỷ lệ khối lượng của nhiên liệu	0.002952	0.000449
Các thông số kết quả động cơ		
Mômen chỉ thị (Nm)	36.54	36.97
Công suất chỉ thị (kW)	7.65	7.74
Mômen tổn thất (Nm)	7.47	7.47
Công suất tổn thất (kW)	1.56	1.56

Mômen có ích (Nm)	29.07	29.50
Công suất có ích (kW)	6.09	6.18

Phân tích thông số công suất, mômen

Thời điểm bắt đầu cháy ở động cơ RCCI_1 trễ hơn thời điểm bắt đầu cháy ở động cơ AVL_5402 nên khoảng thời gian cháy ở động cơ 5402 cũng dài hơn.

Mặc dù vậy, động cơ RCCI_1 đạt áp suất cực đại lớn hơn động cơ 5402 nhưng hiệu suất động cơ RCCI_1 lại nhỏ hơn do phần năng lượng được giải phóng thấp. Điều này có thể do sự không đồng nhất nhiên liệu sử dụng, động cơ AVL_5402 sử dụng 100% diesel, còn động cơ RCCI_1 sử dụng 95% diesel, 5% xăng.

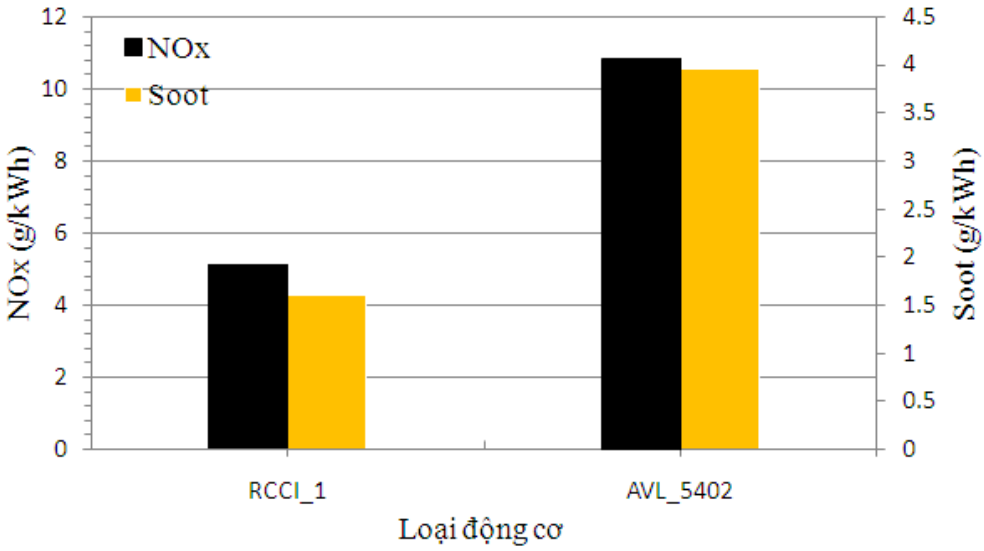


Hình 4.17: Đồ thị công suất, mômen động cơ RCCI_1 và động cơ AVL_5402.

Phân tích các thông số về khí thải

Động cơ RCCI_1 có thành phần khí thải NOx thấp bởi vì có nhiệt độ cực đại buồng cháy thấp hơn (1923.36K so với 1987.90K). Cùng với nhiệt độ tại vùng cháy của động cơ RCCI_1 thấp hơn (2656.16K so với 2694.11K).

Soot ở trường hợp RCCI_1 ít hơn vì quá trình cháy diễn ra tốt hơn, áp suất cực đại đạt ở cùng GQTK lớn hơn, độ gia tăng áp suất lớn hơn.



Hình 4.18: Đồ thị phát thải NOx, soot trên động cơ RCCI_1 và AVL_5402.

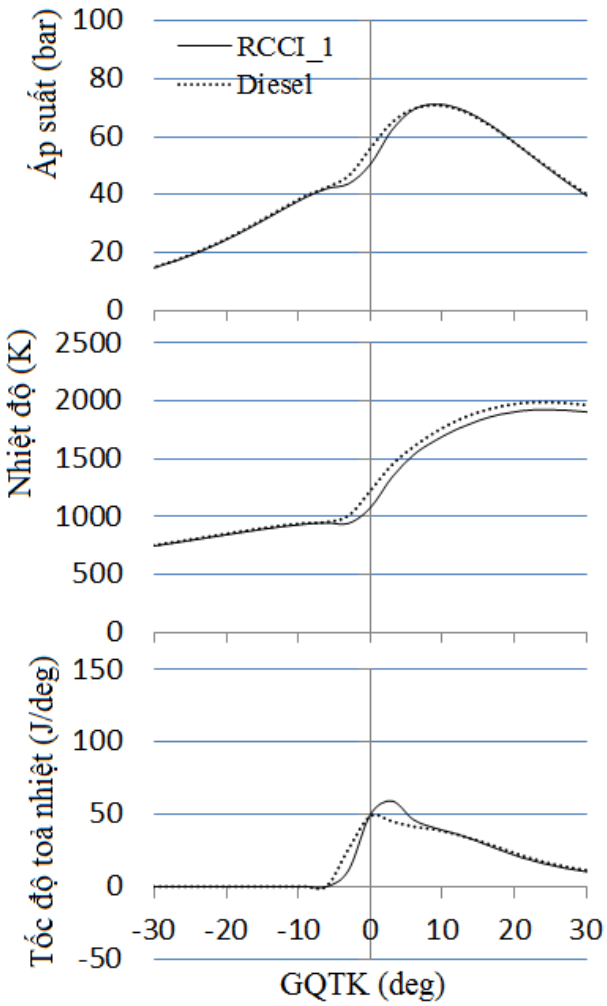
Phân tích quá trình cháy

Trên các đồ thị áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt khi so sánh động cơ RCCI_1, RCCI_2, RCCI_3, RCCI_4 với động cơ diesel đường đứt biểu diễn cho động cơ diesel, đường liền nét biểu diễn cho các động cơ RCCI với độ dày của các đường tăng dần. Dày nhất là RCCI_4, và mỏng nhất là RCCI_1.

Hình dạng hai đồ thị không có sự khác nhau nhiều, quá trình cháy ở động cơ 5402 diễn ra sớm hơn và khoảng thời gian cháy dài hơn. Chính điều này làm cho nhiệt độ buồng cháy chậm giảm hơn so với động cơ RCCI_1 (hình 4.19).

Tốc độ toả nhiệt cực đại ở động cơ RCCI_1 là 60.5 J/deg, trong khi đó ở động cơ 5402 là 50 J/deg. Điều này chứng tỏ quá trình cháy ở động cơ RCCI_1 cháy mãnh liệt hơn.

Độ dốc bên phải đồ thị tốc độ toả nhiệt ở động cơ RCCI_1 dốc hơn, điều này chứng tỏ nhiên liệu tham gia cháy trong giai đoạn cháy rớt ở động cơ 5402 cao hơn và điều này cũng làm cho nhiệt độ buồng cháy chậm giảm hơn, làm cho lượng NOx ở động cơ 5402 cao hơn.



Hình 4.19: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_1 và động cơ diesel

Giai đoạn cháy chính của động cơ RCCI_1 ngắn hơn, tốc độ toả nhiệt sau ĐCT cao hơn động cơ truyền thống nhưng sau đó lại giảm thấp hơn động cơ truyền thống. Điều này xảy ra là do nhiên liệu đã cháy phần lớn ở giai đoạn cháy nhanh và cháy chính nên phần nhiên liệu còn lại chưa cháy không còn nhiều nên nhiệt độ buồng cháy giảm nhanh hơn động cơ truyền thống. Tuy nhiệt độ buồng cháy không cao bằng động cơ truyền thống nhưng áp suất cực đại lại tương đương, điều này chứng tỏ động cơ RCCI_1 có thể đạt được công suất tương đương động cơ truyền thống nhưng có khả năng làm giảm lượng NOx, soot đáng kể.

4.4.2 Mô phỏng mô hình động cơ RCCI phun xăng, phun diesel hai lần (RCCI_2)

Mô phỏng động cơ RCCI với các thông số được giữ nguyên, chỉ thay đổi cách thức phun diesel từ phun duy nhất diesel một lần thành phun diesel hai lần. Phần trăm khối lượng phun xăng, diesel được lấy ở bảng 4.1 sao cho năng lượng đưa vào buồng cháy ở các trường hợp là tương đương nhau.

Trong các trường hợp mô phỏng này ta chọn ra trường hợp tối ưu là RCCI_2 để so sánh với động cơ diesel truyền thống.

Bảng 4.5: Các thông số mô hình động cơ RCCI_2.

Kiểu động cơ	**RCCI_2**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	$2.926.10^{-6}$ (chiếm 10%)
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/cycle)	$2.695.10^{-5}$ (chiếm 90%)
Tổng lượng diesel phun lần 1 (kg/cycle)	$1.3475.10^{-5}$ (chiếm 50%)
Tổng lượng diesel phun lần 2 (kg/cycle)	$1.3475.10^{-5}$ (chiếm 50%)
Thời điểm phun diesel lần 1 (deg)	-62
Thời điểm phun diesel lần 2 (deg)	-10
Thời điểm phun xăng (deg)	Phun khi xupáp nạp mở
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/chu kỳ)	1.272
Tỷ số nén ε	17.1
Áp suất phun Diesel (Bar)	800
Áp suất đường nạp (Bar)	1
Áp suất đường thải (Bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	16.83
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	304.88
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	633.12
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

Bảng 4.6: Các thông số đầu vào cho mô hình động cơ AVL_5402 (case19)

Kiểu động cơ	**Diesel**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Thời điểm khởi phun (deg)	-18
Tổng lượng nhiên liệu sử dụng (kg/cycle)	$2.995.10^{-5}$
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272

Tỷ số nén ε	17,1
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	16.84
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	304.88
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	633.12
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

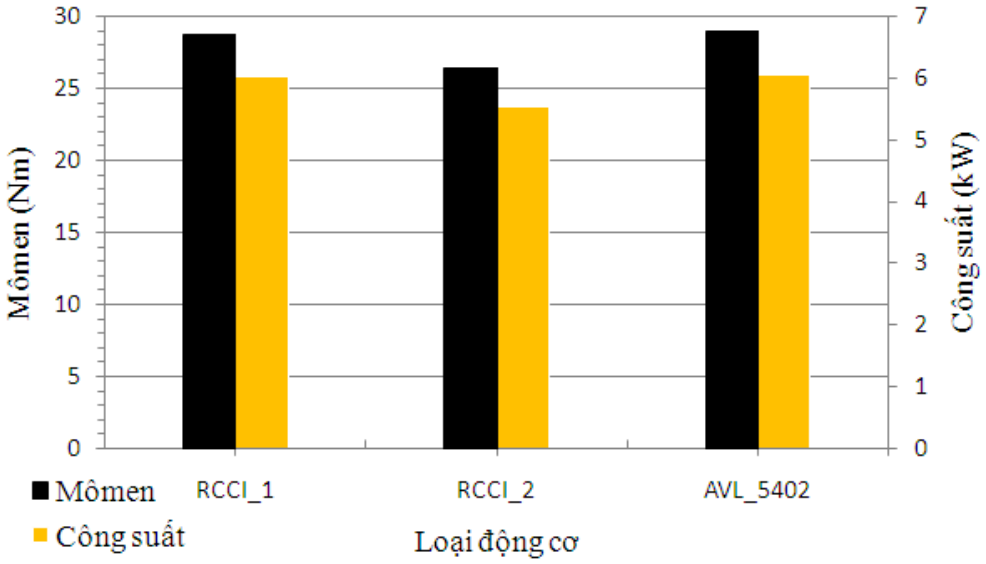
Bảng 4.7: Tổng hợp kết quả phun diesel một lần và phun diesel hai lần.

STT	1	2
Loại động cơ	RCCI_2	AVL_5402
Các thông số về hiệu suất làm việc của động cơ		
IMEP (bar)	8.338	8.961
BMEP (bar)	6.501	7.124
Suất tiêu hao nhiên liệu (g/kWh)	252.81	235.99
Hiệu suất (%)	33.27	35.64
Các thông số về khí thải		
NOx (g/kWh)	10.586	13.964
Soot (g/kWh)	2.110	3.576
Các thông số về quá trình cháy		
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-27.00	-10.67
Khoảng thời gian cháy (deg)	155.00	138.67
Áp suất cực đại (bar)	89.08	82.40
Tại GQTK (deg)	**7.00**	**7.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	6.65	4.75

Tại GQTK (deg)	1.00	-3.50
Nhiệt độ cực đại (K)	2012.25	2044.33
Tại GQTK (deg)	12.50	17.50
Nhiệt độ cháy (K)	2736.61	2725.73
Tại GQTK (deg)	-6.50	0.50
Cân bằng khối lượng nhiên liệu		
Tổng khối lượng nhiên liệu phun trực tiếp (g)	0.02695	0.029995
Lưu lượng khối lượng phun xăng (g/cycle)	0.0029	0
Cân bằng năng lượng		
Năng lượng nhiên liệu (kJ)	1.28006	1.27613
Năng lượng được giải phóng (kJ)	1.17054	1.27613
Các thông số chuẩn tại thời điểm bắt đầu đạt áp suất cao (SHP)		
Áp suất (bar)	1.2218	1.1666
Nhiệt độ (K)	372.70	373.88
Lưu lượng không khí (g/s)	8.328	8.385
Lưu lượng nhiên liệu (g/s)	0.4984	0.5000
Tỷ lệ A/F (khi cháy)	16.83	16.84
Hệ số dư lượng không khí	1.1095	1.1458
Các thông số trao đổi khí		
Tổng khối lượng tại SHP (g)	0.5206	0.5225
Tổng khối lượng không khí trong xylanh tại SHP (g)	0.5033	0.5053
Tổn thất thành nhiệt (wall heat losses)		
Tổng tổn thất thành nhiệt (kJ)	-0.40803	-0.45024
Tổng tổn thất thành nhiệt ở áp suất cao (kJ)	-0.3757	-0.40263
Tổng tổn thất thành nhiệt khác (kJ)	-0.3188	-0.3506

Các thông số tại xupáp xả		
Áp suất (bar)	3.73	4.09
Nhiệt độ (K)	1103.68	1212.11
Hệ số A/F (tại xupáp xả)	16.46	16.71
Tỷ lệ khối lượng sản phẩm cháy (--)	0.88653	0.99045
Tỷ lệ khối lượng của nhiên liệu (--)	0.005427	0.000336
Các thông số kết quả động cơ		
Mômen chỉ thị (Nm)	33.89	36.42
Công suất chỉ thị (kW)	7.10	7.63
Mômen tổn thất (Nm)	7.47	7.47
Công suất tổn thất (kW)	1.56	1.56
Mômen có ích (Nm)	26.42	28.95
Công suất có ích (kW)	5.53	6.06

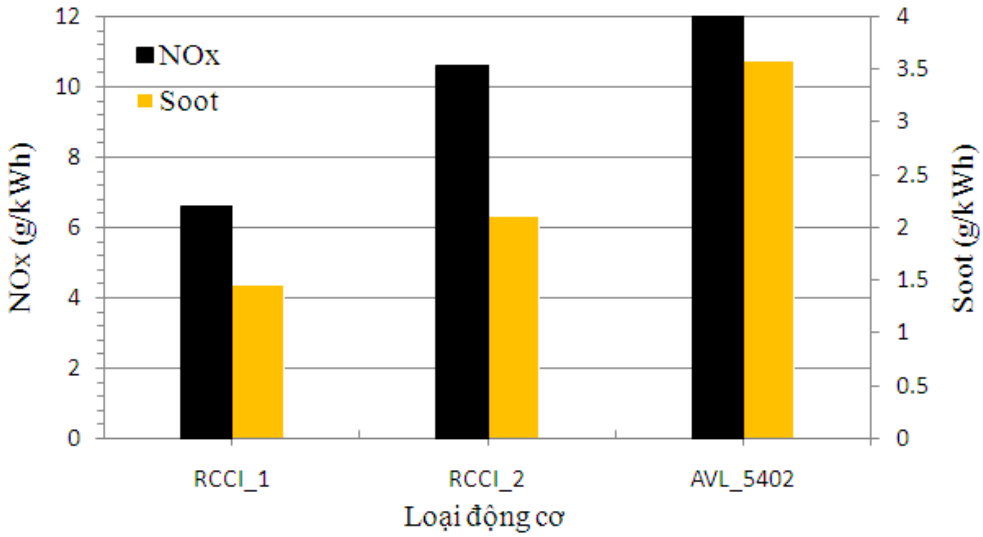
Phân tích thông số công suất, mômen



Hình 4.20: Đồ thị mômen, công suất động cơ RCCI_1, RCCI_2 và AVL_5402

Cũng giống như trường hợp động cơ RCCI_1 mặc dù quá trình cháy động cơ RCCI_2 tốt hơn (áp suất cực đại 89.08 bar, độ gia tăng áp suất 6.65 bar/deg) nhưng hiệu suất của động cơ RCCI_2 thấp nhất, do năng lượng được giải phóng thấp.

Phân tích các thông số về khí thải



Hình 4.21: Đồ thị khí thải động cơ RCCI_1, RCCI_2 và AVL_5402.

NOx của động cơ 5402 cao nhất do nhiệt độ vùng cháy cao (2725.73K), và cháy nghèo nhiên liệu hơn A/F=16.84.

Động cơ RCCI_1 và RCCI_2 cháy giàu nhiên liệu hơn động cơ 5402 nhưng quá trình cháy tốt hơn nên lượng nhiên liệu chưa cháy ít hơn.

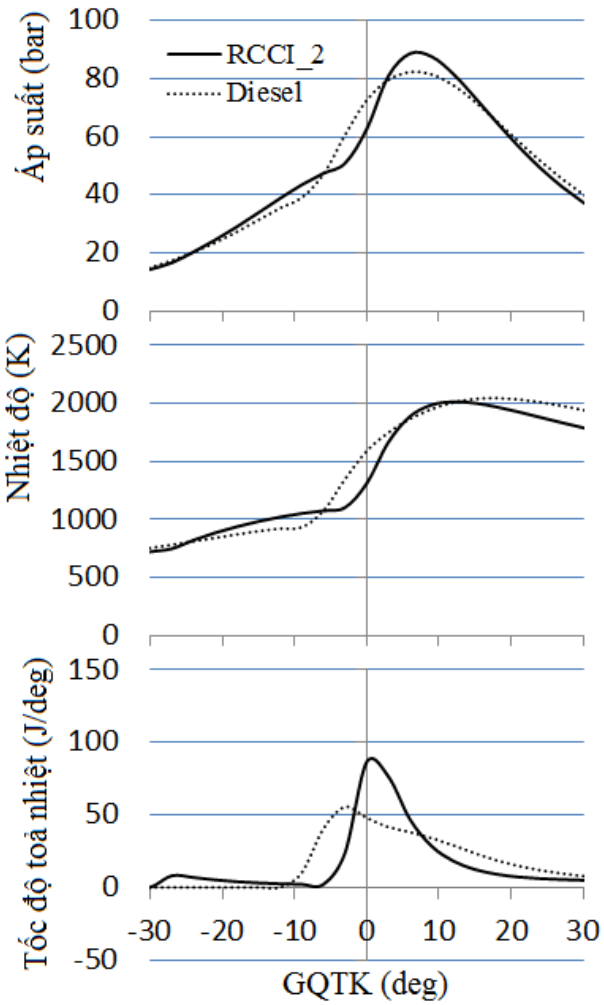
Phân tích quá trình cháy

Đồ thị tốc độ toả nhiệt của động cơ RCCI_2 xuất hiện một đỉnh, đỉnh này xuất hiện do diesel cháy ở nhiệt độ thấp. Do sự cháy ở vùng này mà nhiệt độ cũng tăng cao bất thường, làm xuất hiện một đỉnh nhiệt độ thứ hai. Đồ thị áp suất cũng thay đổi theo, cũng xuất hiện một đỉnh thứ hai, so với cùng thời điểm 10 độ trước ĐCT ở động cơ RCCI_1 và 5402 thì áp suất buồng cháy ở động cơ RCCI_2 cao hơn (do xuất hiện cháy ở nhiệt độ thấp) nên động cơ RCCI_2 dễ dàng đạt áp suất cực đại sau ĐCT hơn.

Trong ba động cơ thì thời điểm bắt đầu cháy của động cơ RCCI_2 là sớm nhất (-27.00 deg) và kéo dài nhất (155.00 deg). Độ dốc bên phải của đồ thị tốc độ toả nhiệt ở động cơ RCCI_2 là lớn nhất do lượng nhiên liệu tham gia trong giai đoạn cháy rớt ít nhất nên làm cho nhiệt độ buồng cháy nhanh giảm.

Động cơ RCCI_2 có quá trình cháy ở nhiệt độ thấp, ở thời điểm 27 độ trước ĐCT quá trình cháy bắt đầu, nhiệt độ ở thời điểm này là 747K. Sau khi phun diesel lần

hai, quá trình cháy mới diễn ra mãnh liệt, tốc độ toả nhiệt tại gần ĐCT cao hơn hẳn so với động cơ RCCI_1, và động cơ 5402 truyền thống. Bên cạnh đó nhiệt độ buồng cháy ở động cơ RCCI_2 cũng nhanh giảm hơn do nhiên liệu đã được cháy tốt ở các giai đoạn trước.



Hình 4.22: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_2 và động cơ diesel

Trong các bài báo của Giáo sư Reitz thì chủ yếu các kết quả đưa ra so sánh là đồ thị tốc độ toả nhiệt, đồ thị áp suất. Các kết quả mà Giáo sư Reitz đưa ra là động cơ RCCI có tốc độ toả nhiệt gần ĐCT cao hơn động cơ truyền thống, do cháy ở nhiệt độ thấp nên nhiệt độ buồng cháy nhanh tăng hơn so với động cơ thông thường. Kết quả là mặc dù áp suất cực đại cao hơn động cơ RCCI phun diesel một lần (như động cơ Dual fuel), động cơ diesel truyền thống mà nhiệt độ cực đại buồng cháy cũng không cao. Bên cạnh đó nhiệt độ sau 10 độ sau ĐCT cũng nhanh giảm, làm giảm đáng kể thất thoát nhiệt.

Tổng hợp các kết quả đạt được ta nhận thấy động cơ RCCI với phun xăng và phun diesel hai lần có quá trình cháy xảy ra tốt hơn động cơ diesel truyền thống và động cơ RCCI phun một lần.

Tổng hợp các kết quả đạt được ta nhận thấy động cơ RCCI với phun xăng và phun diesel hai lần có quá trình cháy xảy ra tốt hơn động cơ diesel truyền thống và động cơ sử dụng hai nhiên liệu.

Tuy nhiên, hiệu suất chưa cao do mức độ giải phóng năng lượng ở động cơ RCCI còn thấp. Mặt khác, do có sử dụng xăng nên việc sử dụng động cơ AVL_5402 có tỷ số nén cao sẽ dễ gây hiện tượng kích nổ. Nên ta tiến hành các cải tiến động cơ AVL_5402: Cải tiến thay đổi tỷ số nén, thay đổi thời điểm đóng xupáp nạp (IVC), thay đổi thời điểm mở xupáp nạp (IVO), thay đổi thời điểm mở xupáp xả (EVO).

4.5 Mô phỏng công nghệ RCCI vào động cơ AVL 5402 cải tiến (RCCI_3)

4.5.1 Cải tiến thay đổi tỷ số nén động cơ AVL 5402

Động cơ RCCI với các thông số đầu vào tương đương động cơ RCCI_2 được chạy mô phỏng các trường hợp thay đổi tỷ số nén khác nhau.

Bảng 4.8: Kết quả mô phỏng sau khi thay đổi tỷ số nén động cơ 5402.

STT	Tỷ số nén	Me (Nm)	Pe (kW)	IMEP (bar)	NOx (g/kWh)	Soot (g/kWh)	Tmax (K)	Pmax (bar)
1	17.1	26.42	5.53	8.338	10.602	2.086	2012.73	89.08
2	17.0	26.43	5.54	8.341	10.582	2.108	2012.52	88.54
3	16.9	26.44	5.54	8.343	10.561	2.132	2012.34	87.99
4	16.8	26.45	5.54	8.345	10.555	2.135	2012.57	87.44
5	16.7	26.47	5.54	8.349	10.533	2.164	2012.30	86.89
6	16.6	26.41	5.53	8.335	10.465	2.158	2008.26	86.19
7	16.5	26.45	5.54	8.345	10.455	2.143	2008.77	85.64
8	16.4	26.46	5.54	8.347	10.437	2.162	2008.52	85.09
9	16.3	26.46	5.54	8.348	10.406	2.193	2008.08	84.53
10	16.2	26.47	5.54	8.351	10.410	2.180	2008.43	83.99
11	**16.1**	**26.48**	**5.55**	**8.352**	**10.409**	**2.167**	**2008.81**	**83.45**
12	16.0	26.49	5.55	8.354	10.380	2.211	2008.36	82.90
13	15.9	26.49	5.55	8.356	10.359	2.233	2008.22	82.35
14	15.8	26.50	5.55	8.357	10.344	2.246	2008.24	81.81

Kết quả ta chọn tỷ số nén bằng 16.1

4.5.2 Cải tiến thay đổi tỷ thời điểm đóng xupáp nạp (IVC) động cơ AVL 5402

Động cơ RCCI với các thông số đầu vào tương đương động cơ RCCI_2 được chạy mô phỏng các trường hợp thay đổi IVC khác nhau.

Bảng 4.9: Kết quả mô phỏng động cơ 5402 khi thay đổi IVC.

STT	IVC (deg)	Me (Nm)	Pe (kW)	IMEP (bar)	NOx (g/kWh)	Soot (g/kWh)	Tmax (K)	Pmax (bar)
1	633.12	26.42	5.53	8.338	10.594	2.099	2012.46	89.08
2	634.12	26.41	5.53	8.335	10.559	2.138	2013.80	88.98
3	635.12	26.40	5.53	8.333	10.509	2.200	2014.58	88.88
4	636.12	26.39	5.53	8.330	10.477	2.237	2016.11	88.77
5	637.12	26.38	5.53	8.328	10.443	2.276	2017.69	88.67
6	638.12	26.35	5.52	8.319	10.361	2.269	2015.70	88.41
7	639.12	26.33	5.51	8.315	10.321	2.315	2017.36	88.29
8	640.12	26.32	5.51	8.312	10.270	2.380	2018.75	88.17
9	641.12	26.31	5.51	8.310	10.225	2.438	2020.41	88.05
10	642.12	26.30	5.51	8.307	10.177	2.500	2022.17	87.92
11	643.12	26.28	5.50	8.302	10.131	2.556	2023.99	87.78
12	632.12	26.43	5.54	8.340	10.608	2.089	2010.87	89.16
13	631.12	26.44	5.54	8.342	10.631	2.065	2009.51	89.25
14	630.12	26.45	5.54	8.344	10.662	2.028	2008.47	89.34
15	629.12	26.46	5.54	8.347	10.699	1.986	2007.66	89.42
16	628.12	26.46	5.54	8.348	10.735	1.945	2007.03	89.50
17	627.12	26.47	5.54	8.350	10.731	1.954	2005.43	89.56
18	**626.12**	**26.48**	**5.55**	**8.352**	**10.776**	**1.898**	**2005.26**	**89.63**
19	625.12	26.48	5.55	8.353	10.789	1.887	2004.30	89.68
20	624.12	26.49	5.55	8.354	10.805	1.869	2003.58	89.74
21	623.12	26.49	5.55	8.355	10.816	1.856	2002.87	89.78

Kết quả ta thay đổi IVC từ 633.12→626.12 độ

4.5.3 Cải tiến thay đổi tỷ thời điểm mở xupáp nạp (IVO) động cơ AVL 5402

Động cơ RCCI với các thông số đầu vào tương đương động cơ RCCI_2 được chạy mô phỏng các trường hợp thay đổi IVO khác nhau.

Bảng 4.10: Kết quả mô phỏng động cơ RCCI sau khi thay đổi IVO.

STT	IVO (deg)	Me (Nm)	Pe (kW)	IMEP (bar)	NOx (g/kWh)	Soot (g/kWh)	Tmax (K)	Pmax (bar)
1	304.88	26.42	5.53	8.338	10.594	2.099	2012.46	89.08
2	305.88	26.40	5.53	8.332	10.560	2.155	2012.92	89.03
3	306.88	26.38	5.52	8.327	10.556	2.176	2014.04	88.99
4	307.88	26.35	5.52	8.320	10.542	2.210	2015.15	88.93
5	308.88	26.32	5.51	8.312	10.535	2.239	2016.37	88.88
6	309.88	26.28	5.50	8.303	10.533	2.262	2017.80	88.83
7	310.88	26.24	5.50	8.293	10.531	2.282	2019.37	88.76
8	311.88	26.20	5.49	8.284	10.522	2.334	2020.64	88.71
9	312.88	26.16	5.48	8.274	10.520	2.367	2022.29	88.64
10	313.88	26.12	5.47	8.263	10.508	2.430	2023.79	88.56
11	314.88	26.09	5.46	8.256	10.572	2.516	2029.80	88.65
12	303.88	26.44	5.54	8.343	10.587	2.104	2011.07	89.11
13	302.88	26.46	5.54	8.348	10.605	2.083	2010.30	89.16
14	301.88	26.49	5.55	8.353	10.645	2.030	2010.10	89.20
15	300.88	26.50	5.55	8.357	10.647	2.025	2009.00	89.23
16	299.88	26.51	5.55	8.360	10.660	2.015	2008.17	89.26
17	**298.88**	**26.53**	**5.56**	**8.364**	**10.685**	**1.994**	**2007.73**	**89.29**
18	297.88	26.54	5.56	8.368	10.711	1.973	2007.31	89.30
19	296.88	26.56	5.56	8.371	10.724	1.962	2006.71	89.35
20	295.88	26.57	5.56	8.374	10.740	1.952	2006.11	89.38

Kết quả ta thay đổi IVO từ 304.88→298.88 độ.

4.5.4 Cải tiến thay đổi tỷ thời điểm mở xupáp xả (EVO) động cơ AVL 5402

Động cơ RCCI với các thông số đầu vào tương đương động cơ RCCI_2 được chạy mô phỏng các trường hợp thay đổi EVO khác nhau.

Bảng 4.11: Kết quả mô phỏng động cơ RCCI khi thay đổi EVO.

STT	EVO (deg)	Me (Nm)	Pe (kW)	IMEP (bar)	NOx (g/kWh)	Soot (g/kWh)	Tmax (K)	Pmax (bar)
1	**80**	**26.42**	**5.53**	**8.338**	**10.592**	**2.102**	**2012.43**	**89.08**
2	81	26.42	5.53	8.338	10.575	2.125	2011.96	89.08
3	82	26.42	5.53	8.338	10.580	2.120	2012.10	89.07
4	83	26.42	5.53	8.338	10.598	2.096	2012.54	89.08
5	84	26.42	5.53	8.338	10.575	2.129	2011.91	89.07
6	85	26.42	5.53	8.338	10.588	2.114	2012.17	89.08
7	86	26.42	5.53	8.336	10.591	2.114	2012.18	89.08
8	87	26.41	5.53	8.335	10.587	2.125	2012.00	89.08
9	88	26.40	5.53	8.334	10.588	2.126	2012.03	89.07
10	89	26.40	5.53	8.332	10.595	2.122	2012.05	89.08
11	90	26.39	5.53	8.330	10.601	2.121	2012.04	89.08
12	79	26.42	5.53	8.337	10.581	2.117	2012.18	89.07
13	78	26.42	5.53	8.336	10.584	2.114	2012.23	89.08
14	77	26.41	5.53	8.335	10.576	2.129	2011.97	89.07
15	76	26.40	5.53	8.333	10.574	2.134	2011.86	89.07
16	75	26.40	5.53	8.332	10.588	2.120	2012.08	89.08
17	74	26.39	5.53	8.330	10.594	2.114	2012.24	89.08
18	73	26.38	5.53	8.328	10.592	2.122	2012.05	89.08

Trường hợp thay đổi thời điểm mở của xupáp xả không ảnh hưởng nhiều đến các thông số của động cơ nên ta không ghi nhận.

Tiếp theo, ta sẽ tiến hành tổng hợp các kết quả vừa thay đổi động cơ, động cơ RCCI_3 là động cơ AVL_5402 sau khi thay đổi tỷ số nén từ 17.1→16.1, thay đổi

IVC từ 633.12→626.12 (đóng sớm hơn), thay đổi IVO từ 304.88 →298.88 (mở trễ hơn). Sau đó so sánh động cơ RCCI_3 với động cơ diesel truyền thống.

Bảng 4.12: Các thông số mô hình động cơ RCCI_3.

Kiểu động cơ	**RCCI_3**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	$2.926.10^{-6}$ (chiếm 10%)
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/cycle)	$2.695.10^{-5}$ (chiếm 90%)
Tổng lượng diesel phun lần 1 (kg/cycle)	$1.3475.10^{-5}$ (chiếm 50%)
Tổng lượng diesel phun lần 2 (kg/cycle)	$1.3475.10^{-5}$ (chiếm 50%)
Thời điểm phun diesel lần 1 (deg)	-62
Thời điểm phun diesel lần 2 (deg)	-10
Thời điểm phun xăng (deg)	Phun khi xupáp nạp mở
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272
Tỷ số nén ε	**16.1**
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	17.17
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	**298.88**
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	**626.12**
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

Bảng 4.13: Tổng hợp kết quả sau khi cải tiến động cơ AVL_5402.

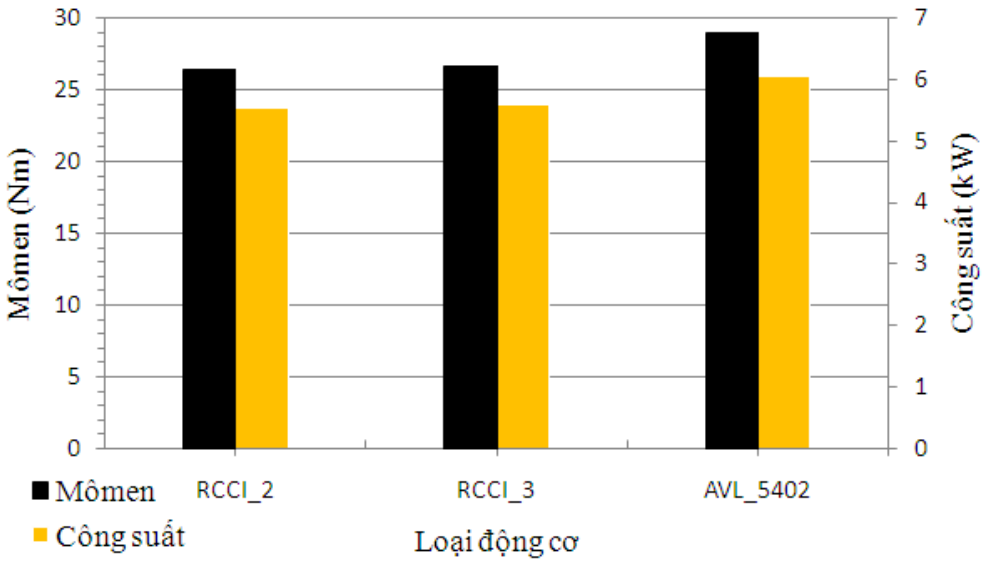
STT	1	2
Loại động cơ	RCCI_3	AVL_5402
Các thông số về hiệu suất làm việc của động cơ		

IMEP (bar)	8.392	8.961
BMEP (bar)	6.555	7.124
Suất tiêu hao nhiên liệu (g/kWh)	251.21	235.992
Hiệu suất (%)	33.48	35.64
Các thông số về khí thải		
NOx (g/kWh)	10.664	13.964
Soot (g/kWh)	1.864	3.576
Các thông số về quá trình cháy		
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-26.50	-10.67
Khoảng thời gian cháy (deg)	154.50	138.67
Áp suất cực đại (bar)	84.15	82.40
Tại GQTK (deg)	**7.00**	**7.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	6.23	4.75
Tại GQTK (deg)	1.00	-3.50
Nhiệt độ cực đại (K)	1996.94	2044.33
Tại GQTK (deg)	12.50	17.50
Nhiệt độ cháy (K)	2724.54	2725.73
Tại GQTK (deg)	-6.50	0.50
Cân bằng khối lượng nhiên liệu		
Tổng khối lượng nhiên liệu phun trực tiếp (g)	0.02695	0.029995
Lưu lượng khối lượng phun xăng (g/cycle)	0.0029	0
Cân bằng năng lượng		
Năng lượng nhiên liệu (kJ)	1.28013	1.27613
Năng lượng được giải phóng (kJ)	1.17077	1.27613
Các thông số chuẩn tại thời điểm bắt đầu đạt áp suất cao (SHP)		

Áp suất (bar)	1.1730	1.1666
Nhiệt độ (K)	366.38	373.88
Lưu lượng không khí (g/s)	8.500	8.385
Lưu lượng nhiên liệu (g/s)	0.4984	0.500
Tỷ lệ A/F (khi cháy)	17.17	16.84
Hệ số dư lượng không khí	1.1318	1.1458
Các thông số trao đổi khí		
Tổng khối lượng tại SHP (g)	0.5306	0.5225
Tổng khối lượng không khí trong xylanh tại SHP (g)	0.5135	0.5053
Tổn thất thành nhiệt (wall heat losses)		
Tổng tổn thất thành nhiệt (kJ)	-0.39265	-0.45024
Tổng tổn thất thành nhiệt ở áp suất cao (kJ)	-0.35851	-0.40263
Tổng tổn thất thành nhiệt khác (kJ)	-0.3067	-0.3506
Các thông số tại xupáp xả		
Áp suất (bar)	3.83	4.09
Nhiệt độ (K)	1118.67	1212.11
Hệ số A/F (tại xupáp xả)	16.73	16.71
Tỷ lệ khối lượng sản phẩm cháy	0.88444	0.99045
Tỷ lệ khối lượng của nhiên liệu	0.005263	0.000336
Các thông số kết quả động cơ		
Mômen chỉ thị (Nm)	34.11	36.42
Công suất chỉ thị (kW)	7.14	7.63
Mômen tổn thất (Nm)	7.47	7.47
Công suất tổn thất (kW)	1.56	1.56

Mômen có ích (Nm)	26.64	28.95
Công suất có ích (kW)	5.58	6.06

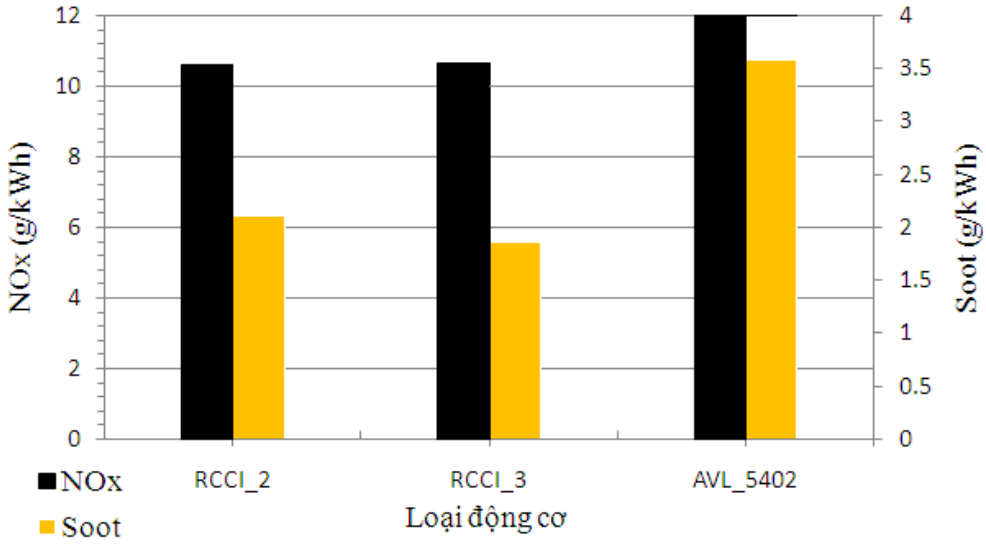
Phân tích thông số công suất, mômen:



Hình 4.23: Đồ thị công suất, mômen động cơ RCCI_2, RCCI_3 và AVL_5402.

Công suất và mômen được cải thiện nhưng chưa bằng động cơ AVL_5402.

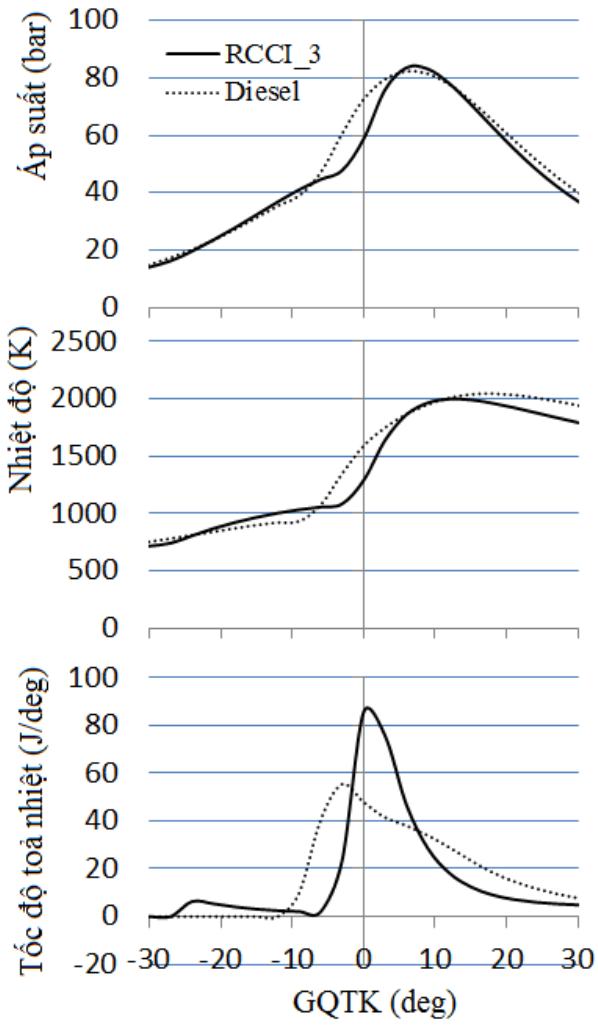
Phân tích các thông số về khí thải:



Hình 4.24: Đồ thị khí thải động cơ RCCI_2, RCCI_3 và AVL_5402.

Tuy nhiên, lượng phát thải NOx, soot lại giảm, đặc biệt là soot.

Phân tích quá trình cháy



Hình 4.25: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_3 và động cơ diesel

Động cơ RCCI_3 có thời điểm cháy trễ hơn động cơ RCCI_2 và lần cháy ở nhiệt độ thấp này có nhiệt độ cũng thấp hơn động cơ RCCI_2 (động cơ RCCI_3 bắt đầu cháy ở 741K). Nhiệt độ sau ĐCT ở động cơ RCCI_3 cũng nhanh giảm tương tự như động cơ RCCI_2.

Khác với trường hợp phun diesel một lần, đỉnh đầu tiên của đồ thị tốc độ toả nhiệt xuất hiện rõ ràng hơn. Chính điều này làm cho nhiệt độ buồng cháy gia tăng trước ĐCT, làm cho động cơ sinh ra áp suất cực đại gần 10 độ sau ĐCT hơn.

4.5.5 Động cơ RCCI sau khi cải tiến cho phun diesel với sự điều chỉnh ở hai lần phun khác nhau (RCCI_4):

Động cơ RCCI_3 sau khi cải tiến được mô phỏng với điều kiện lượng xăng phun vào buồng cháy chiếm 5% tổng lượng nhiên liệu phun vào. Thay đổi lượng phun diesel lần đầu tiên, phần trăm phun diesel lần đầu tiên chiếm trong tổng số phần trăm diesel (95%). Năng lượng đưa vào trong các trường hợp phải đảm bảo tương đương nhau. Trong các kết quả thu được ta lấy kết quả tối ưu, đặt tên là RCCI_4 để so sánh với động cơ diesel truyền thống.

Bảng 4.14: Các thông số mô hình động cơ RCCI_4.

Kiểu động cơ	**RCCI_4**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	$1.463.\ 10^{-6}$ (chiếm 5%)
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/cycle)	$2.845.\ 10^{-5}$ (chiếm 95%)
Tổng lượng diesel phun lần 1 (kg/cycle)	$8.535.10^{-6}$ (chiếm 30%)
Tổng lượng diesel phun lần 2 (kg/cycle)	$1.991.10^{-5}$ (chiếm 70%)
Thời điểm phun diesel lần 1 (deg)	-60
Thời điểm phun diesel lần 2 (deg)	-10
Thời điểm phun xăng (deg)	Phun khi xupáp nạp mở
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272
Tỷ số nén ε	**16.1**
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	17.15
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	**298.88**
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	**626.12**
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

Bảng 4.15: Các thông số đầu vào cho mô hình động cơ AVL_5402 (case16)

Kiểu động cơ	**Diesel**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Thời điểm khởi phun (deg)	-15
Tổng lượng nhiên liệu sử dụng (kg/cycle)	$2.995.10^{-5}$
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272

Tỷ số nén ε	17,1
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	16.85
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	304.88
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	633.12
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

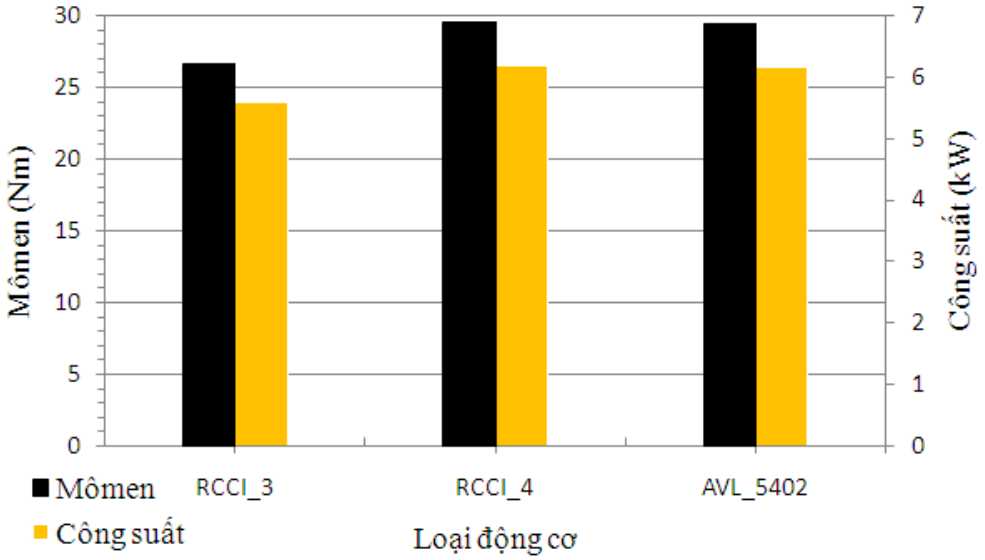
Bảng 4.16: So sánh động cơ RCCI_4 với động cơ RCCI_3 và động cơ AVL_5402.

STT	1	2
Loại động cơ	RCCI_4	AVL_5402
Các thông số về hiệu suất làm việc của động cơ		
IMEP (bar)	9.095	9.073
BMEP (bar)	7.259	7.236
Suất tiêu hao nhiên liệu (g/kWh)	231.82	233.08
Hiệu suất (%)	36.28	36.09
Các thông số về khí thải		
NOx (g/kWh)	10.992	12.031
Soot (g/kWh)	1.403	3.786
Các thông số về quá trình cháy		
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-28.00	-8.17
Khoảng thời gian cháy (deg)	156.00	136.17
Áp suất cực đại (bar)	95.13	75.64
Tại GQTK (deg)	**8.00**	**8.00**

Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	8.07	4.09
Tại GQTK (deg)	2.00	-1.50
Nhiệt độ cực đại (K)	2268.07	2008.98
Tại GQTK (deg)	12.50	21.50
Nhiệt độ cháy (K)	2724.39	2707.72
Tại GQTK (deg)	4.50	2.00
Cân bằng khối lượng nhiên liệu		
Tổng khối lượng nhiên liệu phun trực tiếp (g)	0.028450	0.029995
Lưu lượng khối lượng phun xăng (g/cycle)	0.0015	0
Cân bằng năng lượng		
Năng lượng nhiên liệu (kJ)	1.28042	1.27467
Năng lượng được giải phóng (kJ)	1.23416	1.27467
Các thông số chuẩn tại thời điểm bắt đầu đạt áp suất cao (SHP)		
Áp suất (bar)	1.1733	1.1665
Nhiệt độ (K)	366.56	374.00
Lưu lượng không khí (g/s)	8.504	8.387
Lưu lượng nhiên liệu (g/s)	0.4985	0.500
Tỷ lệ A/F (khi cháy)	17.15	16.85
Hệ số dư lượng không khí	1.1308	1.1460
Các thông số trao đổi khí		
Tổng khối lượng tại SHP (g)	0.5298	0.5223
Tổng khối lượng không khí trong xylanh tại SHP (g)	0.5131	0.5054
Tổn thất thành nhiệt (wall heat losses)		
Tổng tổn thất thành nhiệt (kJ)	-0.44181	-0.42179
Tổng tổn thất thành nhiệt ở áp	-0.41222	-0.36955

suất cao (kJ)		
Tổng tổn thất thành nhiệt khác (kJ)	-0.3451	-0.3285
Các thông số tại xupáp xả		
Áp suất (bar)	3.67	4.25
Nhiệt độ (K)	1069.19	1260.22
Hệ số A/F (tại xupáp xả)	16.83	16.70
Tỷ lệ khối lượng sản phẩm cháy	0.93834	0.98875
Tỷ lệ khối lượng của nhiên liệu	0.002586	0.0004
Các thông số kết quả động cơ		
Mômen chỉ thị (Nm)	36.97	36.88
Công suất chỉ thị (kW)	7.74	7.72
Mômen tổn thất (Nm)	7.47	7.74
Công suất tổn thất (kW)	1.56	1.56
Mômen có ích (Nm)	29.50	29.41
Công suất có ích (kW)	6.18	6.16

Phân tích thông số công suất, mômen

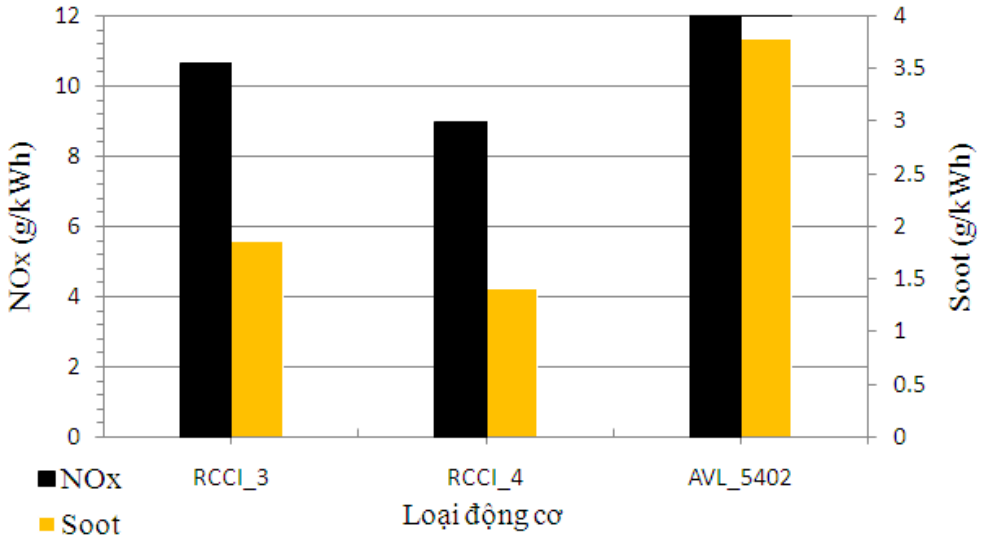


Hình 4.26: Đồ thị công suất, mômen động cơ RCCI_3, RCCI_4, AVL_5402.

Ngoài công suất và mômen cao, hiệu suất đạt được của động cơ RCCI_4 là cao nhất 36.28%, cao hơn cả trường hợp động cơ AVL_5402 đạt được áp suất 70.96 bar ở 9 độ trước ĐCT là 36.18%. Đó là kết quả của quá trình cháy tốt, thời gian bắt đầu cháy sớm, khoảng thời gian cháy dài, áp suất buồng cháy đạt cực đại 95.13 bar, so với RCCI_3 là 84.15 bar, AVL_5402 là 75.64 bar. Cần phải lưu ý rằng việc có được công suất cao hơn động cơ AVL_5402 với lượng nhiên liệu được giải phóng ít hơn 1.23416 kJ so với 1.27467 càng chứng tỏ quá trình cháy ở động cơ RCCI_4 rất tốt.

Phân tích các thông số về khí thải

Về khí thải, ưu điểm nổi bật có thể thấy ở động cơ RCCI_4 là khả năng phát thải soot rất ít do phần nhiên liệu cháy tốt. Tuy nhiên lượng NOx phát thải có giảm nhưng không giảm nhiều do nhiệt độ cháy còn cao.



Hình 4.27: Đồ thị khí thải động cơ RCCI_3, RCCI_4, AVL_5402.

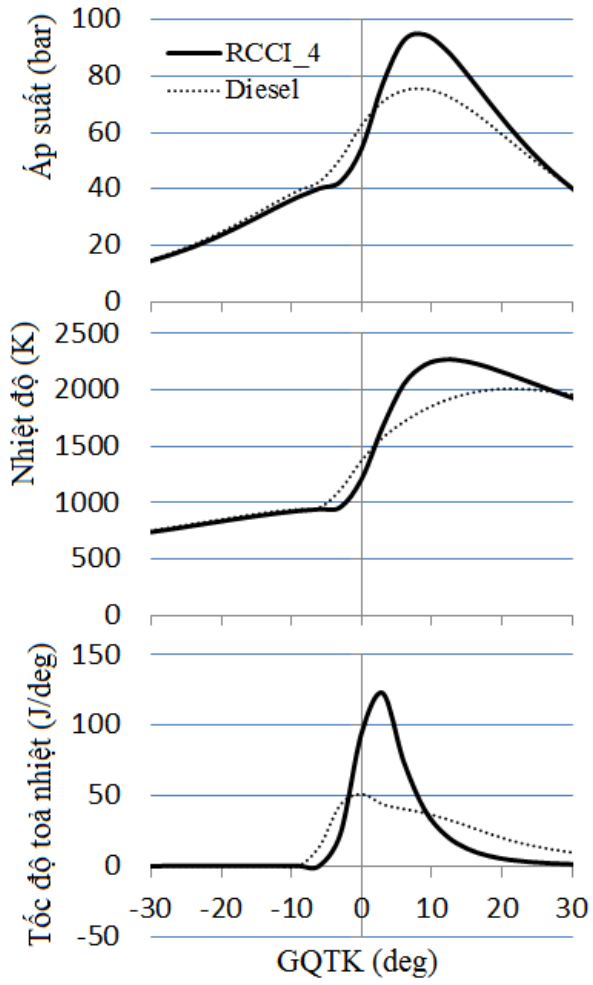
Phân tích quá trình cháy

Đối với động cơ diesel truyền thống, do không có quá trình cháy ở nhiệt độ thấp nên nhiệt độ của buồng cháy trước ĐCT không cao so với động cơ RCCI_4, chính điều này làm cho độ gia tăng áp suất của động cơ AVL_5402 thấp hơn (4.09 bar/deg so với 8.07 bar/deg), nên động cơ RCCI_4 dễ dàng đạt áp suất cực đại gần 10 độ sau ĐCT hơn.

Độ dốc phần đồ thị ở phía bên phải đường tốc độ toả nhiệt của động cơ RCCI_4 cao hơn, đều hơn do phần nhiên liệu chưa tham gia quá trình cháy nhỏ, điều này cũng

làm cho quá trình cháy nhanh kết thúc (kết thúc gần 30 độ sau ĐCT, trong khi đó ở động cơ truyền thống là gần 90 độ sau ĐCT). Hệ quả của việc quá trình cháy kéo dài này là nhiệt độ ở động cơ 5402 vẫn còn giữ ở mức cao. Tuy nhiên, giữ nhiệt độ ở mức cao ở giai đoạn này không có lợi vì thể tích buồng cháy đã giảm, và thực tế ta cũng dễ dàng quan sát được là đường cong áp suất cả hai trường hợp mặc dù nhiệt độ khác nhau nhưng cũng giảm đều giống nhau.

Giảm thất thoát ở giai đoạn cháy trễ, và giai đoạn cháy rớt, hiển nhiên phần nhiên liệu sẽ được tập trung vào giai đoạn cháy của hỗn hợp hoà trộn trước. Cháy ở giai đoạn này là mong muốn của các nhà thiết kế, vì có như vậy áp suất mới đạt cực đại tại gần 10 độ sau ĐCT.



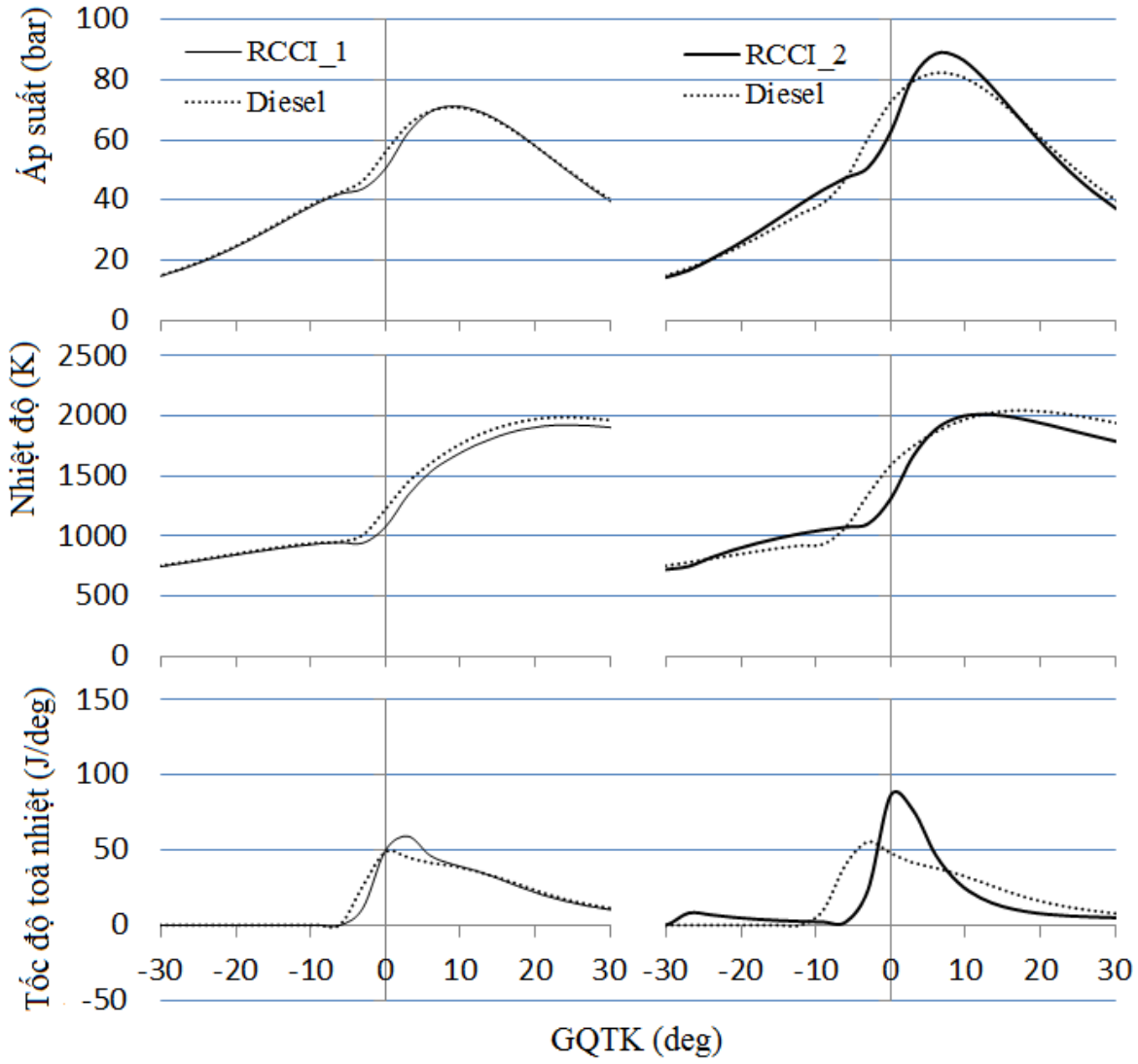
Hình 4.28: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_4 và động cơ diesel

Tốc độ toả nhiệt của động cơ RCCI_4 rất lớn so với động cơ 5402 truyền thống. Điều này có được là do quá trình cháy ở động cơ RCCI_4 tốt hơn. Nhiệt độ cháy ở nhiệt độ thấp là 765K, giai đoạn cháy rớt ở động cơ truyền thống kéo dài hơn. Nhiệt độ buồng cháy của động cơ RCCI_4 tại thời điểm xupáp xả mở thấp hơn động cơ truyền thống do giai đoạn cháy rớt ngắn. Tuy nhiên, thời gian cháy khi nhiệt độ cao (trên 2000K) ở động cơ RCCI lại cao hơn, làm tăng lượng phát thải NOx.

Với những phân tích trên, ta thấy động cơ RCCI nổi trội hơn so với động cơ AVL_5402 ở quá trình cháy. Chính quá trình cháy tốt đã tạo ra các kết quả tốt về công suất, mômen, khí thải ….

4.6 Tổng hợp các kết quả mô phỏng động cơ RCCI_1, RCCI_2, RCCI_3, RCCI_4 và động cơ diesel truyền thống

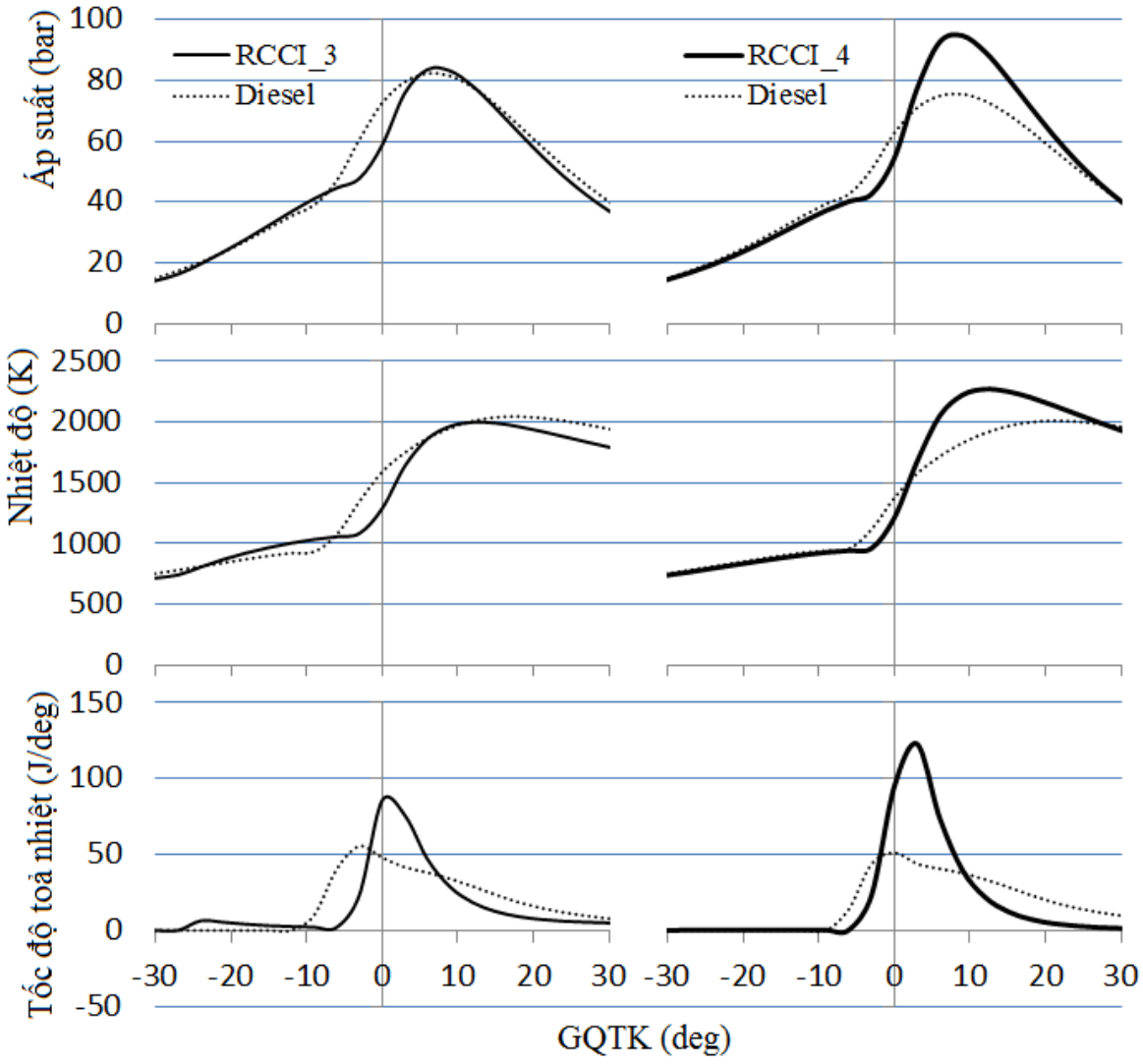
Các kết quả quan trọng về động cơ RCCI_1, RCCI_2, RCCI_3, RCCI_4 và động cơ diesel sẽ được tổng hợp ở các đồ thị sau.



Hình 4.29: Tổng hợp áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_1, RCCI_2

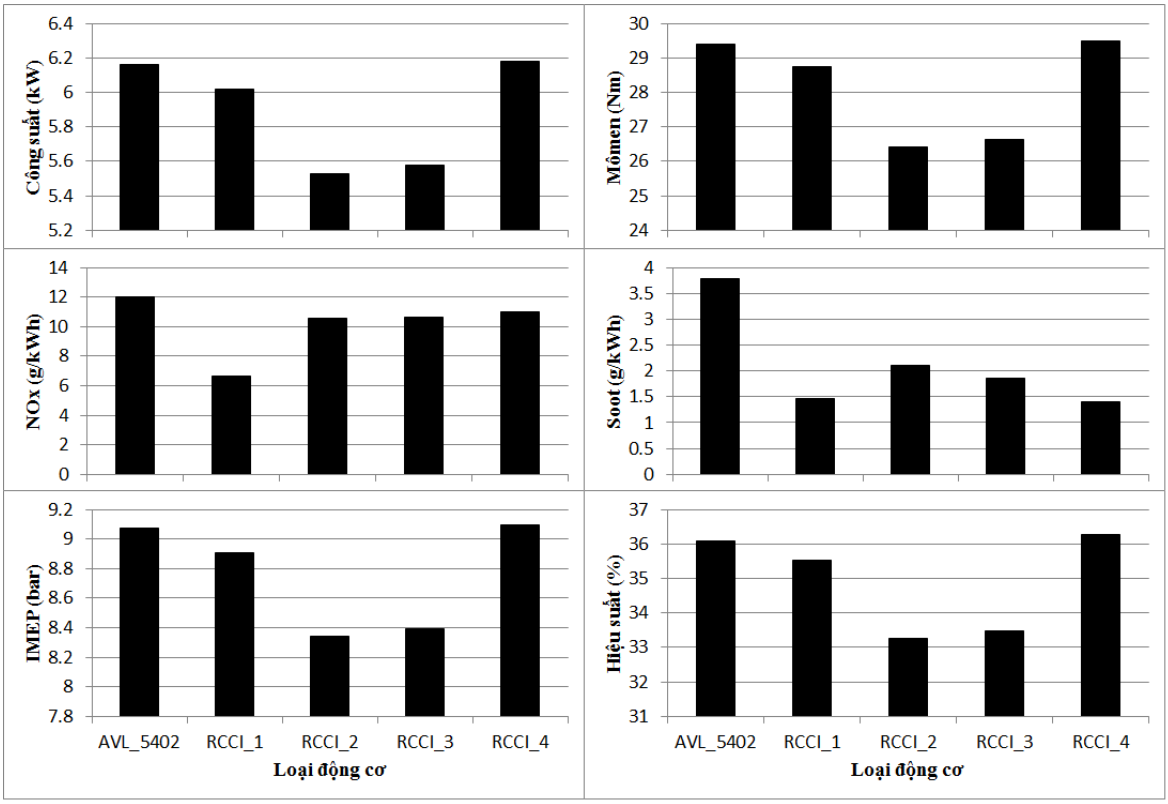
Theo hình 4.29 thì động cơ RCCI_2 có quá trình cháy hoàn toàn tốt hơn động cơ RCCI_1, là động cơ RCCI chỉ phun diesel một lần, và tốt hơn động cơ diesel truyền thống. Áp suất cực đại cao hơn động cơ RCCI_1, động cơ diesel, và thời điểm đạt áp suất cực đại là gần 10 độ sau ĐCT, thời điểm mà động cơ đạt công suất tối đa. Nhiệt độ buồng cháy chỉ tương đương với động cơ RCCI_1, và động cơ diesel, điều này giúp giảm phát thải NOx do sinh ra ở nhiệt độ cao.

Bên cạnh đó nhiệt độ của buồng cháy giảm nhanh so với động cơ RCCI_1, động cơ diesel, điều này làm giảm thất thoát công suất do trong giai đoạn này thể tích buồng cháy tăng.



Hình 4.30: Tổng hợp áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_3, RCCI_4

Theo hình 4.30 động cơ RCCI_4 có quá trình cháy tốt hơn động cơ RCCI_3 (và cả động cơ RCCI_1, RCCI_2, động cơ diesel). Áp suất cực đại đạt giá trị lớn nhất, gần 10 độ sau ĐCT. Tuy nhiên, nhiệt độ buồng cháy lại đạt giá trị cao nhất, điều này làm cho lượng phát thải NOx không giảm nhiều. Tuy nhiên do nhiên liệu tập chung cháy ở giai đoạn cháy nhanh và cháy chính nên giai đoạn cháy rớt tốc độ toả nhiệt không cao, làm cho nhiệt độ ở giai đoạn cháy rớt giảm nhanh, khi mà thể tích buồng cháy cũng tăng, điều này làm giảm tổn thất công suất động cơ.



Hình 4.31: Tổng hợp các kết quả về công suất, khí thải, hiệu suất của các động cơ RCCI_1, RCCI_2, RCCI_3, RCCI_4 và động cơ diesel.

Dựa vào kết quả trên hình 4.31 động cơ RCCI_4 có các chỉ số tốt hơn động cơ truyền thống. Quá trình cháy tốt do có áp suất cực đại lớn, điểm đạt áp suất cực đại lại gần 10 độ sau ĐCT nên công suất, mômen lớn. Công suất ở trường hợp động cơ RCCI_4 lớn hơn tất cả các trường hợp tối ưu của động cơ diesel truyền thống.

Tuy nhiên nếu chỉ chạy RCCI như động cơ RCCI_2 thì các ưu điểm của công nghệ RCCI mới được thấy rõ. Đó là quá trình cháy tốt, lượng phát thải NOx, soot đều thấp do ứng dụng công nghệ cháy ở nhiệt độ thấp. Điểm chưa được của động cơ RCCI_2 là có công suất chưa cao.

Ngược lại, động cơ RCCI_4 có các chỉ số về công suất, mômen, khí thải, hiệu suất, quá trình cháy hoàn toàn tốt hơn so với động cơ diesel. Tuy nhiên, động cơ RCCI_4 lại có nhiệt độ buồng cháy cao, điều này làm cho lượng phát thải NOx có giảm nhưng giảm không đáng kể. Chỉ có lượng soot là giảm nhiều nhất do quá trình cháy rớt có nhiệt độ không cao.

4.7 Các kết quả khác

4.7.1 Động cơ RCCI_1 phun xăng, phun diesel một lần với điều chỉnh lượng phun xăng khác nhau

Động cơ RCCI_1 với phun xăng, phun diesel một lần được mô phỏng với điều kiện thay đổi lượng xăng phun vào. Phần trăm khối lượng xăng được cho bởi bảng 4.1, sao cho năng lượng đưa vào buồng cháy trong các trường hợp là tương đương nhau.

Bảng 4.17: Các thông số đầu vào cho mô hình động cơ RCCI phun xăng và phun diesel một lần.

Kiểu động cơ	**RCCI_1**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	Thay đổi theo bảng 4.1
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/ cycle)	Thay đổi theo bảng 4.1
Thời điểm phun diesel (deg)	Theo kết quả của từng trường hợp
Thời điểm phun xăng (deg)	Phun khi xupáp nạp mở
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/ cycle)	1.272
Tỷ số nén ε	17,1
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	304.88
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	633.12
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

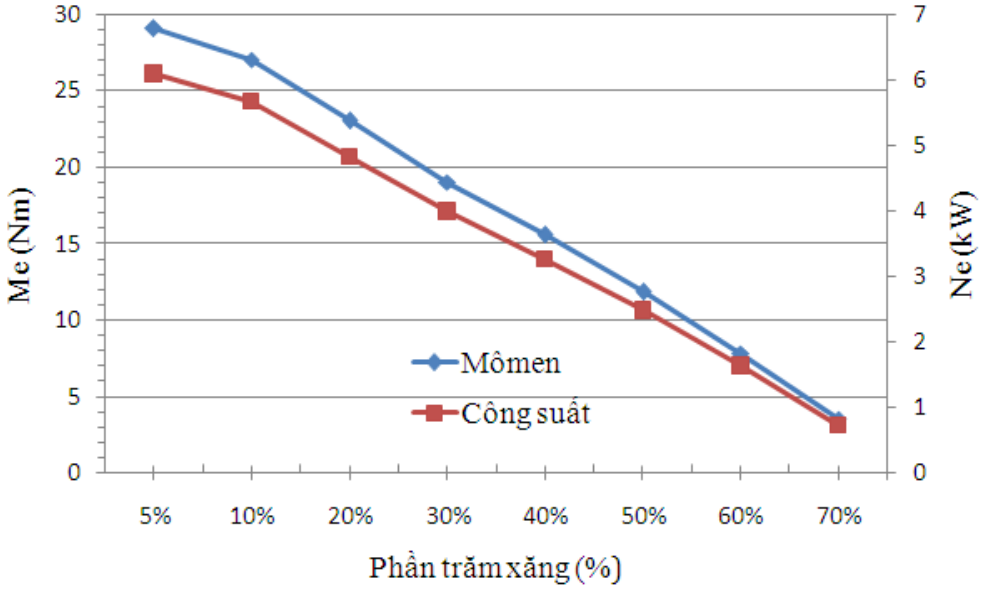
Bảng 4.18: Bảng kết quả mô phỏng mô hình động cơ RCCI phun xăng, phun diesel một lần.

STT	**1**	**2**	**3**	**4**
Phần trăm xăng (%)	5%	10%	20%	30%
Thời điểm phun diesel (deg)	-11	-10	-15	-15
IMEP (bar)	8.990	8.496	7.507	6.528
Mômen có ích (Nm)	29.07	27.07	23.05	19.07
Công suất có ích (kW)	6.09	5.67	4.83	3.99
NOx (g/kWh)	5.117	4.540	5.725	5.243
Soot (g/kWh)	1.601	2.244	2.380	2.450
BMEP (bar)	7.153	6.660	5.670	4.691
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-4.5	-3.5	-8	-7.50
Khoảng thời gian cháy (deg)	132.50	131.50	136.00	135.50
Áp suất cực đại (bar)	71.22	66.33	70.84	65.23
Tại GQTK (deg)	**9.00**	**9.50**	**6.50**	**6.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	4.13	3.58	4.05	3.40
Tại GQTK (deg)	1.50	2.50	-1.50	-1.00
Nhiệt độ cực đại (K)	1923.36	1837.74	1734.73	1585.52
Tại GQTK (deg)	24.50	26.00	20.00	20.50
Nhiệt độ cháy (K)	2656.16	2644.45	2662.64	2650.70
Tại GQTK (deg)	4.50	5.50	2.00	2.50
Hệ số dư lượng không khí	1.1087	1.1088	1.1083	1.1055
Hiệu suất (%)	35.88	33.87	29.90	25.97
STT	**5**	**6**	**7**	**8**
Phần trăm xăng (%)	40%	50%	60%	70%
Thời điểm phun diesel (deg)	-60	-60	-60	-60
IMEP (bar)	5.672	4.753	3.764	2.711
Mômen có ích (Nm)	15.59	11.85	7.83	3.55
Công suất có ích (kW)	3.26	2.48	1.64	0.74
NOx (g/kWh)	7.736	6.986	6.285	13.803
Soot (g/kWh)	3.223	3.217	3.309	5.227
BMEP (bar)	3.835	2.916	1.927	0.874
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-24.00	-23.50	-22.50	-22.50
Khoảng thời gian cháy (deg)	152.00	151.50	150.50	150.50
Áp suất cực đại (bar)	63.65	57.52	51.31	52.50
Tại GQTK (deg)	**5.00**	**4.50**	**3.50**	**4.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	2.16	1.90	1.64	1.70

Tại GQTK (deg)	-9.00	-9.50	-10.50	-8.50
Nhiệt độ cực đại (K)	1548.11	1400.21	1239.02	1194.80
Tại GQTK (deg)	22.0	22.50	24.00	13.50
Nhiệt độ cháy (K)	2657.27	2644.27	2628.41	2625.71
Tại GQTK (deg)	-4.50	-4.50	-4.50	-3.00
Hệ số dư lượng không khí	1.1019	1.1003	1.100	1.099
Hiệu suất (%)	22.51	18.83	14.88	10.68

Phân tích thông số công suất, mômen

Qua bảng 4.18 và hình 4.32 ta thấy mômen có ích và công suất có ích giảm khi ta tăng lượng xăng lên. Để đạt công suất và mômen cao nhất thì động cơ phải có điểm bắt đầu phun sớm hơn.



Hình 4.32: Đồ thị mômen, công suất động cơ RCCI_1
với lượng phun xăng khác nhau.

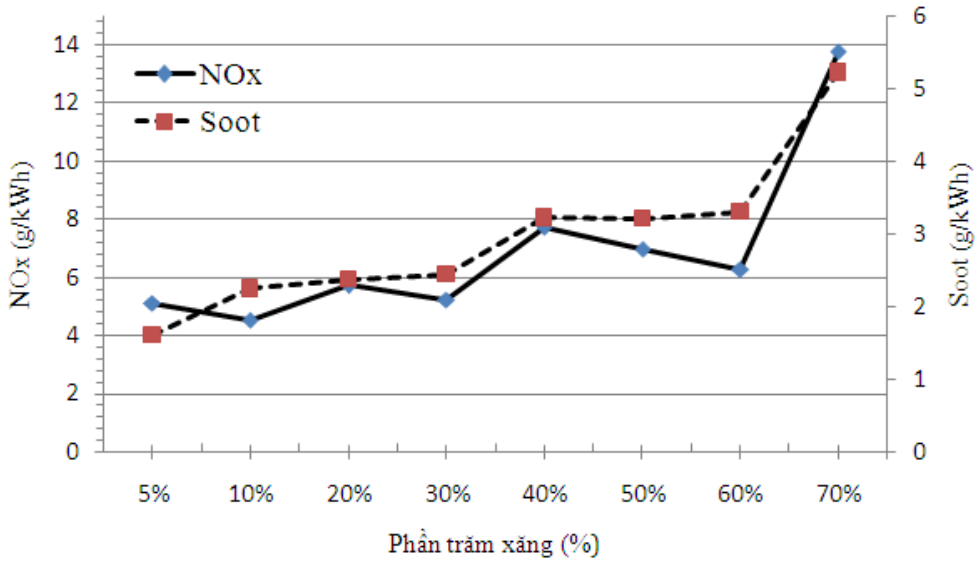
Với các phần trăm xăng 5%, 10%, 20%, 30% thì điểm bắt đầu phun tối ưu là 11 độ trước ĐCT, 10 độ trước ĐCT , 15 độ trước ĐCT, 15 độ trước ĐCT. Thời điểm bắt đầu cháy gần ĐCT nên áp suất cháy cực đại đạt được gần với 10 độ sau ĐCT nên công suất cao hơn các trường hợp phần trăm xăng cao hơn.

Ngược lại, với các phần trăm xăng 4%, 50%, 60%, 70% thì điểm bắt đầu phun tối ưu có chung là 60 độ trước ĐCT. Thời điểm bắt đầu cháy xa ĐCT nên áp suất cháy cực đại đạt được gần với ĐCT hơn là gần 10 độ sau ĐCT nên công suất thấp hơn.

Phân tích các thông số về khí thải

Lượng NOx phát thải trong trường hợp phun với lượng xăng 10% là nhỏ nhất (4.540 g/kWh) vì có nhiệt độ tại vùng cháy nhỏ nhất (2644.45K) đồng thời có khoảng thời gian cháy nhỏ nhất (131.50 deg).

Các trường hợp có lượng phun xăng là 60%, 70% cũng có nhiệt độ tại vùng cháy nhỏ (2628.41K, và 2615.36K) nhưng lại có thời gian cháy dài hơn (150.50 deg, và 150.00 deg). Lượng phát thải soot trong trường hợp xăng chiếm 5% nhỏ nhất vì trường hợp này lượng nhiên liệu cháy tốt nhất trong các trường hợp còn lại (do có hệ số dư lượng lớn nhất 1.1087) trong khi đó trường hợp phun 70% xăng có hệ số dư lượng không khí nhỏ nhất 1.099.



Hình 4.33: Đồ thị khí thải động cơ RCCI_1
với lượng phun xăng khác nhau.

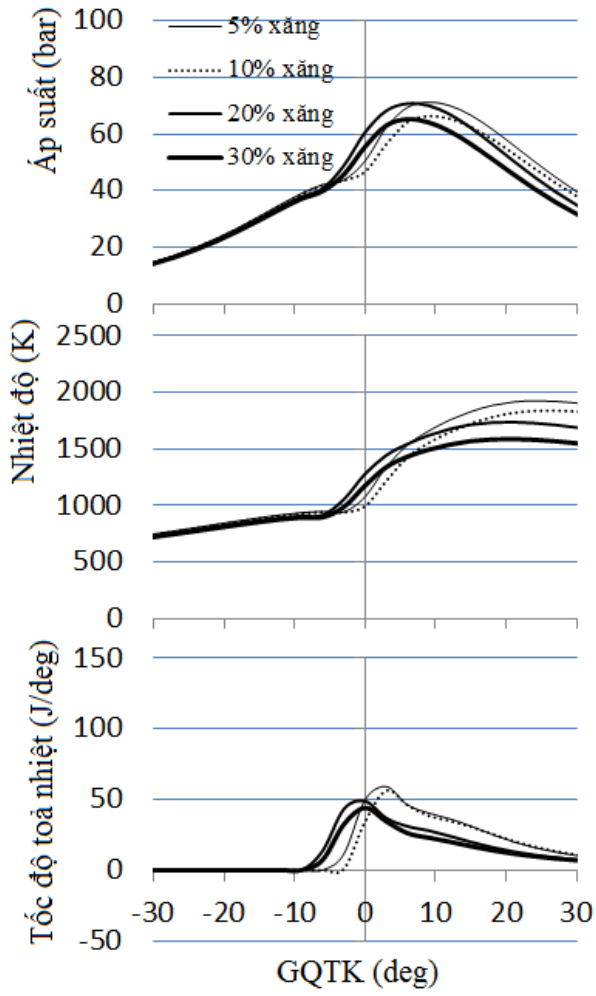
Trường hợp phun xăng 10%, 20% cũng có hệ số dư lượng không khí lớn nhưng do có nhiệt độ cháy tại vùng cháy nhỏ nên lượng soot phát thải vẫn cao hơn so với trường hợp phun 5% xăng.

Khi phun nhiều xăng thì nhiệt độ cực đại cũng giảm, tuy vậy NOx cũng không giảm nhiều do quá trình cháy không tốt.

Phân tích quá trình cháy

Như đã trình bày khi tăng lượng xăng phun vào động cơ thì quá trình cháy sẽ diễn ra lâu hơn (trường hợp phun 5% xăng là 132.50 deg, còn phun 70% xăng là 150

deg). Thời điểm bắt đầu cháy cũng trễ hơn 4.5 độ trước ĐCT ở trường hợp 5% xăng, và 22 độ trước ĐCT so với trường hợp 70% xăng). Chính điều này làm cho áp suất cực đại ở trường hợp 5% gần 10 độ sau ĐCT hơn.



Hình 4.34: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_1 điều chỉnh lượng phun xăng

Kết quả mô phỏng trường hợp 5% xăng đạt áp suất cực đại (71.22 bar) tại 9 độ sau ĐCT, trong khi đó trường hợp 70% xăng lại đạt áp suất cực đại (46.68 bar) tại 3 độ sau ĐCT.

Tốc độ toả nhiệt tại thời điểm khi bắt đầu cháy (thời điểm 4.5 độ trước ĐCT) ở trường hợp 5% xăng là 945.726 J/deg. Trong khi đó tốc độ toả nhiệt tại thời điểm khi bắt đầu cháy (thời điểm 22 độ trước ĐCT) ở trường hợp 70% xăng là 2.002 J/deg. Điều này chứng tỏ với lượng xăng phun vào ban đầu lớn thì quá trình cháy ban đầu không diễn ra mãnh liệt. Đồ thị khi cho phun xăng 10%, phun diesel một lần (thời điểm phun diesel là 10 độ trước ĐCT). Quan sát đồ thị ta thấy lượng xăng phun vào càng lớn thì tốc độ toả nhiệt càng thấp.

Các trường hợp phun với lượng xăng là 5%, 10%, 20%, 30% thì thời điểm phun diesel tối ưu là 11 độ trước ĐCT, 10 độ độ trước ĐCT, 15 độ trước ĐCT, và 15 độ trước ĐCT. Trong khi đó đối với các trường hợp phun 40%, 50%, 60%, 70% xăng thì thời điểm phun diesel tối ưu đều là 60 độ trước ĐCT.

Do phun diesel sớm nên các trường hợp phun xăng 40%, 50%, 60%, 70% đều có thời điểm bắt đầu cháy sớm (khoảng xung quanh vị trí 20 độ trước ĐCT). Giai đoạn

cháy trễ, cháy nhanh kéo dài hơn so với các trường hợp phun xăng 5%, 10%, 20%, 30%. Tuy nhiên giai đoạn cháy chính lại ngắn hơn, chính điều này làm cho áp suất cực đại khi phun nhiều xăng không cao.

4.7.2 Động cơ RCCI_3 phun xăng, phun diesel hai lần với điều chỉnh lượng phun xăng khác nhau

Động cơ RCCI_3 với phun xăng, phun diesel hai lần được mô phỏng với điều kiện thay đổi lượng xăng phun vào. Phần trăm khối lượng xăng được cho bởi bảng 4.1, sao cho năng lượng đưa vào buồng cháy trong các trường hợp là tương đương nhau.

Bảng 4.19: Các thông số mô hình động cơ RCCI_3.

Kiểu động cơ	**RCCI_3**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	Thay đổi theo bảng 4.1
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/cycle)	Thay đổi theo bảng 4.1
Tổng lượng diesel phun lần 1 (kg/cycle)	50% tổng lượng diesel phun vào
Tổng lượng diesel phun lần 2 (kg/cycle)	50% tổng lượng diesel phun vào
Thời điểm phun diesel lần 1 (deg)	-62
Thời điểm phun diesel lần 2 (deg)	-10
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272
Tỷ số nén ε	**16.1**
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	17.17
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	**298.88**
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	**626.12**
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

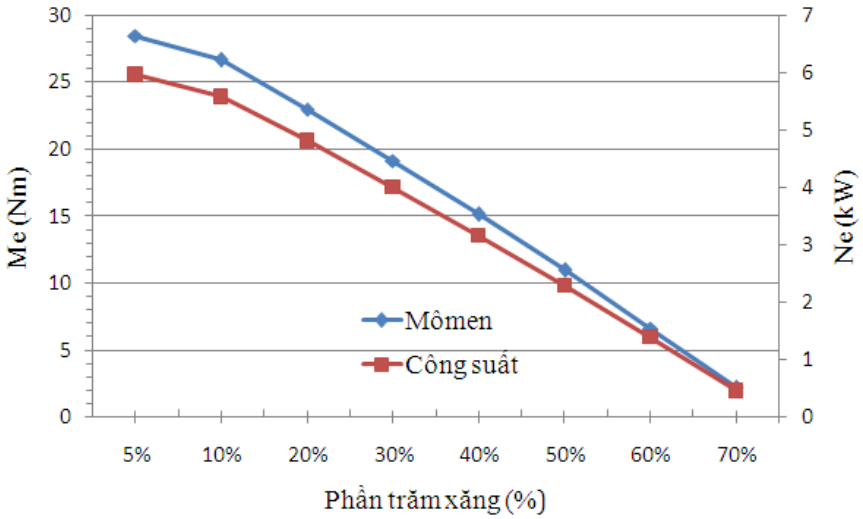
Bảng 4.20: Kết quả mô phỏng động cơ RCCI_3 phun xăng với các tỷ lệ khác nhau.

STT	**1**	**2**	**3**	**4**
Phần trăm xăng (%)	5%	10%	20%	30%
IMEP (bar)	8.841	8.392	7.487	6.539
Mômen có ích (Nm)	28.47	26.64	22.96	19.11
Công suất có ích (kW)	5.96	5.58	4.81	4.00
NOx (g/kWh)	11.130	10.664	10.011	9.200
Soot (g/kWh)	1.278	1.864	2.319	2.374
BMEP (bar)	7.004	6.555	5.650	4.702
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-27.00	-26.50	-26.00	-25.00
Khoảng thời gian cháy (deg)	155.00	154.50	154.00	153.00
Áp suất cực đại (bar)	84.41	84.15	77.82	71.13
Tại GQTK (deg)	**7.50**	**7.00**	**7.00**	**6.50**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	6.59	6.23	5.53	4.71
Tại GQTK (deg)	1.50	1.00	0.50	0.00
Nhiệt độ cực đại (K)	2075.81	1996.94	1843.56	1684.32
Tại GQTK (deg)	13.00	12.50	12.50	12.50
Nhiệt độ cháy (K)	2731.39	2724.54	2712.13	2696.92
Tại GQTK (deg)	-6.50	-6.50	-6.00	-6.00
Hiệu suất (%)	35.27	33.48	29.81	25.98
STT	**5**	**6**	**7**	**8**
Phần trăm xăng (%)	40%	50%	60%	70%
IMEP (bar)	5.558	4.534	3.467	2.377
Mômen có ích (Nm)	15.13	10.96	6.63	2.20
Công suất có ích (kW)	3.17	2.30	1.39	0.46
NOx (g/kWh)	8.597	8.202	8.598	15.495
Soot (g/kWh)	2.301	2.194	2.256	4.086
BMEP (bar)	3.721	2.697	1.630	0.540
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-24.00	-23.00	-22.00	-21.50

Khoảng thời gian cháy (deg)	152.00	151.00	150.00	149.50
Áp suất cực đại (bar)	64.47	57.82	51.50	46.28
Tại GQTK (deg)	**6.00**	**5.00**	**4.00**	**2.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	3.82	2.84	1.86	1.46
Tại GQTK (deg)	-0.50	-1.00	-1.50	-15.00
Nhiệt độ cực đại (K)	1523.78	1359.41	1194.64	1045.67
Tại GQTK (deg)	12.00	11.50	10.00	7.00
Nhiệt độ cháy (K)	2682.49	2668.35	2653.78	2642.14
Tại GQTK (deg)	-6.00	-6.00	-6.00	-6.00
Hiệu suất (%)	22.05	17.96	13.71	9.37

Phân tích thông số công suất, mômen

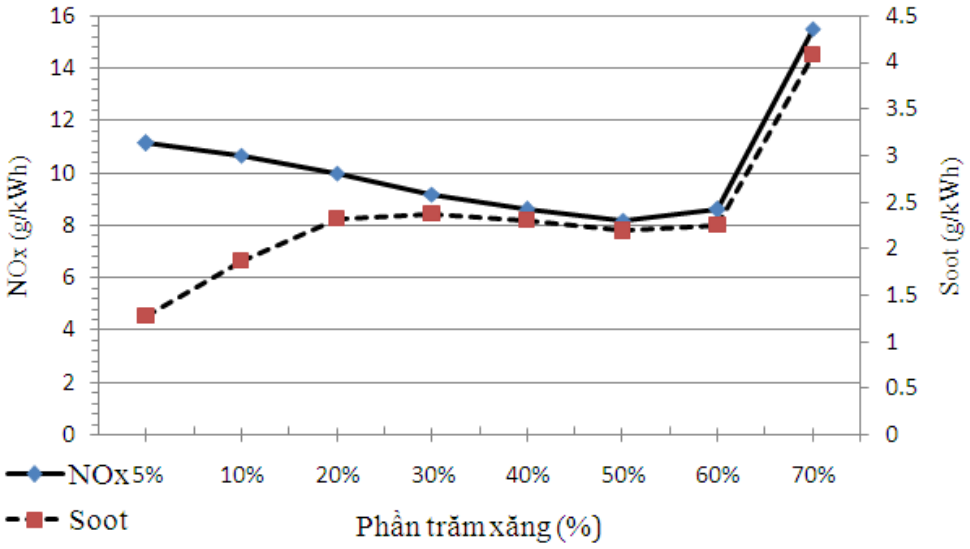
Cũng giống như trường hợp động cơ phun xăng và phun diesel một lần, ở động cơ RCCI phun diesel hai lần công suất, mômen càng giảm khi tăng lượng xăng phun vào.



Hình 4.35: Đồ thị công suất, mômen động cơ RCCI_3 phun xăng với các lượng khác nhau.

Thời điểm bắt đầu cháy khi tăng lượng phun xăng cũng trễ hơn, khoảng thời gian cháy cũng ngắn hơn, làm cho thời điểm đạt áp suất cực đại gần ĐCT hơn thay vì gần 10 độ trước ĐCT. Điều này làm cho động cơ khi phun nhiều xăng sẽ có công suất thấp hơn động cơ phun ít xăng.

Phân tích các thông số về khí thải



Hình 4.36: Đồ thị khí thải động cơ RCCI_3 khi phun lượng xăng khác nhau.

Phát thải soot trong trường hợp phun 5% xăng nhỏ nhất, trong khi đó lượng phát thải soot cao nhất trong trường hợp phun 70% xăng. Trường hợp phun 50% xăng lại có thành phần NOx, soot ở mức trung bình.

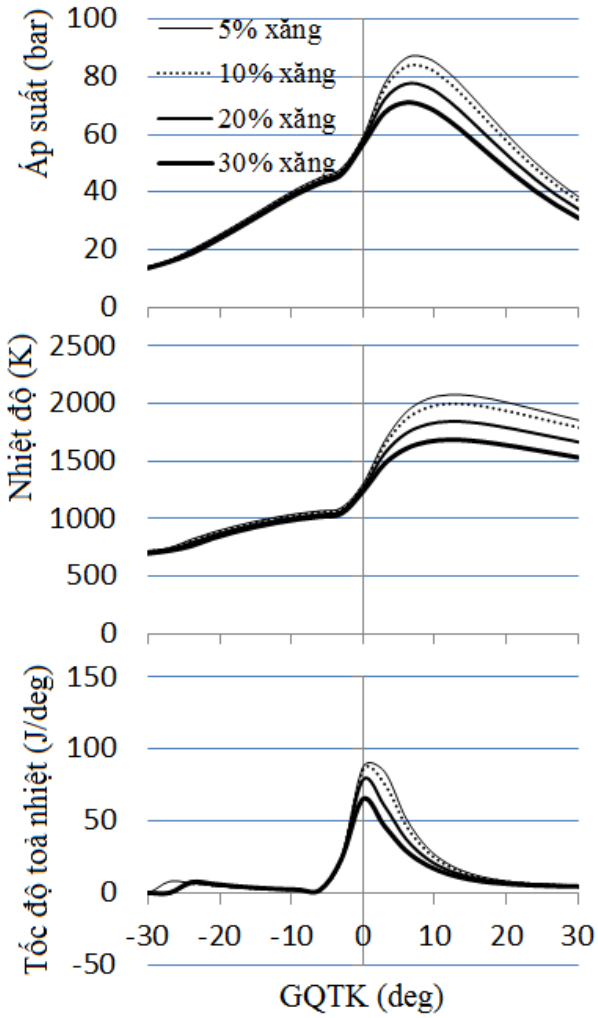
Khi tăng lượng xăng phun vào động cơ thì nhiệt độ cực đại giảm nhiều, chính điều này làm giảm NOx, soot. Nếu so với trường hợp đã xét ở đầu là phun xăng, phun diesel một lần thì ở trường hợp này lượng phát thải tốt hơn. Lượng phát thải giảm đều từ 5% đến 50% xăng, tuy nhiên lượng phát thải lại tăng lại khi lượng xăng phun vào là 60%, 70%.

Tới đây chúng ta có thể ghi nhận việc phun xăng làm giảm nhiệt độ buồng cháy dẫn đến làm giảm các khí thải chỉ xảy ra tốt khi chúng ta phun diesel hai lần, tức là phải sử dụng công nghệ RCCI thay vì sử dụng RCCI phun diesel một lần.

Phân tích quá trình cháy

Các đồ thị dưới đây khi cho phun xăng 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, phun diesel hai lần (thời điểm phun diesel lần một là 62 độ trước ĐCT, thời điểm phun diesel lần hai là 10 độ trước ĐCT).

Khác với trường hợp phun diesel một lần, đỉnh đầu tiên của đồ thị tốc độ toả nhiệt xuất hiện rõ ràng hơn. Chính điều này làm cho nhiệt độ buồng cháy gia tăng trước ĐCT, làm cho động cơ sinh ra áp suất cực đại gần 10 độ sau ĐCT hơn.



Hình 4.37: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_3 điều chỉnh lượng phun xăng.

Áp suất khi phun xăng nhiều sẽ giảm, điểm đạt áp suất cực đại cũng gần ĐCT hơn, làm cho công suất động cơ không cao.

Tuy nhiên, nếu so sánh với trường hợp động cơ RCCI_1 khi cùng cho phun 5% xăng thì động cơ RCCI_3 có áp suất cao hơn.

Nhiệt độ buồng cháy khi tăng lượng xăng phun vào giảm. Điều này làm giảm phát thải NOx, nhưng nếu lượng xăng phun vào quá cao lại gây tác dụng ngược, làm tăng lượng NOx.

Tốc độ toả nhiệt ở trường hợp động cơ RCCI_3 phun 5% xăng khi so với động cơ RCCI_1 phun 5% xăng cao hơn gấp đôi. Điều này chứng tỏ phun xăng kết hợp với phun diesel sẽ tốt hơn nếu ta kết hợp phun diesel hai lần.

4.7.3 Động cơ RCCI_3 phun xăng, phun diesel hai lần với điều chỉnh lượng phun diesel lần phun đầu tiên khác nhau

Động cơ RCCI_3 với phun xăng, phun diesel hai lần được mô phỏng với điều kiện giữ cố định lượng xăng phun vào là 5% trên tổng khối lượng phun vào buồng cháy. Phần trăm khối lượng xăng được cho bởi bảng 4.1, sao cho năng lượng đưa vào buồng cháy trong các trường hợp là tương đương nhau. Phần trăm diesel phun lần đầu tiên được tính theo phần trăm của tổng lượng diesel phun vào buồng cháy, tổng lượng diesel này bằng 95% tổng năng lượng đưa vào buồng cháy, bao gồm cả xăng.

Bảng 4.21: Các thông số mô hình động cơ RCCI_3.

Kiểu động cơ	**RCCI_3**
Tốc độ động cơ (v/p)	2000
Tổng lượng xăng sử dụng (kg/cycle)	Chiếm 5% tổng khối lượng
Tổng lượng diesel sử dụng (kg/cycle)	Thay đổi theo bảng 4.1
Tổng lượng diesel phun lần 1 (kg/cycle)	Thay đổi theo phần trăm tổng khối lượng diesel phun vào
Tổng lượng diesel phun lần 2 (kg/cycle)	Thay đổi theo phần trăm tổng khối lượng diesel phun vào
Thời điểm phun diesel lần 1 (deg)	-62
Thời điểm phun diesel lần 2 (deg)	-10
Tổng năng lượng cung cấp (kJ/cycle)	1.272
Tỷ số nén ε	**16.1**
Áp suất phun Diesel (bar)	800
Áp suất đường nạp (bar)	1
Áp suất đường thải (bar)	1,03
Nhiệt độ khí nạp (độ C)	24,85
Tỷ số A/F (-)	17.17
Tỷ lệ EGR (%)	0
Thời điểm xupáp nạp mở (deg)	**298.88**
Thời điểm xupáp nạp đóng (deg)	**626.12**
Thời điểm xupáp xả mở (deg)	80.88
Thời điểm xupáp xả đóng (deg)	425.12

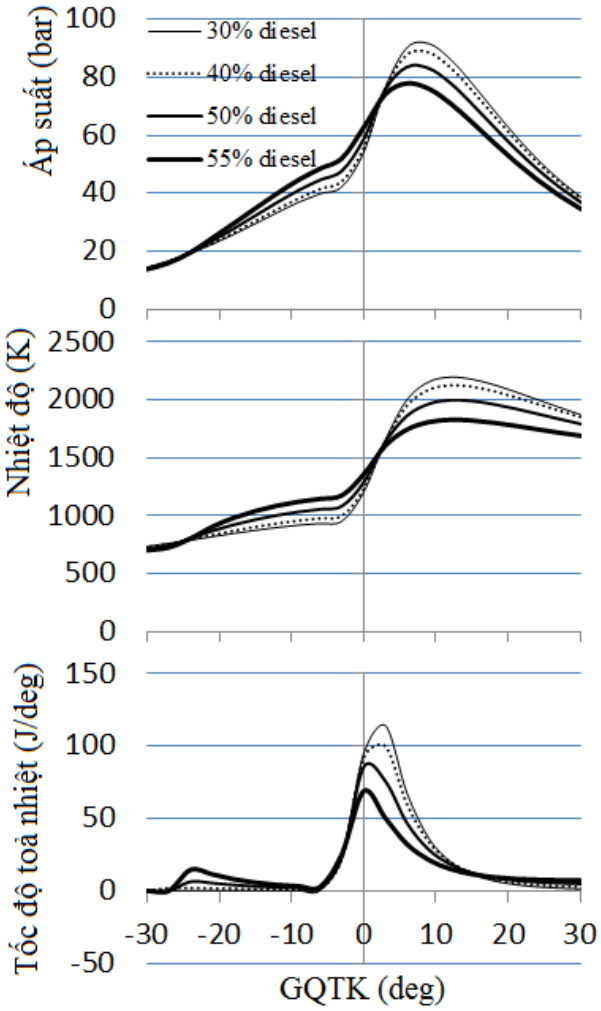
Bảng 4.22: Kết quả mô phỏng động cơ RCCI_3 điều chỉnh lượng phun các lần phun diesel.

STT	**1**	**2**	**3**
Phần trăm diesel lần 1 (%)	**70%**	**60%**	**55%**
IMEP (bar)	6.803	7.530	8.031

Mômen có ích (Nm)	20.18	23.14	25.17
Công suất có ích (kW)	4.23	4.85	5.27
NOx (g/kWh)	6.818	8.028	9.374
Soot (g/kWh)	4.031	2.788	2.162
BMEP (bar)	4.966	5.694	6.194
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-23.00	-24.50	-25.00
Khoảng thời gian cháy (deg)	151.00	152.50	153.50
Áp suất cực đại (bar)	65.26	71.44	77.94
Tại GQTK (deg)	**2.00**	**5.00**	**6.50**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	2.92	3.24	4.80
Tại GQTK (deg)	-22.50	-1.00	0.50
Nhiệt độ cực đại (K)	1558.96	1636.83	1826.98
Tại GQTK (deg)	82.50	11.50	12.50
Nhiệt độ cháy (K)	2704.42	2717.26	2723.64
Tại GQTK (deg)	-7.50	-7.00	-6.50
Hiệu suất (%)	27.13	30.07	32.06
STT	**4**	**5**	**6**
Phần trăm diesel lần 1 (%)	**50%**	**40%**	**30%**
IMEP (bar)	8.391	8.595	8.665
Mômen có ích (Nm)	26.64	27.47	27.75
Công suất có ích (kW)	5.58	5.75	5.81
NOx (g/kWh)	10.657	11.915	12.704
Soot (g/kWh)	1.876	1.862	2.141
BMEP (bar)	6.555	6.759	6.828
Thời điểm bắt đầu cháy (deg)	-26.50	-27.50	-28.00
Khoảng thời gian cháy (deg)	154.50	155.50	156.00
Áp suất cực đại (bar)	84.15	89.25	92.20
Tại GQTK (deg)	**7.00**	**7.50**	**8.00**
Độ gia tăng áp suất (bar/deg)	6.23	7.32	7.88

Tại GQTK (deg)	1.00	2.00	2.00
Nhiệt độ cực đại (K)	1996.72	2125.24	2193.89
Tại GQTK (deg)	12.50	12.50	12.50
Nhiệt độ cháy (K)	2724.62	2715.42	2719.57
Tại GQTK (deg)	-6.50	-6.00	4.50
Hiệu suất (%)	33.50	34.30	34.59

Phân tích quá trình cháy



Hình 4.38: So sánh áp suất, nhiệt độ, tốc độ toả nhiệt động cơ RCCI_3 điều chỉnh lượng phun diesel lần đầu tiên

Khi so sánh đồ thị phun 70% diesel với 70% xăng thì mặc dù đỉnh thứ nhất của 2 đồ thị đều rõ rệt và cao, nhưng đỉnh của 70% diesel có giá trị cao hơn (30J/deg so với 8J/deg). Do khối lượng diesel phun lần đầu tiên cao hơn khối lượng phun diesel.

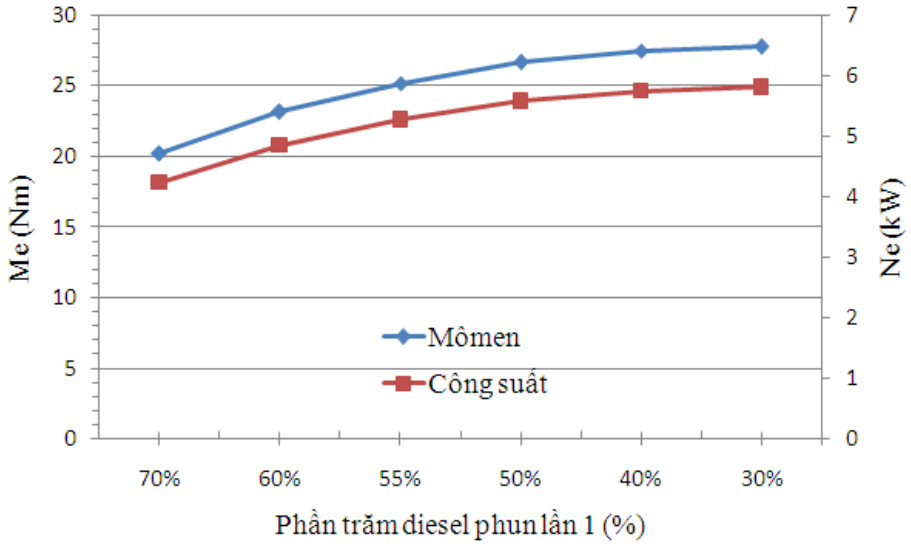
Việc gia tăng nhiệt độ quá sớm cũng không tốt, bởi vì thể tích buồng cháy lúc này còn lớn. Điều này sẽ làm cho khó đạt được áp suất cao tại 10 độ trước ĐCT.

Mặc dù tốc độ toả nhiệt ở vùng cháy nhiệt độ thấp cao nhưng cũng không làm cho áp suất buồng cháy tăng do thể tích buồng cháy còn lớn. Quá trình cháy không tốt này còn làm cho giai đoạn cháy rớt kéo dài, làm cho nhiệt độ buồng cháy còn cao, làm hao phí năng lượng.

Ngoài ra, còn kể đến khi phun 70% diesel lần một thì xuất hiện rõ một đỉnh thứ ba. Tức là giai đoạn cháy rớt có nhiều nhiên liệu tham gia cháy, điều này làm cho nhiệt độ tăng cao hơn.

Khi phun diesel lần đầu tiên càng nhiều thì áp suất càng thấp do nhiên liệu phần lớn đã cháy ở giai đoạn cháy trễ, cháy nhanh.

Phân tích thông số công suất, mômen



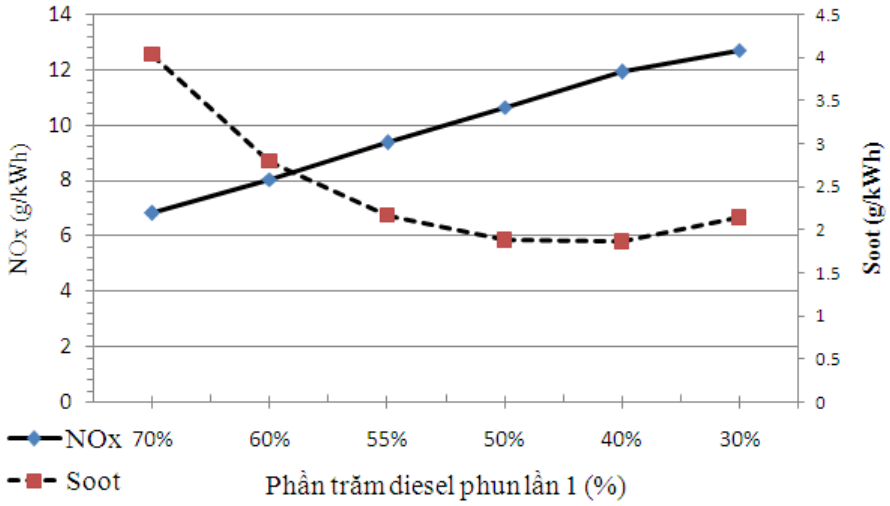
Hình 4.39: Đồ thị công suất, mômen động cơ RCCI_4 phun diesel lần một với các lượng phun khác nhau.

Khi giảm khối lượng diesel phun lần một thì công suất động cơ sẽ tăng. Khi giảm khối lượng phun diesel lần một thời điểm bắt đầu cháy sẽ sớm hơn, khoảng thời gian cháy sẽ dài hơn, làm cho áp suất cực đại cũng cao hơn, điểm đạt áp suất cực đại cũng gần 10 độ sau ĐCT hơn. Làm cho công suất cao hơn.

Phân tích các thông số về khí thải

Quan sát đồ thị ta thấy càng giảm lượng phun diesel lần đầu tiên sẽ làm giảm đáng kể lượng soot. Nhưng tỷ lệ với sự giảm soot là sự tăng NOx do sự tăng nhiệt độ cháy, nhiệt độ cực đại buồng cháy.

So với các thí nghiệm cho thay đổi lượng phun xăng, làm giảm NOx, thì thay đổi lượng phun diesel lần đầu tiên lại làm giảm lượng soot. Bởi vậy, nếu chúng ta phối hợp hai phương pháp này thì lượng NOx, soot sẽ giảm đáng kể.



Hình 4.40: Đồ thị khí thải động cơ RCCI_4 phun diesel lần một với các lượng phun khác nhau.

Kết luận:

Việc sử dụng xăng kết hợp với diesel được kỳ vọng giúp động cơ có hiệu suất nhiệt cao hơn động cơ diesel thông thường do ở cùng nhiệt độ, tỷ số nén thì hiệu suất nhiệt của chu trình cấp nhiệt đẳng tích cao hơn hiệu suất nhiệt của chu trình cấp nhiệt đẳng áp. Tuy nhiên, kết quả đạt được chỉ hiệu quả khi ta phun một lượng xăng phù hợp, thường là chiếm từ 5% đến 40% trong tổng khối lượng nhiên liệu phun vào buồng cháy. Ngoài ra, việc phun xăng cũng làm giảm nhiệt độ buồng cháy, làm giảm NOx, tuy nhiên lượng phun xăng này cũng phải phù hợp.

Phun diesel lần đầu tiên tối ưu khi ta phun với lượng nhỏ, tuy nhiên nếu lượng phun này quá nhỏ thì sẽ không làm xuất hiện quá trình cháy ở nhiệt độ thấp, đồng nghĩa với công suất giảm, quá trình cháy không tốt.