



STUDY ON THE EFFECT OF INTAKE AIR HEATED TO COMBUSTION CHARACTERISTIC OF HOMOGENEOUS CHARGE COMPRESSION IGNITION BY AVL BOOST SOFTWARE

Khương Thị Hà

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 26/02/2025

Revised: 08/04/2025

Accepted: 10/04/2025

Published online: 15/04/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.5>

* *Corresponding author*

Email: khuongha82@utc.edu.vn; Tel: 0985477788

Abstract. Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) principles was expressed premium features to increase power and reduce emissions which is why it is attracting the attention of many researchers. This paper presented the results of the influence of intake air heated to the combustion characteristics and the start of combustion of homogeneous charge compression ignition engine, the engine used in research converted from a single-cylinder diesel engine, Kubota BD178F(E), under the principle of HCCI using n heptane fuel need to redesign the fuel supply system and equipped with additional heating system for the intake air. The simulation results by AVL soft ware at 2400 rpm, loading mode 50% show that: Increase the heating temperature of the intake air at the time of starting combustion gradually, HCCI engine work stably in heating temperature of the intake air from 50°C to 80°, do not recommend to increase the heating temperature of the intake air by more than 90°C because the HCCI engine will not keep the HCCI combustion characteristics.

Keywords: HCCI, n heptane, Kubota BD178F(E) diesel engine.



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ SẤY NÓNG KHÍ NẠP ĐẾN ĐẶC TÍNH CHÁY HCCI BẰNG PHẦN MỀM MÔ PHỎNG AVL BOOST

Khương Thị Hà

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 26/02/2025

Ngày nhận bài sửa: 08/04/2025

Ngày chấp nhận đăng: 10/04/2025

Ngày xuất bản Online: 15/04/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.5>

* Tác giả liên hệ

Email: khuongha82@utc.edu.vn; Tel: 0985477788

Tóm tắt. Động cơ cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (homogeneous charge compression ignition – HCCI) có ưu thế về phát huy công suất và giảm phát thải nên đang được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy nóng khí nạp tới đặc tính cháy và thời điểm bắt đầu cháy của động cơ hoạt động theo cơ chế cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (homogeneous charge compression ignition – HCCI), động cơ dùng trong nghiên cứu này được chuyển đổi từ động cơ diesel 1 xi lanh Kubota BD178F(E) với đường nạp được cải tiến nhằm phun n heptan trên đường nạp và trang bị thêm hệ thống sấy nóng khí nạp. Kết quả mô phỏng động cơ HCCI phần mềm mô phỏng AVL – BOOST tại tốc độ 2400 vg/ph, 50% tải cho thấy: Tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp thời điểm bắt đầu cháy sớm dần, động cơ HCCI hoạt động ổn định khi nhiệt độ sấy nóng khí nạp từ 50°C đến 80°C, không nên tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp quá 90°C vì không giữ được đặc tính cháy HCCI nữa.

Từ khóa: HCCI, n heptan, động cơ diesel Kubota BD178F(E).

© 2025 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các nghiên cứu ngày nay về động cơ đốt trong đã và đang đối mặt với các thách thức: tiêu chuẩn khí thải ngày một khắt khe, nhiên liệu hóa thạch đang cạn kiệt dần trên toàn cầu nên cần tìm ra các loại nhiên liệu thay thế đáp ứng các yêu cầu của động cơ đốt trong về công suất và môi trường [1]. Trong các nghiên cứu hiện tại thì động cơ cháy do nén hỗn hợp đồng nhất HCCI (homogeneous charge compression ignition – HCCI). Trong các nghiên cứu trên

thể giới tính tới thời điểm hiện tại thì động cơ hoạt động theo mô hình cháy do nén hỗn hợp đồng nhất HCCI (homogeneous charge compression ignition – HCCI) [1,2] được cho đã giải quyết được hầu hết vấn đề kể trên vì: Động cơ hoạt động theo mô hình cháy HCCI (Động cơ HCCI) này có hiệu suất tương tự với động cơ phun xăng trực tiếp và kiểu cháy tương tự với động cơ diesel. Động cơ HCCI có đặc trưng là hỗn hợp nhiên liệu và không khí được hình thành từ trước, sau đó hỗn hợp được nén lên đến nhiệt độ tự cháy vào cuối kỳ nén. Động cơ HCCI có khả năng kết hợp cả hai ưu điểm của động cơ diesel (hiệu suất nhiệt) và động cơ xăng (phát thải) [3-11].

Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ sấy nóng khí nạp tới hiệu quả làm việc của động cơ HCCI trên cơ sở kết quả thu được từ mô hình mô phỏng trên phần mềm AVL - Boost sẽ là một gợi ý khi thực nghiệm kiểm chứng về mô hình cháy HCCI, một mô hình cháy mới đang được cả thế giới quan tâm nghiên cứu mà ở Việt Nam vẫn còn mới. Đồng thời kết quả của nghiên cứu này cũng góp phần định hướng chính xác hơn cho các nghiên cứu về động cơ HCCI trong tương lai.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ HCCI TRÊN PHẦN MỀM AVL BOOST

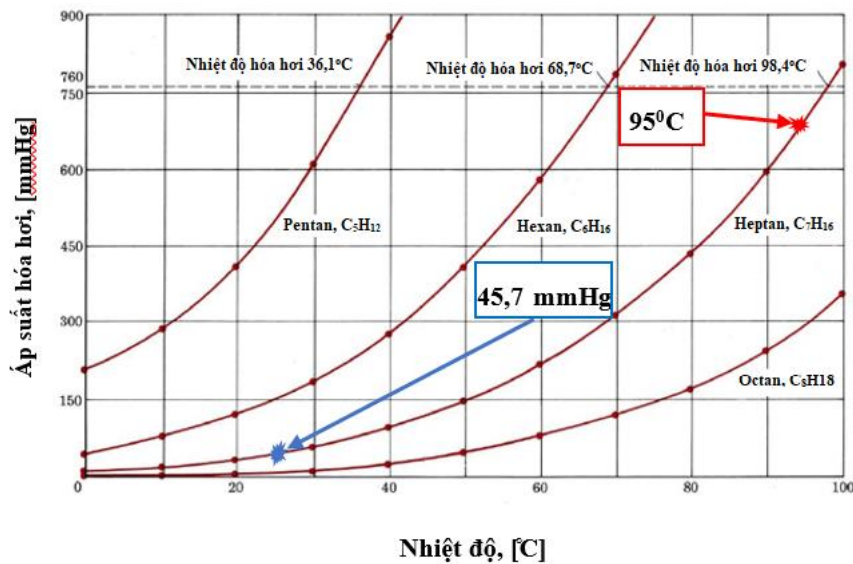
2.1. Nhiên liệu dùng cho nghiên cứu

đAN heptan (C_7H_{16}) là ankan mạch thẳng, với các tính chất được thể hiện trong Bảng 1, n heptan được sử dụng làm nhiên liệu cho động cơ HCCI trong mô hình mô phỏng. Nhiên liệu n heptan có nhiệt trị cao hơn nhiên liệu diesel (42,5MJ/kg) đồng thời cũng có trị số Cetane cao hơn (56 so với 51,7) [12].

Bảng 1. Tính chất của n heptan.

Tính chất	Giá trị	Đơn vị
Công thức hoá học	n- C_7H_{16}	-
Độ nhớt động học (ở 40°C)	0,567	mm ² /s
Nhiệt độ chớp cháy cốc kín	-4	°C
Tỷ trọng (ở 20°C)	0,688	g/cm ³
Áp suất hơi (ở 37,8°C)	1,8	psi
Nhiệt trị	44,5	MJ/kg
Khối lượng mol	100,16	g/mol
Trị số cetane	56	-
Hệ số không khí/nhiên liệu	15,132	-
Điểm sôi	98	°C

Đặc tính bay hơi của n-heptane phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ như trên hình 1. Khi áp suất tăng lên thì nhiệt độ cần thiết cho quá trình bay hơi cũng tăng lên. Với áp suất khí quyển 760 mmHg thì nhiệt độ để nhiên liệu n-heptane sôi là 98,4°C. Khi nhiệt độ ở 25°C thì áp suất để n-heptane sôi là 45,7 mmHg (6,1 kPa). Theo đặc tính bay hơi của nhiên liệu n - heptane trên đồ thị ta thấy để nhiên liệu bay hơi hoàn toàn trong điều kiện áp suất trên đường nạp động cơ (khoảng 0,09 MPa $\approx$ 675 mmHg) thì nhiệt độ của nhiên liệu n-heptane gần 95°C. Do đó trong quá trình cung cấp nhiên liệu n-heptane cho động cơ thì cần sấy nóng đường nạp để nhiên liệu n-heptane có thể bay hơi ngay trên đường nạp động cơ.



Hình 1. Đặc tính bay hơi của n-heptan.

2.2. Động cơ dùng cho nghiên cứu mô phỏng

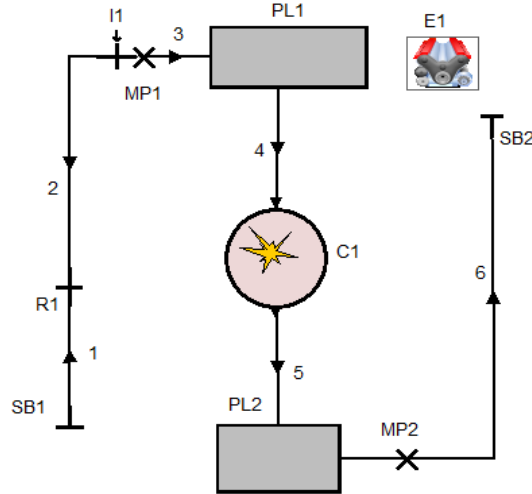
Kubota BD178F(E) là động cơ được sử dụng cho nghiên cứu với các thông số như trên bảng 2, đây là động cơ một xi lanh, sử dụng 4 xupap (hai xupap nạp, hai xupap thải), có buồng cháy thống nhất dạng ω . Để chuyển đổi động cơ diesel sang chế độ cháy HCCI thì đường nạp của động cơ đã được cải tiến, khi đó n heptan được cung cấp trên đường nạp, không khí được sấy nóng nhờ hệ thống sấy nóng trước khi hòa trộn cùng n heptan trước cửa nạp, từ đó hình thành hỗn hợp đồng nhất bên ngoài xy lanh.

Bảng 2. Thông số kết cấu động cơ Kubota BD178F(E).

Thông số	Giá trị
Đường kính xy lanh, (D)	78 mm
Hành trình piston, (S)	57 mm
Thể tích công tác, (V_h)	273 cm ³
Tỷ số nén, (ϵ)	17
Công suất định mức, (N_{dm})	4,4 kW
Tốc độ định mức, (n_{dm})	3600 (vg/ph)
Mômen cực đại, (Me_{max})	13 Nm
Tốc độ tại Me_{max} , (n_M)	2000 (vg/ph)
Suất tiêu hao nhiên liệu, ($g_{e_{min}}$)	378 g/kW.h
Tốc độ tại $g_{e_{min}}$, (n_{ge})	2400 (vg/ph)

2.3. Mô hình mô phỏng

Trên mô hình động cơ diesel) thông thường phần tử vòi phun sẽ trực tiếp gắn vào phần tử xi lanh, khi xây dựng mô hình động cơ Kubota BD178F(E) chuyển sang hoạt động theo cơ chế cháy do nén hỗn hợp đồng nhất thì vòi phun sẽ được chuyển về đường ống nạp như trên hình 2, cụ thể: Trên đoạn ống P2-3 bố trí phần tử vòi phun I1, tại đây n heptan được phun vào hòa trộn cùng không khí đã được sấy nóng từ các đường ống P1-3, hòa khí được đưa vào bình chứa PL1 rồi mới nạp vào xi lanh C1 của động cơ.



Hình 2. Mô hình mô phỏng động cơ Kubota BD178F(E) chuyển đổi sang cháy HCCI.

2.4. Chế độ mô phỏng

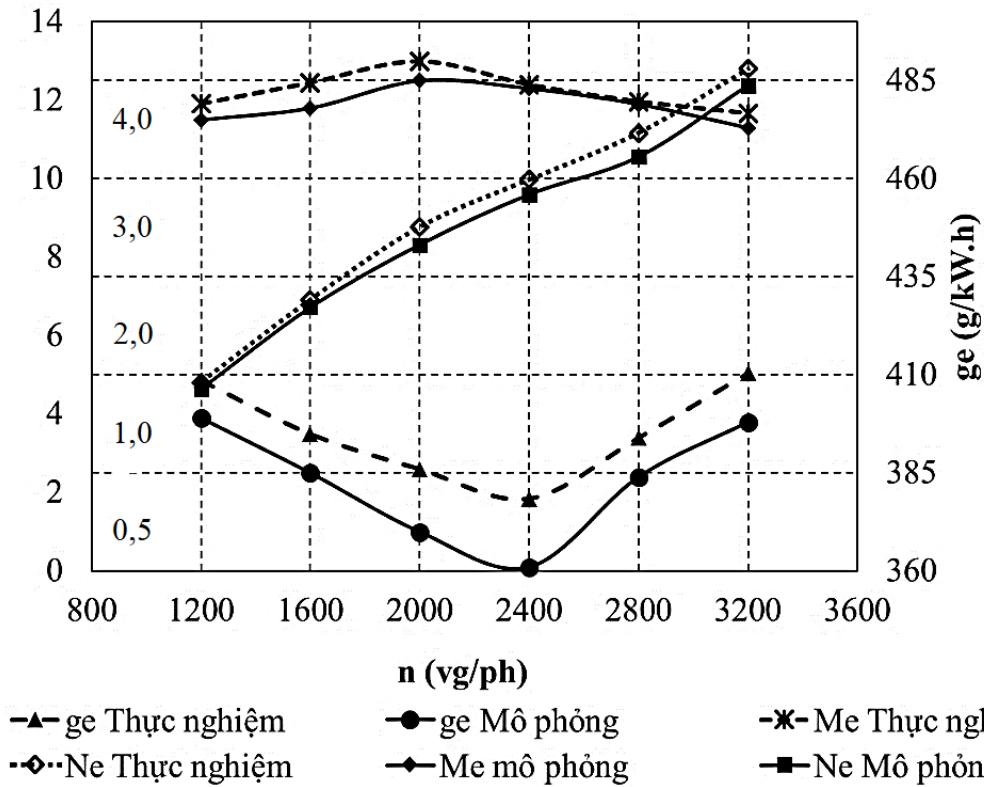
- Mô phỏng xác định đường đặc tính ngoài của động cơ diesel nguyên bản: Tốc độ từ 1200 vg/ph đến 3200 vg/ph với khoảng chia 400 vg/ph và 100% tải. (Tải của động cơ được tính thông qua các giá trị mô men tương ứng với 10%, 20%, 30% và 50% mô men cực đại của động cơ diesel nguyên bản)
- Mô phỏng thiết lập quá trình cháy HCCI cho động cơ diesel: Mô hình được chạy ở các chế độ tốc độ 2400vg/ph và các chế độ tải: 10%, 20%, 30% và 50% tương ứng với mô men có giá trị lần lượt là: 1,24 (N.m); 2,48 (N.m); 3,72 (N.m) và 6,2 (N.m)

2.5. Đánh giá tính chính xác của mô hình mô phỏng

Đặc tính ngoài của động cơ Kubota BD178F(E) khi mô phỏng và thực nghiệm được thể hiện qua hình 3. Các kết quả thấy rằng:

Sai lệch cực đại giữa mô phỏng và thực nghiệm đối với mô men, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ lần lượt là: 5,12% và 5,48% sai lệch trung bình là: 3,6% và 3,0%. Với những kết quả trên, ta thấy mô hình mô phỏng xây dựng trên phần mềm AVL - Boost là hợp lý, đạt độ tin cậy.

Me (N.m) - Ne (kW)



Hình 3. Kết quả so sánh công suất, mô men và suất tiêu hao nhiên liệu giữa mô phỏng và thực nghiệm của động cơ diesel Kubota BD178F(E).

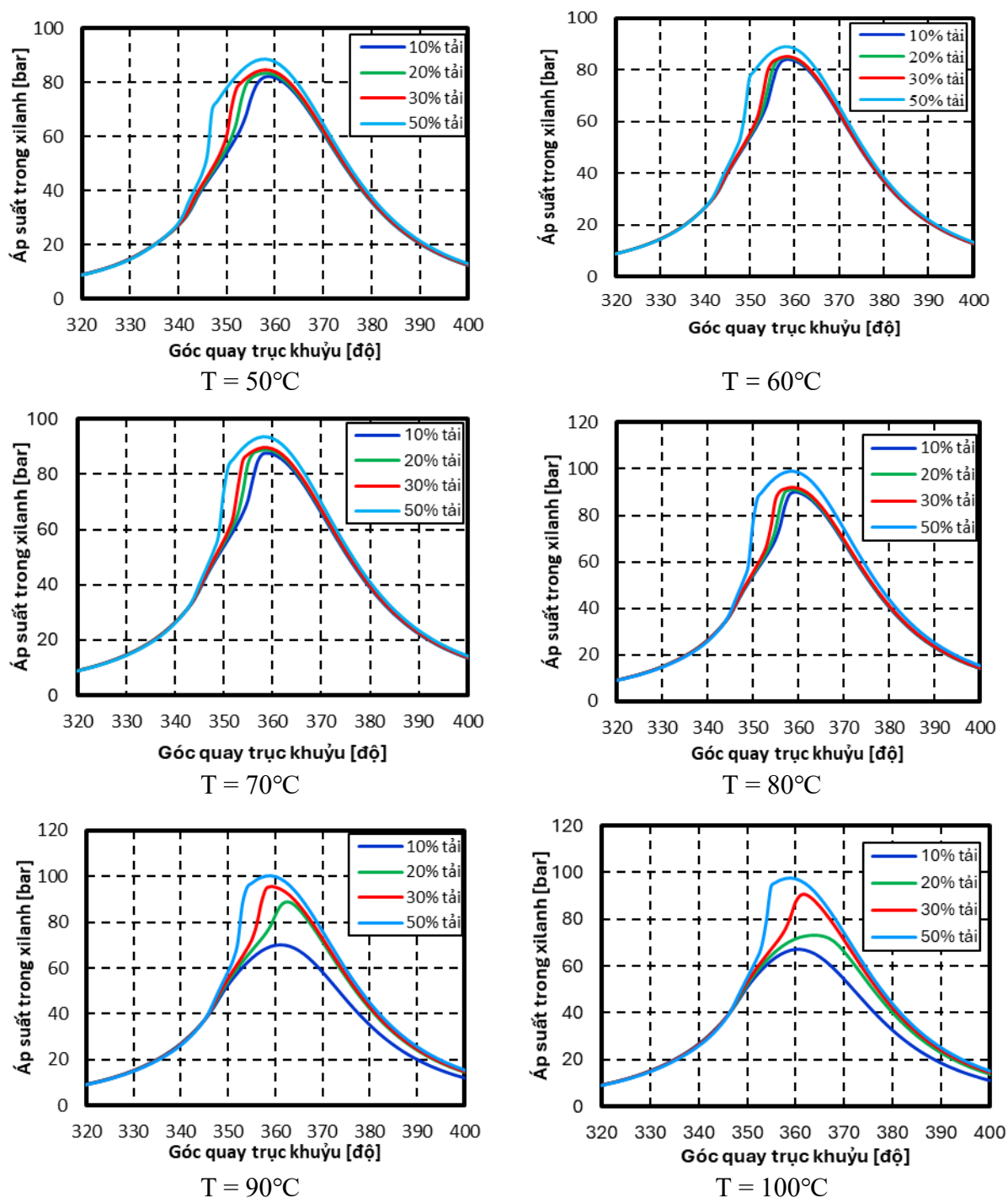
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dưới đây là các kết quả chạy mô hình mô phỏng ở tốc độ động cơ 2400vg/ph, 50% tải, với Nhiệt độ sấy nóng khí nạp từ 50°C tới 100°C.

3.1. Các kết quả về đặc tính cháy của động cơ HCCI

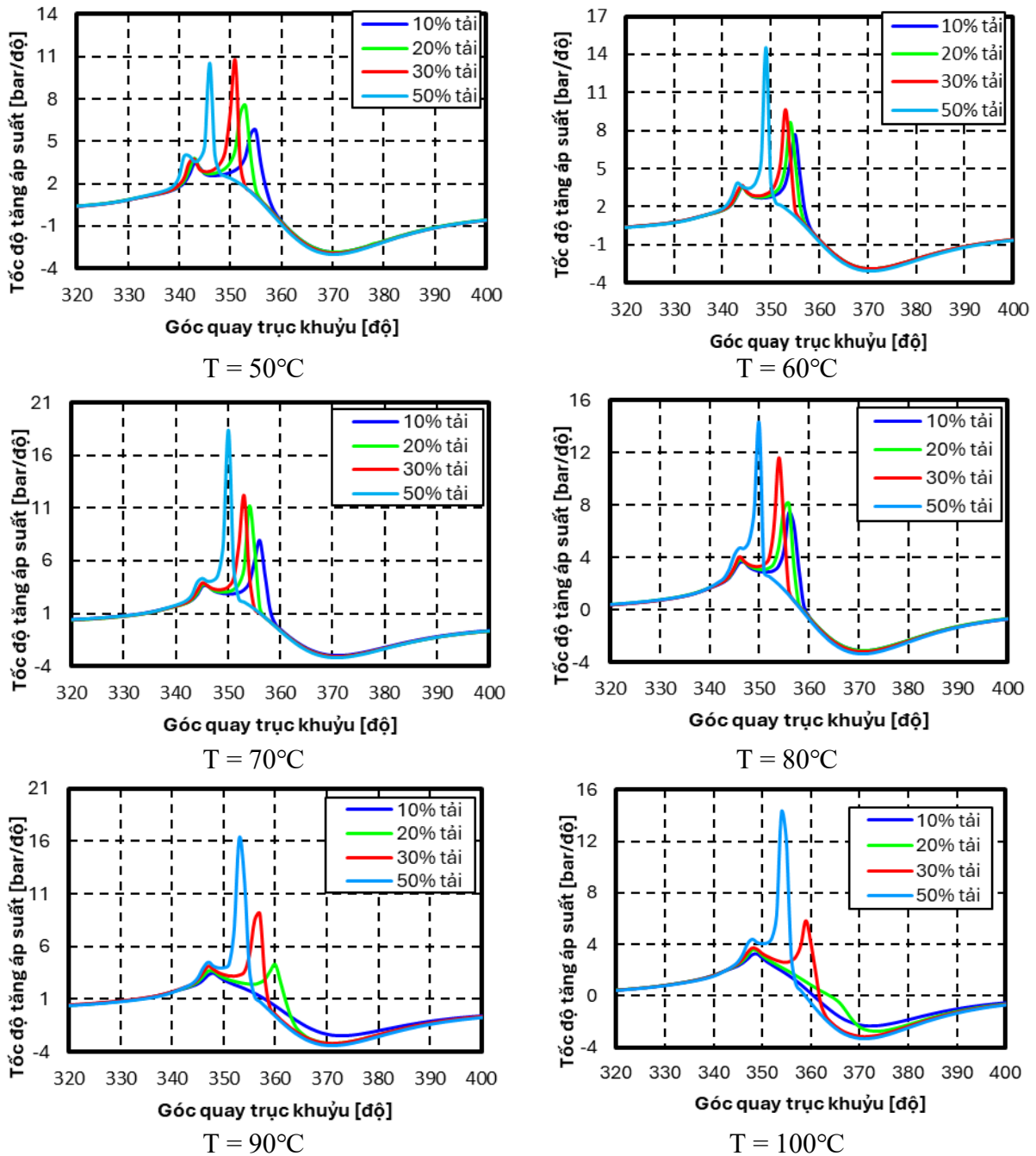
Đặc tính cháy của động cơ HCCI bao gồm: Áp suất, tốc độ tăng áp suất, tốc độ tỏa nhiệt và nhiệt độ trong xi lanh của động cơ.

Kết quả về thay đổi của áp suất trong xi lanh được thể hiện qua hình 4. Khi tăng dần nhiệt độ sấy không khí nạp khiến cho nhiệt độ của hòa khí trước khi đưa vào xi lanh tăng dần tới hệ số nạp của động cơ tăng, từ đó giá trị lớn nhất của áp suất trong xi lanh tăng dần lên, giá trị cực đại xuất hiện sớm dần trước ĐCT, khi tăng dần tải của động cơ, lượng hòa khí được đưa vào xi lanh tăng dần nên giá trị áp suất xi lanh cực đại cũng tăng dần lên.



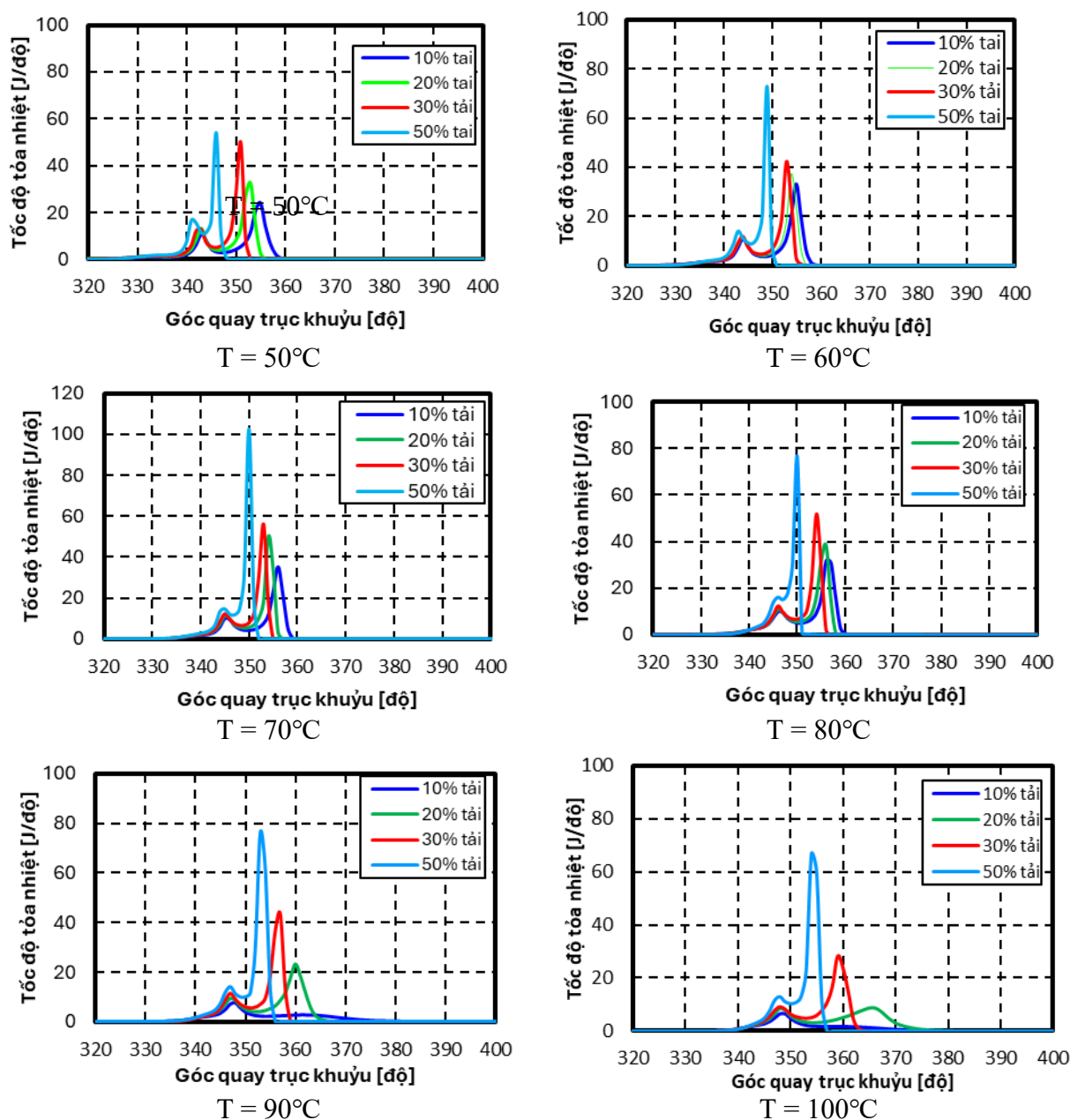
Hình 4. Áp suất trong xi lanh tại các nhiệt độ sấy không khí nạp khác nhau.

Kết quả về thay đổi của tốc độ tăng áp suất trong xi lanh được thể hiện qua hình 5. Tốc độ tăng áp suất tăng dần khi nhiệt độ sấy nóng khí nạp tăng từ 50°C tới 100°C, đồng thời giá trị lớn nhất cũng lớn hơn tại các chế độ tải cao hơn, ở các nhiệt độ sấy và tải cao thì giá trị cực đại cũng lớn hơn nhiều, đây là lý do khiến cho động cơ HCCI khó hoạt động ổn định tại tốc độ, tải cao hơn. Ở 100°C động cơ HCCI không còn ổn định tại tất cả các chế độ tải nữa.



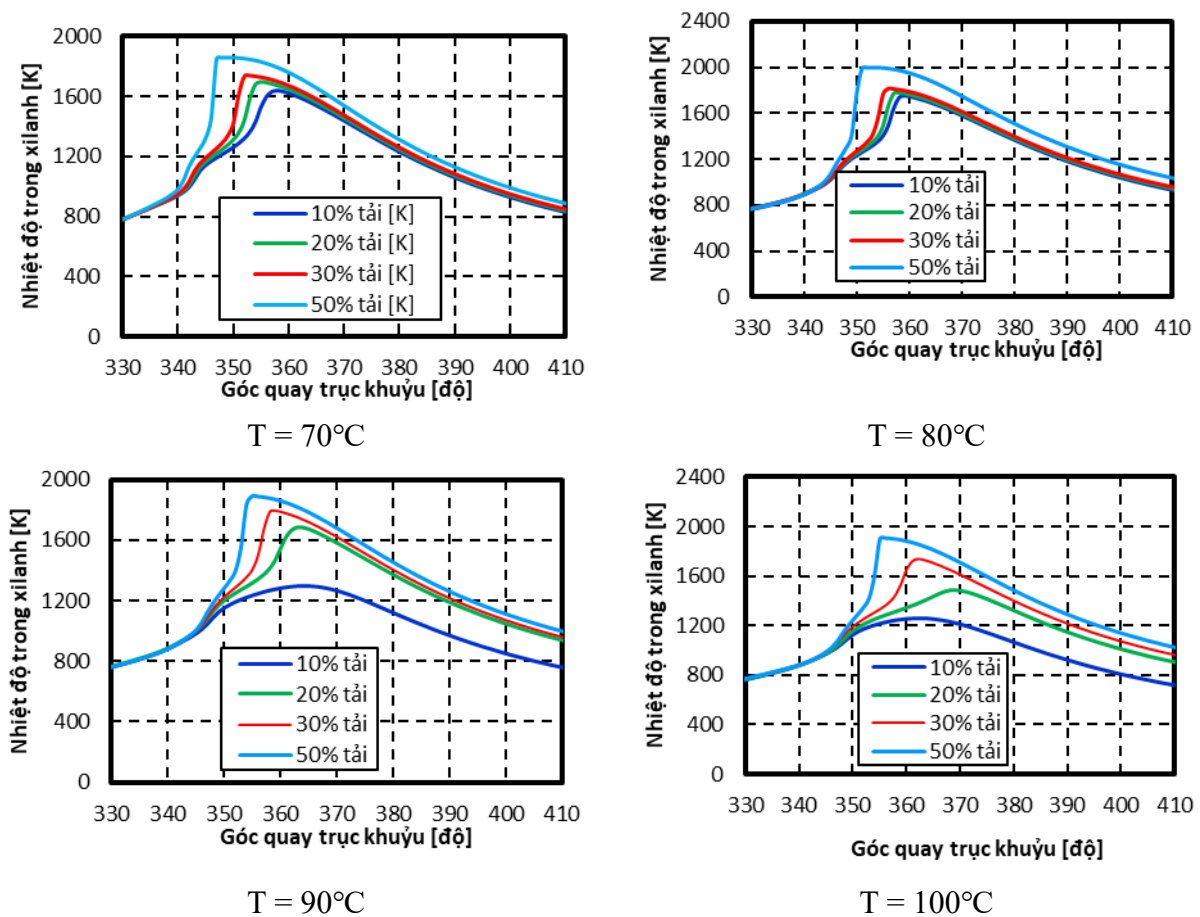
Hình 5. Tốc độ tăng áp suất trong xi lanh tại các nhiệt độ sấy không khí nạp khác nhau.

Kết quả về thay đổi của tốc độ tỏa nhiệt trong xi lanh được thể hiện qua hình 6. Tại các chế độ tải và nhiệt độ mô phỏng, đường đặc tính tỏa nhiệt của động cơ tuân theo lý thuyết về quá trình cháy HCCI, khi này đường tốc độ tỏa nhiệt xuất hiện 2 vùng tương ứng với ngọn lửa lạnh và ngọn lửa nóng. Tuy nhiên khi tăng dần tải và nhiệt độ sấy thì giá trị cực đại, thời điểm bắt đầu xuất hiện các ngọn lửa lạnh, ngọn lửa nóng sớm dần đến hiệu suất của động cơ không được duy trì ở giá trị tốt cũng như mô men không đạt được giá trị như mong muốn. Tại chế độ tải thấp, nhiệt độ sấy cao thì xuất hiện các điểm cháy không tuân theo quy luật nữa, không nên sấy nóng quá 100°C.



Hình 6. Tốc độ tỏa nhiệt trong xi lanh tại các nhiệt độ sấy không khí nạp khác nhau.

Kết quả về thay đổi của nhiệt độ trong xi lanh thể hiện qua hình 7. Tại các chế độ mô phỏng nhiệt độ trong xi lanh của động cơ đều nhỏ hơn 2000°K, ở vùng nhiệt độ này thì khí thải sinh ra sẽ giảm được lượng NO_x , đây là một ưu điểm lớn của động cơ hoạt động theo nguyên lý cháy HCCI mà không cần trang bị thêm bộ xử lý khí thải đắt tiền.



Hình 7. Nhiệt độ trong xi lanh tại các nhiệt độ sấy không khí nạp khác nhau.

3.2. Hệ số dư không khí (λ) và thời điểm bắt đầu cháy (SOC - Start of combustion SOC)

Kết quả về hệ số dư không khí được thể hiện qua bảng 3. Khi nhiệt độ sấy tăng sẽ làm mật độ không khí tăng dẫn đến λ tăng, khi hỗn hợp quá nghèo động cơ sẽ khó nổ cho nên không nên tiếp tục tăng nhiệt độ lớn hơn 100°C.

Bảng 3. Hệ số dư không khí tại các nhiệt độ sấy khác nhau, [-].

% Tải	T = 50°C	T = 60°C	T = 70°C	T = 80°C	T = 90°C	T = 100°C
10	4,12	4,17	4,24	4,35	4,41	4,51
20	4,05	4,11	4,19	4,29	4,37	4,45
30	3,93	4,02	4,11	4,18	4,26	4,31
50	3,82	3,92	3,98	4,05	4,13	4,22

Kết quả về thời điểm xuất hiện ngọn lửa lạnh (SOC2) và ngọn lửa nóng (SOC1) được thể hiện qua bảng 4, bảng 5. Khi tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp thì thời điểm bắt đầu cháy với việc xuất hiện ngọn lửa lạnh và ngọn lửa nóng sẽ sớm dần lên, nhiệt độ sấy nóng lớn hơn 90°C thì quá trình cháy diễn ra quá sớm trước điểm chết trên, điều này ảnh hưởng tới các hiệu suất và mô men có ích của động cơ.

Bảng 4. SOC2 tại các nhiệt độ sấy khác nhau, [°GQTK].

% Tải	T = 50°C	T = 60°C	T = 70°C	T = 80°C	T = 90°C	T = 100°C
10	-30,5	-33,5	-37,5	-41,0	-44,5	-49,5
20	-31,5	-35,5	-40,0	-44,0	-46,5	-52,5
30	-33,0	-38	-42,0	-47,5	-49,5	-54,0
50	-35,5	-40,5	-44,5	-50,0	-52,0	-55,5

Bảng 5. SOC1 tại các nhiệt độ sấy khác nhau, [°GQTK].

% Tải	T = 50°C	T = 60°C	T = 70°C	T = 80°C	T = 90°C	T = 100°C
10	-10,5	-12,5	-14,0	-16,0	-17,5	-19,5
20	-11,0	-13,5	-15,5	-17,5	-18,5	-20,0
30	-11,5	-14,5	-17,0	18,0	-19,5	-21,5
50	-12,5	-15,0	-18,5	-20,0	21,0	-23,5

3.3. Mô men có ích và hiệu suất nhiệt và của động cơ HCCI

Kết quả về mô men có ích của động cơ HCCI được thể hiện trên bảng 6. Khi tăng dần nhiệt độ sấy nóng khí nạp thì tốc độ tăng áp suất tăng, tốc độ tỏa nhiệt tăng theo nên lúc đầu khi động cơ giữ được đặc tính cháy HCCI ổn định thì mô men có ích của động cơ HCCI bằng với động cơ diesel nguyên bản, tại nhiệt độ sấy nóng cao hơn 90°C thì mô men có ích thấp hơn là do quá trình cháy diễn ra quá sớm trước điểm chết trên.

Bảng 6. Mô men có ích của động cơ HCCI tại các nhiệt độ sấy khác nhau, [N.m].

% Tải	T = 50°C	T = 60°C	T = 70°C	T = 80°C	T = 90°C	T = 100°C
10	1,23	1,25	1,24	1,24	1,20	1,18
20	2,47	2,48	2,48	2,49	2,46	2,42
30	3,72	3,73	3,74	3,72	3,70	3,6
50	6,19	6,25	6,27	6,22	6,09	6,00

Kết quả về hiệu suất nhiệt của động cơ HCCI thể hiện trên bảng 7. Nhiệt độ sấy nóng tăng dần sẽ giúp n heptane và không khí hòa trộn tốt hơn, quá trình cháy cũng xảy ra sớm dần cho nên hiệu suất nhiệt tại nhiệt độ sấy 50°C đến 80°C duy trì tốt, tiếp tục tăng hiệu suất chỉ thị giảm, sau 90°C thì giảm rất nhanh chứng tỏ quá trình cháy quá sớm đã ảnh hưởng tới hiệu suất của động cơ HCCI cho nên không tiếp tục tăng nhiệt độ sấy nóng khí nạp nữa.

Bảng 7. Hiệu suất của động cơ HCCI tại các nhiệt độ sấy khác nhau, [-].

% Tải	T = s°C	T = 60°C	T = 70°C	T = 80°C	T = 90°C	T = 100°C
10	29,13	33,77	34,06	32,86	25,26	22,86
20	27,21	33,13	33,5	32,7	25,06	22,54
30	26,92	31,26	32,69	31,88	24,19	21,88
50	26,63	28,50	31,93	31,51	24,17	20,92

4. KẾT LUẬN

Mô hình mô phỏng động cơ HCCI chuyển đổi từ động cơ diesel nguyên bản trên phần mềm AVL – Boost cho những kết quả sau:

- Tại các chế độ mô phỏng động cơ HCCI hoạt động ổn định khi nhiệt độ sấy nóng khí nạp từ 50°C đến 80°C, ở các chế độ này động cơ có mô men có ích tương đương động cơ nguyên bản, hiệu suất nhiệt cao bằng hoặc hơn. Với nhiệt độ lớn hơn 90 °C thì các thông số trên không còn tốt nữa.
- Sấy nóng khí nạp giúp cho quá trình hòa trộn và bay hơi giữa không khí và n heptan của nạp tốt hơn, hình thành hỗn hợp đồng nhất trước khi đưa vào xi lanh, động cơ HCCI được thiết lập đã hoạt động khá ổn định và quá trình cháy HCCI khá tốt ở nhiệt độ 50°C đến 80°C, không nên tăng nhiệt độ sấy quá 90°C.
- Thời điểm bắt đầu cháy sớm dần khi nhiệt độ sấy nóng khí nạp tăng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, (2018), McGraw-Hill Education, New York, United States.
- [2]. R.H. Thring, Homogeneous-charge compression ignition (HCCI) engines, In 1989 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition, SAE Technical Paper 892068. SAE International, Baltimore, Maryland, USA, September, 1989. <https://doi.org/10.4271/892068>
- [3]. H. Ma, H. Xu, J. Wang, T. Schnier, B. Neaves, C. Tan, Z. Wang, Model-Based Multiobjective Evolutionary Algorithm Optimization for HCCI Engines, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 64 (2015) 4326-4331. <https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2362954>
- [4]. X. Han, P. Divekar, M. Zheng, J. Tjong, Empirical investigation and control-oriented modeling of n-butanol HCCI for improving combustion controllability, Fuel, 280 (2020) 118551. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118551>
- [5]. Z. Zheng, M Xia, H. Liu, R. Shang, G. Ma, M Yao, Experimental study on combustion and emissions of n-butanol/biodiesel under both blended fuel mode and dual fuel RCCI mode, Fuel, 226(2018) 240-251. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.151>
- [6]. G. R. Gawale, G. N. Srinivasulu, Experimental investigation of propanol dual fuel HCCI engine performance: Optimization of propanol mass flow rate, impact of butanol blends (B10/B20/B30) as fuel substitute for diesel, Fuel, 279 (2020) 118535. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118535>
- [7]. S. Cho, D. L. Pintor, Understanding the effects of doping a regular E10 gasoline with EHN in an HCCI engine: Experimental and numerical study, Fuel, 329 (2022) 125456. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125456>
- [8]. U. P. Nayak, F. Mücklich, M. A. Guitar, Interplay between the microstructure and tribological performance of a destabilized 26 wt% Cr HCCI: The influence of temperature and heating rate, Tribology International, 185 (2023) 108532. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108532>
- [9]. M. Alrbai, S. Al-Dahidi, M. Abusorra, Investigation of the main exhaust emissions of HCCI engine using a newly proposed chemical reaction mechanism for biogas fuel, Case Studies in Thermal Engineering, 26 (2021) 100994. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100994>

- [10]. K. Banke, D. Freund, B. Atakan, S.n A. Kaiser, Evaluation of fuel additives for HCCI engines operated on fuel-rich methane/air mixtures: DME, DEE, and n-heptane, *Applications in Energy and Combustion Science*, 13 (2023) 100112. <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2023.100112>
- [11]. S. M. S. Ardebili, H. Solmaz, A. Calam, D. Ipci, Modelling of performance, emission, and combustion of an HCCI engine fueled with fusel oil-diethylether fuel blends as a renewable fuel, *Fuel*, 290(15) (2021) 120017. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120017>
- [12]. AVL 5402.030 engine manual, edition 2024