

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ SỐ NÉN Ở ĐỘNG CƠ MỘT XYLANH KHI SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU CNG HÌNH THÀNH HỖN HỢP BÊN NGOÀI

A STUDY ON THE EFFECT OF COMPRESSION RATIO IN PORT INJECTION SINGLE CYLINDER ENGINE USING CNG FUEL

*TS. Trần Đăng Quốc, PGS. TS. Khổng Vũ Quảng, ThS. Nguyễn Đức Khánh*

*Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội*

*TS. Nguyễn Tuấn Nghĩa, KS. Nguyễn Thành Vinh, ThS. Nguyễn Phi Trường*

*Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*

*ThS. Vũ Thị Phương*

*Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định*

*Email: quoc.trandang@hust.edu.vn*

## Tóm tắt

Bài báo này trình bày một nghiên cứu về tỷ số nén ở động cơ một xy lanh nhiên liệu CNG hình thành hỗn hợp bên ngoài, kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng thay đổi tỷ số nén đã cải thiện được hiệu suất nhiệt không những ở chế độ tải lớn mà còn cả ở chế độ tải cục bộ. Nguyên nhân chính để cải thiện được hiệu suất nhiệt ở tải cục bộ là do giảm được phần nhiệt lượng do khí xả mang đi mà không làm thay đổi nhiệt lượng truyền cho nước làm mát. Nhưng nguồn gốc của vấn đề này chính là do sự giãn nở và sinh công triệt để hơn của phần khí cháy trong xy lanh động cơ so với động cơ có tỷ số nén cố định. Tỷ số nén giới hạn được tìm thấy từ nghiên cứu này là  $\epsilon_{gh} = 15$  khi chỉ số Ôc-tan yêu cầu xấp xỉ  $ON = 130$ , giá trị tỷ số nén giới hạn này sẽ là cơ sở đầu tiên để thiết kế hệ thống thay đổi tỷ số nén.

**Từ khóa:** *Tỷ số nén thay đổi, động cơ một xy lanh, nhiên liệu CNG, hình thành hỗn hợp bên ngoài, chỉ số Ôc-tan, tỷ số nén giới hạn.*

## Abstract

This study presents a investigated research on CNG engine with port injection when changing compression ratio, obtained results have indicated that thermal efficiency is improved remarkably not only high load but also partial load. The cause of better thermal efficiency is due to the heat loss portion of exhaust is reduced without varying heat portion of cooling water. But the main cause of this improvement can be traced back to the expanded work of combustion gases into cylinder, it is better than compared conventional engine. The limited compression ratio is found out  $\epsilon_{gh} = 15$  with Octane number is calculated  $ON = 130$ , the value of limited compression ratio was one of the first database to design varying compression ratio system.

**Keywords:** *Varying compression ratio, single cylinder engine, CNG fuel, port injection, octane number, limited compression ratio.*

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Lý thuyết đã chỉ ra rằng hệ số khí sót ( $\gamma_r$ ) tỷ lệ nghịch với tỷ số nén ( $\epsilon$ ) và tỷ lệ thuận với hệ số nạp ( $\eta_v$ ), vì vậy khi tăng tỷ số nén của động cơ cải thiện được chất lượng quá trình nạp như: giảm được hệ số khí sót, tăng đồng thời được hệ số nạp và nhiệt độ cuối quá trình nạp. Từ đây có thể suy ra rằng tăng tỷ số nén sẽ tăng được hiệu suất nhiệt ( $\eta_t$ ), hiệu suất chi thị ( $\eta_i$ ), đồng thời tăng được cả công suất lít ( $N_L$ ) và công suất trên đơn vị diện tích đỉnh piston ( $N_F$ ) của động cơ [1]. Một ưu điểm nữa khi tăng tỷ số nén đó là cải thiện được hiệu suất nhiệt ở vùng tải nhỏ, thêm vào đó là các khí cháy sẽ giãn nở và sinh công càng triệt để hơn so với động cơ có tỷ số nén cố định, do vậy giảm được phần nhiệt lượng đem theo khí xả mà không làm thay đổi nhiệt lượng

truyền cho nước làm mát. Tuy nhiên khi tăng tỷ số nén, sẽ làm tăng xu hướng tự bốc cháy của phần hỗn hợp ở khu vực cách xa cực bugi. Thậm chí phần hỗn hợp này sẽ tự bốc cháy trước khi màng lửa từ bugi lan tới và tạo ra hiện tượng kích nổ nếu một trong hai điều kiện về bốc cháy được thỏa mãn [2]. Hiện tượng kích nổ xảy ra dữ dội và lâu dài sẽ làm phá hủy xy lanh-piston-xéc măng của động cơ, vì vậy sử dụng nhiên liệu có trị số Octan cao sẽ là tiền đề để tăng tỷ số nén và giảm xu hướng kích nổ.

CNG là nhiên liệu thân thiện với môi trường, chiếm thể tích chỉ bằng 1/200 so với khí thiên nhiên ở điều kiện bình thường. Sản phẩm sau khi đốt cháy CNG trong xy lanh động cơ có thể làm giảm đến 93% lượng CO<sub>2</sub>, 33% lượng NO, 50% lượng H-C và chỉ thải ra một lượng vô cùng nhỏ các chất thải dạng hạt (PM) khi so sánh với động cơ xăng. Một ưu điểm nữa cũng cần phải tính đến đó là giá thành CNG rẻ hơn xăng khoảng 15% đến 30% và có tính ổn định hơn trong thời gian dài so với giá các sản phẩm dầu mỏ khác [3]. Ở nước ta hiện nay, hầu hết các động cơ hình thành hỗn hợp bên ngoài chủ yếu sử dụng nhiên liệu xăng, để chuyển đổi từ nhiên liệu xăng sang sử dụng nhiên liệu CNG cần phải thực hiện các nghiên cứu cơ bản một cách tỷ mỉ. Các giải pháp kỹ thuật phục vụ nghiên cứu cơ bản đều hướng đến đồng thời hai tiêu chí đó là nâng cao tính kinh tế và giảm khí phát thải ở động cơ sử dụng nhiên liệu CNG [4]. Ba xu hướng nghiên cứu cơ bản có thể liệt kê như: nghiên cứu mô phỏng, nghiên cứu thực nghiệm và nghiên cứu mô phỏng kết hợp thực nghiệm. Nghiên cứu thực nghiệm là sử dụng các giải pháp kỹ thuật để tăng tốc độ lan truyền màng lửa của hỗn hợp CNG – không khí nhằm hạn chế sự truyền nhiệt sang thành vách xy lanh [5,6,7]. Nghiên cứu mô phỏng kết hợp thực nghiệm là để làm rõ hơn các kết quả thực nghiệm, sự kết hợp này sẽ khẳng định được hiện tượng thực tế làm ảnh hưởng đến xu hướng kết quả đồng thời giảm được số lần thử nghiệm [8]. Cho đến nay, nghiên cứu mô phỏng theo định hướng làm cơ sở ban đầu để thực hiện nhiệm vụ thiết kế là chưa có hoặc rất khó khăn để tìm thấy ở nước ta. Bài báo này sẽ trình bày một nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ số nén đến các thông số làm việc của động cơ, tỷ số nén giới hạn tìm được từ kết quả mô phỏng sẽ là cơ sở để tiến hành thiết kế hệ thống thay đổi tỷ số nén vô cấp trang bị trên động cơ nghiên cứu một xy lanh sử dụng nhiên liệu CNG.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG CƠ VÀ ĐIỀU KIỆN THỬ NGHIỆM

### 2.1. Xây dựng mô hình động cơ

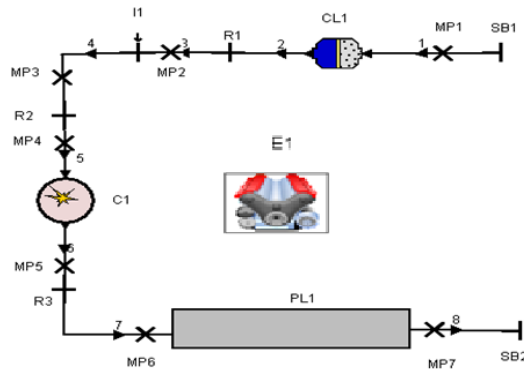
Mô hình động cơ được xây dựng dựa trên cơ sở đặc điểm kết cấu và các thông số của động cơ thực tế, việc mô tả chi tiết cho từng phần tử trong mô hình được lựa chọn theo đặc điểm kết cấu của động cơ. Tiến hành xây dựng mô hình theo đúng thứ tự như bảng 1 và phải đặt các phần tử mô phỏng trong khu vực làm việc trên màn hình, sau đó kết nối chúng bằng các đường ống như ở hình 1. Tuy nhiên do phần mềm AVL Boost chỉ mô phỏng 1 chiều nên tỷ số nén giới hạn sẽ được tính thông qua hàm số tính trị số Octan yêu cầu (ON):

$$ON = 100 \times \left( \frac{1}{A} \int_{t_{SOC}}^{t_{85\%MBF}} \left[ \left( \frac{P}{P_{Ref}} \right)^n \times \exp \left( -\frac{B}{T_{ubz}} \right) \right] dt \right)^{\frac{1}{a}}$$

Bảng 1. Các phần tử trong mô hình

Tên phần tử	Kí hiệu	Số lượng
Động cơ	E	1
Xy lanh	C	1
Lọc gió	CL	1

Vòi phun	I	1
Bình tiêu âm	PL	1
Các điểm đo	MP	6
Phần tử cản	R	3
Điều kiện biên	SB	2
Các đường ống		8



Hình 1. Mô hình mô phỏng động cơ

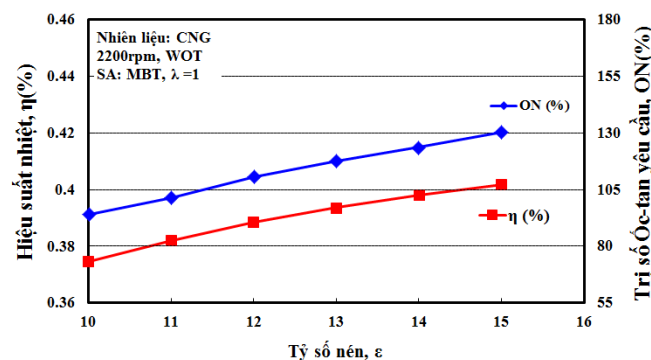
## 2.2. Điều kiện thử nghiệm mô phỏng

Mục đích của thí nghiệm là khảo sát ảnh hưởng của tỷ số nén đến đặc tính kỹ thuật của động cơ nhiên liệu CNG hình thành hỗn hợp bên ngoài. Để đạt được mục đích này, thí nghiệm sẽ được tiến hành ở các điều kiện như sau:

- + Tốc độ động cơ giữ cố định ở 2200 v/ph khi công suất động cơ có xu hướng giảm sau khi đạt giá trị cực đại.
- + Lambda giữ cố định tại giá trị  $\lambda = 1$  để hỗn hợp nhiên liệu CNG với không khí gần sát với điều kiện lý thuyết (*Stoichiometric*) trong suốt quá trình chạy mô hình mô phỏng.
- + Góc đánh lửa liên tục được thay đổi để tìm ra giá trị mô men lớn nhất (MBT) trong khi đó vị trí bướm ga được mở hoàn toàn (WOT).
- + Tỷ số nén sẽ được thay đổi từ  $\epsilon = 10$  đến tỷ số nén giới hạn ( $\epsilon_{gh}$ ), đối với thực nghiệm  $\epsilon_{gh}$  được hiểu là tỷ số nén tại đó bắt đầu xảy ra hiện tượng kích nổ nhẹ. Trong trường hợp mô phỏng bằng AVL Boost,  $\epsilon_{gh}$  được hiểu là khi giá trị ON xuất ra xấp xỉ bằng 130.

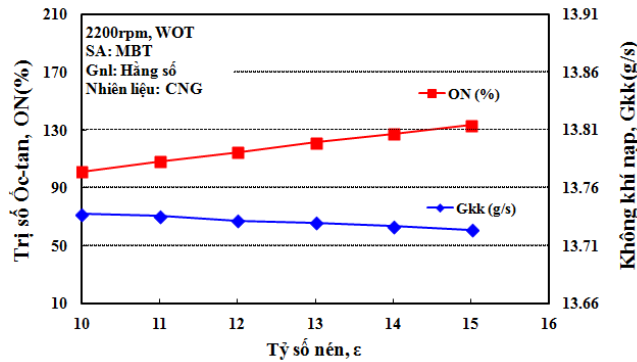
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của tỷ số nén đến trị số Ôc-tan yêu cầu



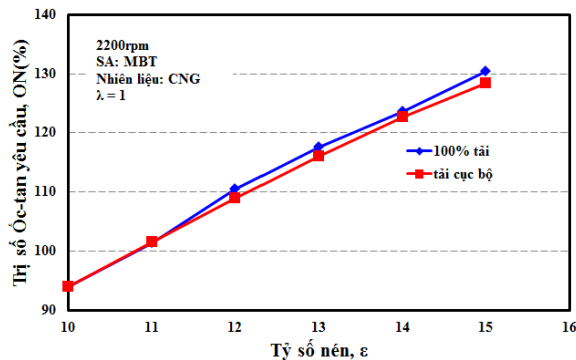
Hình 2. Ảnh hưởng của tỷ số nén đến hiệu suất nhiệt và trị số Ôc-tan

Hình 2 trình bày hiệu suất nhiệt ( $\eta$ ) và trị số ố tan yêu cầu (ON) như là những hàm số khi tỷ số nén ( $\epsilon$ ) thay đổi ở điều kiện mô phỏng như: tốc độ động cơ 2200 vòng/phút,  $\lambda = 1$ , góc đánh lửa tối ưu (SA: MBT), bướm ga mở hoàn toàn (WOT). Hiệu suất nhiệt có xu hướng tăng khi tăng tỷ số nén, xu hướng này làm quá trình cháy được cải thiện đáng kể, sản vật cháy sẽ giãn nở và sinh công triệt để hơn do vậy giảm được phần nhiệt lượng đem theo khí xả mà không làm thay đổi nhiệt lượng truyền cho nước làm mát. Xu hướng tăng của trị số Ốc-tan yêu cầu cho thấy nguy cơ xảy ra hiện tượng kích nổ cũng tăng dần theo tỷ số nén, hay nói cách khác sự gia tăng tỷ số nén đã gián tiếp tác động đến nhiệt độ và áp suất của hỗn hợp trong xy lanh tiệm cận tới điều kiện tự bốc cháy. Giá trị Ốc-tan yêu cầu tăng dần và đạt tới trị số Ốc-tan nghiên cứu ON = 130, điều này có nghĩa rằng tỷ số nén giới hạn ( $\epsilon_{gh}$ ) đã được xác định tại  $\epsilon = 15$ . Để làm rõ ảnh hưởng của tỷ số nén đến giá trị Ốc-tan yêu cầu, động cơ mô phỏng sẽ được điều chỉnh để lượng nhiên liệu cấp là không đổi khi tăng tỷ số nén trong khoảng  $\epsilon = 10 \div 15$ .



Hình 3. Sự thay đổi của trị số Ốc-tan và lượng không khí nạp khi tăng tỷ số nén

Giá trị Ốc-tan yêu cầu vẫn có xu hướng tăng khi tăng tỷ số nén, tuy nhiên tốc độ tăng của Ốc-tan yêu cầu được thể hiện trên hình 3 nhanh hơn so với trường hợp  $\lambda = 1$ , tại giá trị  $\epsilon = 15$  có ON lớn hơn 130. Tuy nhiên như đã thấy trên hình vẽ, lưu lượng không khí nạp lại có xu hướng giảm khi lưu lượng nhiên liệu cấp được giữ nguyên không đổi. Sự khác biệt này so với lý thuyết là bởi vì thể tích buồng cháy  $V_c$  giảm nhanh hơn so với sự suy giảm của hệ số khí sót ( $\gamma_r$ ) khi tăng tỉ số nén. Nói cách khác Ảnh hưởng của thể tích buồng cháy  $V_c$  đến lưu lượng không khí nạp lớn hơn so với việc giảm lượng khí sót.



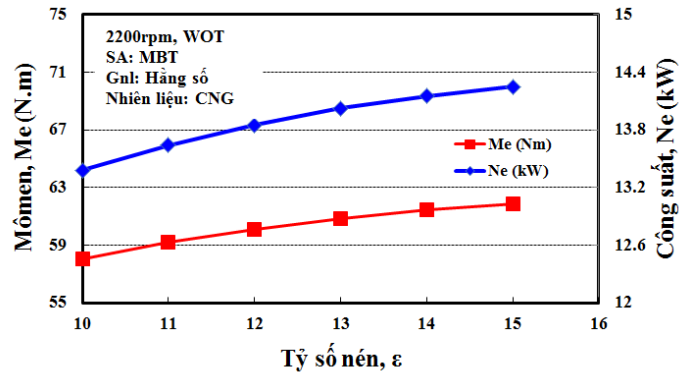
Hình 4. Sự thay đổi của trị số Ốc-tan

Hình 4 trình bày sự thay đổi của trị số ốc-tan và tỉ số nén ở chế độ toàn tải và tải cục bộ với điều kiện làm việc của động cơ:  $n = 2200$  vòng/phút, góc đánh lửa tối ưu. Như kết quả thể hiện trên hình vẽ, trị số ốc-tan yêu cầu tăng khi mà tỉ số nén tăng bất kể là ở điều kiện tải nào. Tuy

nhiên trị số ôc-tan ở chế độ toàn tải lớn hơn trị số ôc-tan so với chế độ tải cục bộ với tỉ số nén từ 11÷15. Trị số ôc-tan yêu cầu nói lên khả năng kích nổ khi động cơ làm việc ở tỉ số nén cao, kết quả trình bày trên hình vẽ đã chỉ ra rằng tại chế độ tải nhỏ việc tăng tỉ số nén sẽ giúp tăng được hiệu suất nhiệt từ đó cải thiện tốt các thông số chỉ thị của động cơ đặc biệt là động cơ sử dụng nhiên liệu có trị số ôc tan cao.

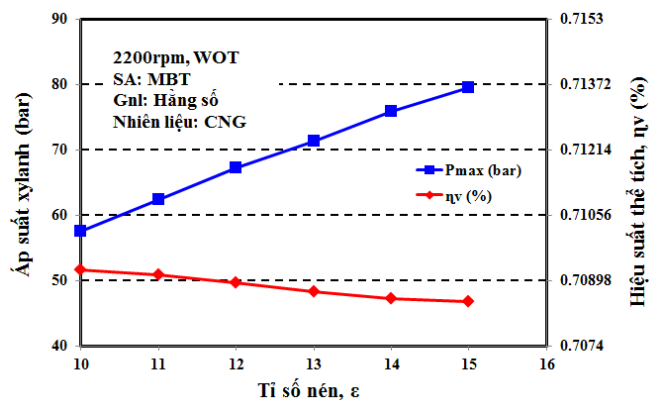
Từ các kết quả trên có thể thấy rằng ảnh hưởng của tỉ số nén đến động cơ nhiên liệu CNG hình thành hỗn hợp bên ngoài là rất mạnh và điều này cần phải được xem xét một cách tỉ mỉ ở các điều kiện làm việc khác nhau.

### 3.2 Cải thiện hiệu suất làm việc bằng tỉ số nén



Hình 5. Sự thay đổi của công suất và mô men theo tỉ số nén

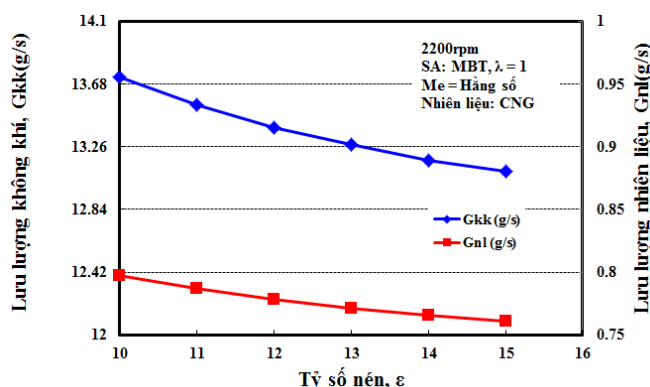
Hình 5 thể hiện sự thay đổi của công suất ( $N_e$ ) và mô men ( $M_e$ ) khi tăng tỉ số nén ở điều kiện:  $n = 2200$  v/ph và bơm ga mở hoàn toàn (WOT), nhiên liệu cấp cho một chu trình là hằng số ( $G_{nl} = \text{Hằng số}$ ) và góc đánh lửa tối ưu để đạt mô men lớn nhất (SA:MBT). Quan sát trên hình vẽ có thể dễ dàng nhận thấy rằng công suất và mô men đều có xu hướng tăng khi tăng tỉ số nén. Công suất của động cơ tăng khi mà lượng nhiên liệu cấp là như nhau ở mọi tỉ số nén là một tín hiệu tốt của động cơ thay đổi tỉ số nén, sự tăng của công suất là do áp suất trong xy lanh tăng, lượng khí sót và lượng không khí nạp giảm đồng thời. Tuy nhiên sự tăng của mô men chủ yếu là do sự gia tăng của hiệu suất nhiệt đã bù đắp được sự suy giảm của hiệu suất nạp khi tăng tỉ số nén. Thêm vào đó lượng không khí nạp vào trong xy lanh động cơ có xu hướng giảm sẽ làm cho hỗn hợp trong xy lanh đậm đặc khi tăng tỉ số nén, nhờ vậy tốc độ tỏa nhiệt phần nào cũng được cải thiện và kết quả là mô men động cơ được tăng lên bất kể là hệ số nạp có thể giảm.



Hình 6. Sự thay đổi của áp suất lớn nhất trong xy lanh và hiệu suất thể tích

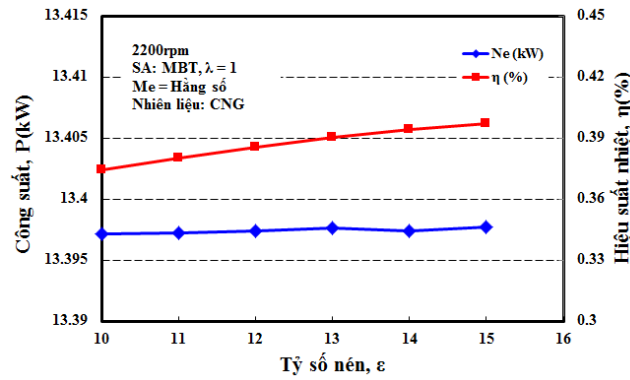
Hình 6 thể hiện sự thay đổi của áp suất lớn nhất trong xy lanh và hiệu suất thể tích ( $\eta_v$ ) khi tỉ số nén thay đổi tại điều kiện làm việc của động cơ:  $n = 2200$  v/ph và toàn tải, nhiên liệu cấp cho một chu trình là hằng số và góc đánh lửa tối ưu. Hiệu suất thể tích là hệ số nạp môi chất mới ở cuối kỳ nạp, kết quả trên hình vẽ đã cho thấy xu hướng của hệ số nạp ( $\eta_v$ ) là giảm khi tăng tỉ số nén. Kết quả này không những đã khẳng định được rằng ảnh hưởng của thể tích buồng cháy ( $V_c$ ) đến các thông số của quá trình nạp là rất lớn, mà còn chỉ rõ ảnh hưởng của tỉ số nén đến áp suất trong xy lanh động cơ còn lớn hơn. Như đã thấy trên hình vẽ, khi tăng tỉ số nén làm cho áp suất lớn nhất trong xy lanh tăng rất nhanh, đây là một trong những nguyên nhân chính làm cho hiện tượng kích nổ xảy ra trong thực tế hoặc làm cho trị số Ôc-tan yêu cầu nhanh tiến đến giá trị RON = 130 trong mô phỏng. Để hiểu rõ hơn về sự thay đổi của các thông số làm việc của động cơ ta tiến hành khảo sát động cơ ở chế độ tải cố định.

Hình 7 thể hiện sự thay đổi của lưu lượng không khí nạp ( $G_{kk}$ ) và lưu lượng nhiên liệu ( $G_{nl}$ ) như là những hàm nghịch biến theo tỉ số nén tại chế độ làm việc của động cơ: chế độ làm việc của động cơ:  $n = 2200$  v/ph, tải cố định ( $Me =$  Hằng số) và góc đánh lửa tối ưu (SA: MBT),  $\lambda = 1$ . Cả lưu lượng không khí nạp ( $G_{kk}$ ) và lưu lượng nhiên liệu ( $G_{nl}$ ) đều có xu hướng giảm, nhưng tốc độ giảm của  $G_{kk}$  lại nhanh hơn so với  $G_{nl}$ . Xu hướng giảm của  $G_{kk}$  và  $G_{nl}$  là do động cơ mô phỏng luôn làm việc ở giá trị  $\lambda = 1$  nên sự biến thiên của lưu lượng không khí và lưu lượng nhiên liệu là giống nhau, tuy nhiên ảnh hưởng của xu hướng này đến khả năng làm việc của động cơ sẽ được xem xét và đánh giá bởi các thông số khác nhau.



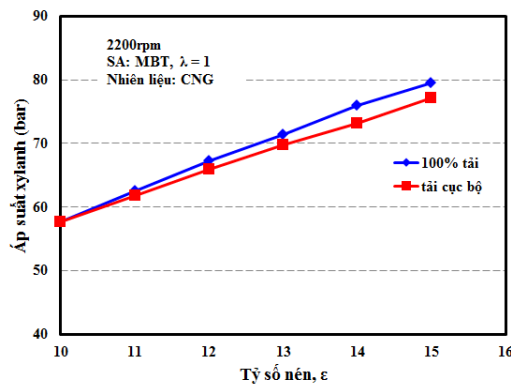
Hình 7. Sự thay đổi của lưu lượng không khí và nhiên liệu

Hình 8 thể hiện sự thay đổi của công suất ( $N_e$ ) và hiệu suất nhiệt ( $\eta$ ) khi tỉ số nén thay đổi ở chế độ làm việc của động cơ:  $n = 2200$  v/ph, tải cố định ( $Me =$  Hằng số) và góc đánh lửa tối ưu (SA: MBT),  $\lambda = 1$ . Quan sát trên hình vẽ có thể dễ dàng nhận ra rằng hiệu suất nhiệt của động cơ và công suất động cơ có cùng xu hướng tăng khi tăng tỉ số nén, nhưng mức độ tăng của công suất là rất nhỏ so với hiệu suất nhiệt. Công suất động cơ có sự gia tăng rất nhỏ ngay cả khi lượng khí nạp mới trong xy lanh giảm, nguyên nhân là do hiệu suất nhiệt của động cơ tăng bởi sự cải thiện đáng kể quá trình cháy theo hướng. Nhưng nguyên nhân chính có thể suy ra là do các khí đã cháy giãn nở triệt để và bù đắp được sự suy giảm của hệ số nạp khi tỉ số nén tăng. Kết quả này giúp khẳng định chắc chắn rằng việc tăng tỉ số nén cải thiện được đáng kể chất lượng động cơ khi làm việc ở vùng tải cục bộ.



Hình 8. Sự thay đổi của công suất và hiệu suất nhiệt

Hình 9 chỉ ra sự chênh lệch áp suất lớn nhất trong xylanh ở chế độ toàn tải và tải cục bộ khi tỉ số nén thay đổi tại  $n = 2200$  vòng/phút, góc đánh lửa tối ưu. Đối với tải cục bộ khi tăng tỷ số nén, áp suất lớn nhất trong xylanh có xu hướng tăng giống như trường hợp động cơ mô phỏng làm việc ở chế độ 100% tải. Kết quả này đã khẳng định rằng tăng tỷ số nén đã cải thiện được chất lượng làm việc của động cơ ở vùng tải nhỏ như tăng được hiệu suất nhiệt của động cơ mà không cần phải cấp thêm nhiên liệu.



Hình 9. Sự thay đổi của áp suất lớn nhất trong xylanh

#### 4. KẾT LUẬN

Sử dụng phần mềm AVL Boost như là công cụ hỗ trợ hiệu quả trong nghiên cứu thiết kế và phát triển động cơ một xylanh nhiên liệu CNG hình thành hỗn hợp ngoài, dựa vào các kết quả mô phỏng thu được có thể rút ra các kết luận như sau:

Tăng tỉ số nén cải thiện được chất lượng làm việc của động cơ CNG hình thành hỗn hợp ngoài ở vùng tải nhỏ, bởi vì hiệu suất nhiệt tăng lên đáng kể và bù đắp được sự suy giảm của hệ số nạp. Nguyên nhân chính của sự bù đắp này là do sự giãn nở triệt để của các khí cháy trong xylanh động cơ mà không làm tăng tổn thất nhiệt cho thành vách xylanh và nước làm mát. Tỉ số nén giới hạn đối với động cơ mô phỏng là  $\epsilon_{gh} = 15$  khi mà trị số Ôc-tan yêu cầu đạt tới giá trị ON = 130.

Ảnh hưởng của hiệu suất nhiệt đến công suất động cơ nhiều hơn so với mô men, nhưng hiệu suất nạp ảnh hưởng đến công suất và mô men động cơ là nhiều hơn so với hiệu suất nhiệt khi động cơ làm việc ở tốc độ 2200 vòng/phút và  $\lambda = 1$ .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Tất Tiến, “Nguyên lý động cơ đốt trong”, Nhà xuất bản Giáo dục - 2000.
- [2]. Tran Dang Quoc, Daewoo Nam, JongTai Lee, “A study on compression ratio of CNG engine with early direct injection”, KSAE 2008. 11.
- [3]. <https://www.pvgas.com.vn/san-pham-va-dich-vu/dich-vu/chuyen-doi-dong-co-thanh-dong-co-chay-khi>.
- [4]. Tran Dang Quoc, Kwangju Lee, Changhee Byun, Daewoo Nam, JongTai Lee, “Experimental Study to Expand the Lean Limit for Heavy-Duty Direct Injection Natural Gas Spark Fueled Spark Ignition engine”, KSAE 2010.11.
- [5]. Trần Đăng Quốc, Nguyễn Đức Khánh, Đinh Xuân Thành, “A Study on Inceasable Mixing Duration in Direct Injection Natural Gas Fueled Spark Ignition Engine by Auxiliary Injection”, Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí Toàn quốc năm 2013.
- [6]. Tran Dang Quoc, JongTai Lee, “Experimental Investigation on Combining Auxiliary Injection with Supercharging in Direct Injection Natural Gas Spark-Ignition Engine”, The 3<sup>rd</sup> international conference on sustainable energy, “Rise Towards a Green Future”, Ho Chi Minh, Vietnam, October 29-30, 2013. ISBN: 978-604-73-1990-9.
- [7]. Tran Dang Quoc, “Effects of High Power and Thermal Efficiency on Lean Limit in Direct Injection Natural Gas Fueled Spark Ignition Engine”, International Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering, ISSN2348-0157, Vol. 03, No. 01, January 2015.
- [8]. Bùi Xuân Trường, Trần Đăng Quốc, Khổng Vũ Quảng, Trần Thị Thu Hương, Trần Thanh Tâm, Đoàn Thị Lê Nhung, “Phân tích đặc tính kỹ thuật của động cơ nhiên liệu khí thiên nhiên nén (CNG) phun trên đường nạp với sự trợ giúp của phần mềm AVL Boost”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ số 27, tháng 4, 2015, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, ISSN 1859-3585.