

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG TÍNH NĂNG KINH TẾ, KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI ĐỘC HẠI CỦA ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU BIOGAS CHUYỂN ĐỔI TỪ ĐỘNG CƠ DIESEL

A SIMULATION STUDY ON PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTIC OF BIOGAS ENGINE CONVERTED FROM CONVENTIONAL DIESEL ENGINE

Trần Công Minh^{1*}, Nguyễn Đức Khánh¹,
Nguyễn Phi Trường^{1,2}

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá đặc tính làm việc và phát thải của động cơ khi sử dụng nhiên liệu khí sinh học trên phần mềm mô phỏng AVL Boost. Mô hình động cơ diesel nguyên bản được điều chỉnh bằng cách giảm tỷ số nén và thay đổi cách thức hình thành hỗn hợp và nhiên liệu để có thể làm việc với biogas. Các thông số làm việc của động cơ như lưu lượng khí nạp, mô men, công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và các thành phần phát thải độc hại được xác định. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi sử dụng nhiên liệu biogas thì thành phần phát thải độc hại NO_x giảm mạnh trong khi đó thành phần phát thải CO tăng so với trường hợp sử dụng nhiên liệu diesel. Tính năng kỹ thuật của động cơ như công suất có ích giảm so với trường hợp sử dụng nhiên liệu diesel tuy nhiên suất tiêu hao nhiên liệu được cải thiện. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến tính năng làm việc của động cơ khi sử dụng nhiên liệu biogas cũng được đánh giá. Đối với động cơ biogas thì khoảng điều chỉnh góc đánh lửa sớm tối ưu được xác định từ nghiên cứu này là 11 đến 19 độ trước điểm chết trên.

Từ khóa: Nhiên liệu thay thế, khí sinh học, góc đánh lửa sớm.

ABSTRACT

This paper presents a simulation study on performance and emission characteristic of a biogas engine by thermodynamic simulation software AVL Boost. The original model of diesel engine was modified to reduce compression ratio and mixture formation in order to operate with biogas fuel. The engine operating parameters including air flow, brake torque and power, fuel consumption and emissions were determined. The simulation results show that, when operating with biogas, the NO_x emission reduces significantly while the CO emission increases compared to the case of diesel engine. The engine performance as brake power reduces when the engine was simulated with biogas, however, the fuel economy tends to improve. The effect of ignition timing on engine performance was also evaluated. The results show that the optimized value of ignition timing for the biogas engine should be adjusted between 11 to 19 crank angle bTDC.

Keywords: Alternative fuel, biogas, ignition timing.

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: minh.tc972806@gmail.com

Ngày nhận bài: 12/5/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/10/2021

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Để đáp ứng nhu cầu sử dụng nhiên liệu ngày càng cao và yêu cầu về giảm phát thải độc hại do các nguồn động lực sử dụng động cơ đốt trong sinh ra, việc sử dụng nhiên liệu khí sinh học biogas là một lựa chọn phù hợp. Khí sinh học biogas hay còn gọi là nhiên liệu khí ga được sản xuất từ quá trình phân hủy yếm khí các chất thải nông nghiệp. Thành phần chính của biogas là CH₄ (50 ÷ 70%) và CO₂ (30%) còn lại là các chất khác như hơi nước, N₂, O₂, H₂S và CO [1-3]. Khí biogas có nhiệt trị khoảng 23,400kJ/m³, trị số Octance (RON) khoảng 130, do đó khí biogas có thể được sử dụng làm nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu xăng/diesel truyền thống. Nhiều nghiên cứu trong nước liên quan tới chuyển đổi động cơ truyền thống sang sử dụng biogas hay nâng cao chất lượng nhiên liệu đã được thực hiện [4-7]. Các nghiên cứu trong và ngoài nước [8-10] cho thấy, sử dụng nhiên liệu biogas làm giảm đáng kể phát thải độc hại so với sử dụng nhiên liệu truyền thống. Nhiên liệu tồn tại ở dạng khí nên không gặp khó khăn trong quá trình động cơ khởi động lạnh. Suất tiêu hao nhiên liệu cũng được cải thiện đáng kể dù công suất động cơ có xu hướng giảm.

Để rút ngắn thời gian và chi phí nghiên cứu chuyển đổi động cơ sử dụng nhiên liệu diesel sang biogas, việc nghiên cứu mô phỏng bằng các công cụ trên máy tính là rất cần thiết. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm AVL Boost về việc sử dụng nhiên liệu biogas trên động cơ được hoán cải từ động cơ diesel truyền thống. Phần mềm là công cụ mô phỏng chuyên sâu về động cơ đốt trong, có thể mô phỏng được chu trình nhiệt động của động cơ, tính toán được các thông số kinh tế, kỹ thuật của động cơ, xác định được các thành phần phát thải độc hại của động cơ thông qua các mô hình cháy hiện đại.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở cải tiến động cơ diesel sang động cơ biogas

Để sử dụng khí biogas làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong, tỷ số nén phù hợp của động cơ thường nhỏ hơn 16:1 để đảm bảo không xảy ra hiện tượng kích nổ. Tuy nhiên đối

với động cơ tăng áp khí nạp, tỷ số nén của động cơ chuyển đổi cần phải có giá trị thấp hơn nữa. Để có thể giảm tỷ số nén của động cơ có các phương án như cắt gọt đỉnh piston, tăng độ dày đệm nắp máy. Nếu có thể tính toán và lựa chọn được vị trí cắt gọt đỉnh piston phù hợp sẽ làm tăng độ xoáy lốc trong buồng cháy, giúp hỗn hợp hòa trộn tốt hơn, cải thiện chất lượng quá trình cháy. Tuy nhiên khi cắt gọt sẽ làm thay đổi khối lượng piston từ đó ảnh hưởng tới động lực của động cơ. Phương án tăng độ dày đệm nắp máy có nhiều ưu điểm như không ảnh hưởng nhiều đến kết cấu cơ khí khác trên động cơ, công cải tạo ít, giá thành phù hợp. Tuy nhiên, tăng độ dày đệm nắp máy phải đảm bảo được độ kín khít, tránh trường hợp rò rỉ dầu bôi trơn và nước làm mát gây hư hỏng động cơ.

Trong nghiên cứu này, phương án tối ưu để giảm tỷ số nén đó là tăng độ dày đệm nắp máy trong khi thông số về hình dạng buồng cháy của động cơ nguyên bản không thay đổi. Độ dày đệm được thêm chỉ phụ thuộc vào hành trình piston, tỷ số nén trước và sau khi cải tạo. Độ dày của đệm được tăng thêm phụ thuộc vào tỷ số nén sau cải tạo cũng như thông số kết cấu nguyên bản của động cơ. Khi đó, độ dày của đệm cần tăng thêm sẽ được xác định theo công thức (1):

$$a = S \cdot \frac{\epsilon - \epsilon_0}{(\epsilon - 1)(\epsilon_0 - 1)} \tag{1}$$

Trong đó, ϵ và ϵ_0 lần lượt là tỷ số nén trước và sau khi cải tạo (-), S hành trình piston (mm), a độ dày của đệm cần tăng (mm).

2.2. Thông số kỹ thuật và xây dựng mô hình động cơ

Quá trình nghiên cứu được thực hiện trên động cơ S6D108, thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ được trình bày trong bảng 1.

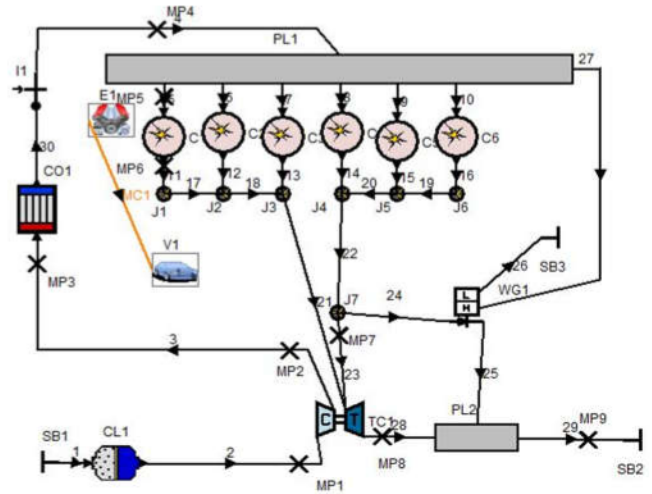
Bảng 1. Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ

Động cơ	S6D108
Kiểu động cơ	Diesel, 4 kỳ, tăng áp tua bin máy nén
Bố trí xy lanh - số xy lanh	Thẳng hàng - 6 xy lanh
Thứ tự nổ	1-5-3-6-2-4
Đường kính x hành trình (D x S)	108 x 130 (mm)
Thể tích công tác (cc)	7150
Tỷ số nén	17,5
Công suất max/tốc độ	121kW tại 2380v/ph
Mô men max/tốc độ	647Nm tại 1600v/ph

Theo kết quả nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm ảnh hưởng của tỷ số nén đến tính năng công tác của động cơ biogas [11], tỷ số nén tối ưu của động cơ biogas nằm trong khoảng từ 11,5 đến 12,5. Trong nghiên cứu này, tỷ số nén của động cơ sau cải tạo được chọn là 12,5. Do đó, theo phương trình (1), độ dày của đệm cần tăng thêm được tính xác định:

$$a = S \cdot \frac{\epsilon - \epsilon_0}{(\epsilon - 1)(\epsilon_0 - 1)} = 130 \cdot \frac{17,5 - 12,5}{(17,5 - 1)(12,5 - 1)} = 3,43\text{mm}$$

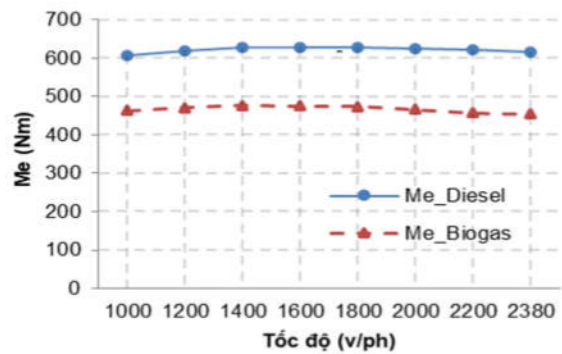
Trên cơ sở tính toán lựa chọn tỷ số nén sau cải tạo của động cơ và các thông số kỹ thuật cơ bản, mô hình mô phỏng của động cơ trên AVL Boost được thể hiện trên hình 1. Mô hình cháy của động cơ khi sử dụng nhiên liệu biogas là mô hình Vibe hai vùng.



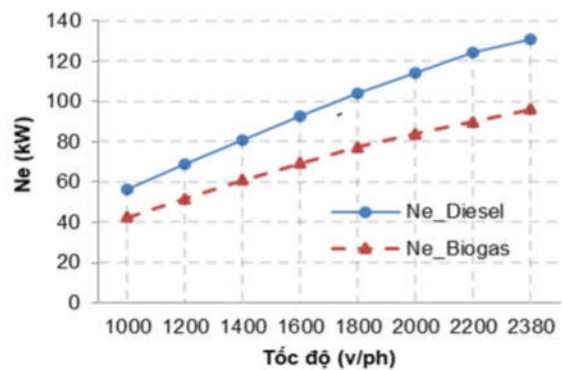
Hình 1. Mô hình động cơ S6D108 trên phần mềm AVL Boost

2.3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Từ kết quả mô phỏng, xác định được các giá trị lưu lượng khí nạp, công suất, mô men, suất tiêu hao nhiên liệu, áp suất và nhiệt độ trong xy lanh, phát thải độc hại của động cơ khi sử dụng nhiên liệu biogas so với các thông số này khi sử dụng nhiên liệu diesel ở các chế độ tốc độ với bướm ga mở hoàn toàn.



Hình 2. So sánh mô men của động cơ khi sử dụng diesel và biogas

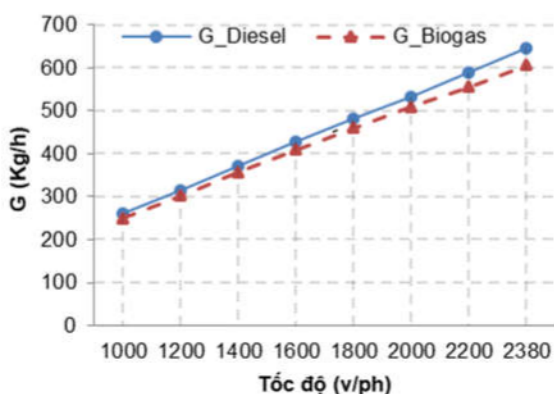


Hình 3. So sánh công suất của động cơ khi sử dụng diesel và biogas ở các tốc độ

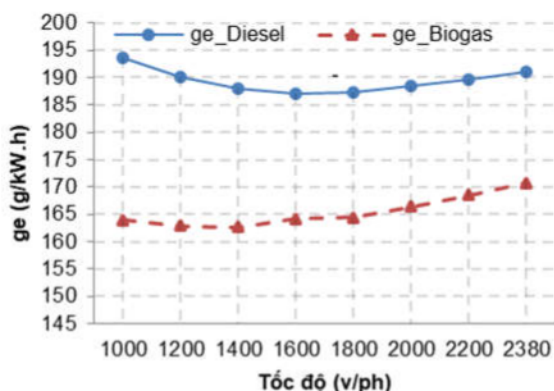
Hình 2 và 3 thể hiện mô men, công suất của động cơ ở chế độ tải từ tốc độ 1000v/ph đến 2380v/ph với hai loại nhiên liệu là diesel và biogas. Trên toàn dải tốc độ, công suất và mô men giảm từ 24% đến 27% khi sử dụng biogas.

Công suất và mô men giảm là do biogas được cấp vào đường nạp có thể tích lớn sẽ chiếm chỗ khí nạp, làm giảm khối lượng khí được nạp vào xy lanh từ đó giảm công suất cũng như mô men của động cơ. Hình 4 thể hiện lưu lượng khí nạp của động cơ theo tốc độ với hai nhiên liệu diesel và biogas, lưu lượng dòng khí nạp giảm trung bình khoảng 4,59% khi sử dụng nhiên liệu biogas.

Kết quả trên đồ thị hình 5 cho thấy, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ được cải thiện khi sử dụng nhiên liệu biogas so với nhiên liệu diesel, trung bình suất tiêu hao nhiên liệu giảm 13%.



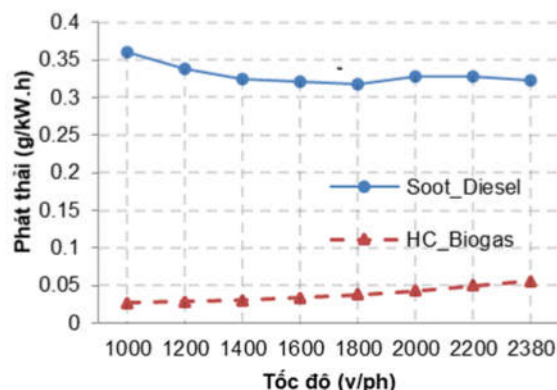
Hình 4. So sánh lưu lượng khí nạp khi sử dụng diesel và biogas



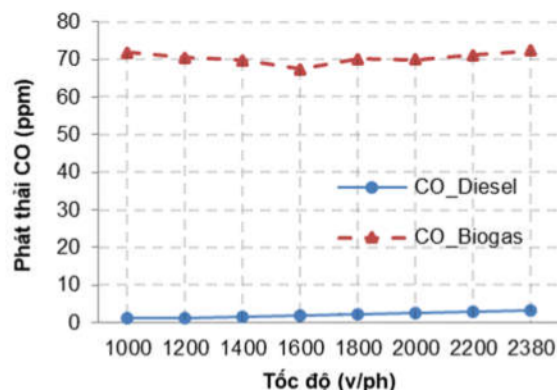
Hình 5. So sánh suất tiêu hao nhiên liệu khi sử dụng diesel và biogas

Hình 6 ÷ 8 thể hiện phát thải độc hại soot, HC, CO, NO_x của động cơ ở chế độ toàn tải và tốc độ thay đổi từ 1000v/ph đến 2380v/ph với hai loại nhiên liệu là diesel và biogas. Hình 6 cho thấy khi sử dụng biogas thì không còn phát thải soot mà sinh ra phát thải HC. Do soot được hình thành trong điều kiện dư thừa lượng không khí thấp và nhiệt độ cao, trong môi trường giàu nhiên liệu các axetylen được hình thành do sự phân hủy của các ankan mạch dài trong nhiên liệu diesel. HC được hình thành do sự hình thành hỗn hợp bên ngoài xy lanh và quá trình cháy diễn ra không hoàn toàn sẽ sinh ra phát thải HC. Ngoài ra HC còn

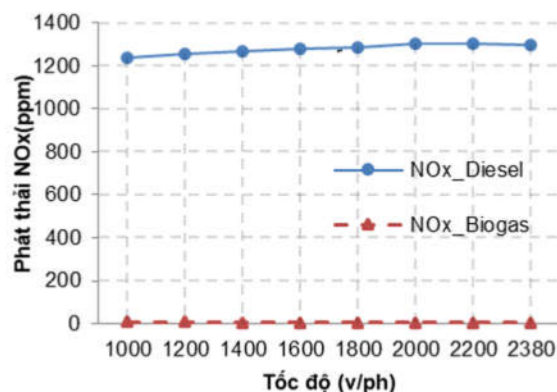
được tạo ra trong giai đoạn trùng điệp. Mặc dù sinh ra phát thải HC nhưng không còn phát thải soot và lượng phát thải HC sinh ra trung bình chỉ bằng 12% lượng phát thải soot.



Hình 6. So sánh phát thải soot và HC khi sử dụng diesel và biogas



Hình 7. So sánh phát thải CO khi sử dụng diesel và biogas

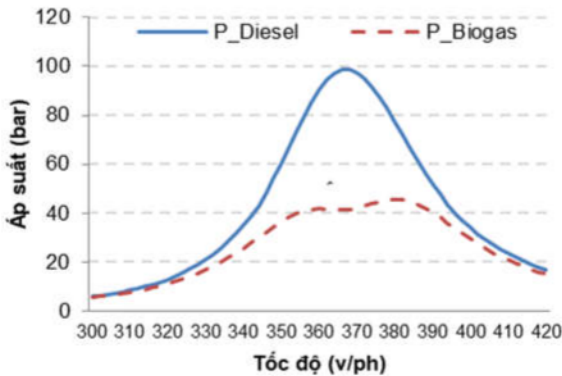


Hình 8. So sánh phát thải NO_x khi sử dụng diesel và biogas

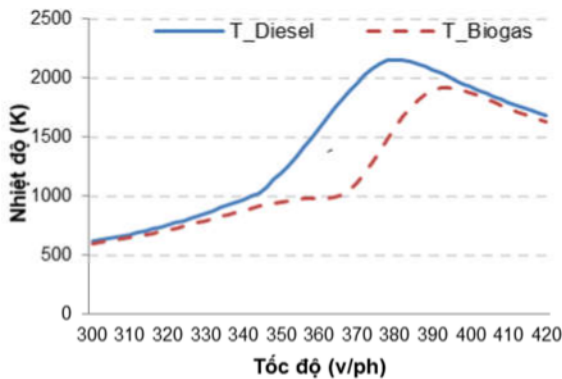
Kết quả trên đồ thị hình 7 cho thấy, lượng phát thải CO của động cơ cao hơn khi sử dụng nhiên liệu biogas so với nhiên liệu diesel, trung bình cao hơn 97%, lượng phát thải CO tăng trung bình 68ppm. Do hỗn hợp nhiên liệu có chứa nhiều vùng nhạt và sinh ra lượng phát thải HC cùng với quá trình cháy diễn ra không hoàn toàn, dẫn đến việc phát thải CO tăng cao.

Kết quả trên đồ thị hình 8 cho thấy, lượng phát thải NO_x của động cơ giảm mạnh khi sử dụng nhiên liệu biogas so

với nhiên liệu diesel, lượng phát thải NO_x giảm trung bình 1270ppm tương đương 99%. Phát thải NO_x giảm là do nhiệt độ cực đại trong quá trình cháy giảm, điều này được thể hiện rõ trên kết quả mô phỏng áp suất và nhiệt độ quá trình cháy (hình 9 và 10).



Hình 9. So sánh áp suất trong xy lanh khi sử dụng diesel và biogas ở tốc độ 1600v/ph



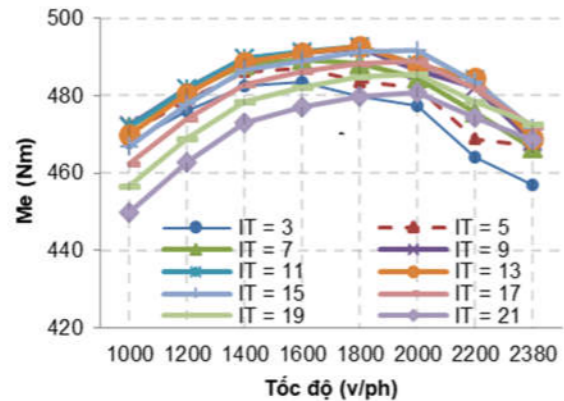
Hình 10. So sánh nhiệt độ trong xy lanh khi sử dụng diesel và biogas ở tốc độ 1600v/ph

Hình 9 cho thấy thông số áp suất trong xy lanh của biogas thấp hơn so với diesel. Áp suất cực đại khi sử dụng diesel là 99bar ở góc quay trục khuỷu 366 độ, với biogas là 46bar với góc quay trục khuỷu 380 độ. Hình 10 cho thấy thông số đốt cháy nhiệt độ trong xy lanh của biogas thấp hơn so với diesel. Nhiệt độ cực đại khi sử dụng diesel là 2155K ở góc quay trục khuỷu 380 độ, với biogas là 1917K ở góc quay trục khuỷu 394 độ. Có thể thấy khi sử dụng biogas thì áp suất và nhiệt độ không những giảm mà quá trình cháy còn bị đẩy lùi sang phía bên phải đồ thị so với trường hợp sử dụng diesel.

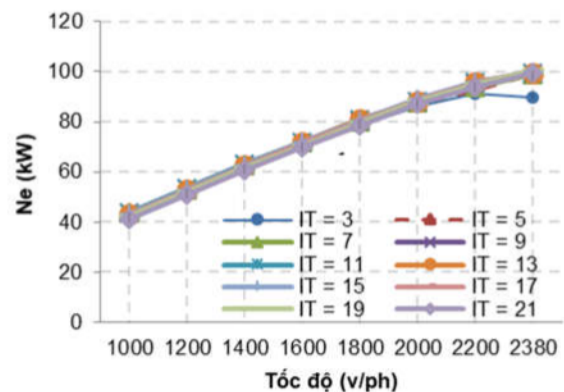
Để đánh giá ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm tới tính năng kỹ thuật của động cơ khi sử dụng biogas, giá trị IT (Ignition Timing) được thay đổi từ 3 đến 21 độ bTDC, với bước thay đổi ΔIT là 2. Kết quả mô phỏng được thể hiện từ hình 11 ÷ 14.

Hình 11 thể hiện mô men khi sử dụng nhiên liệu biogas ở các góc đánh lửa khác nhau. Khi tăng dần góc đánh lửa thì mô men có xu hướng tăng theo tốc độ động cơ từ 1000v/ph đến 2380v/ph, sau đó giảm dần khi tốc độ động

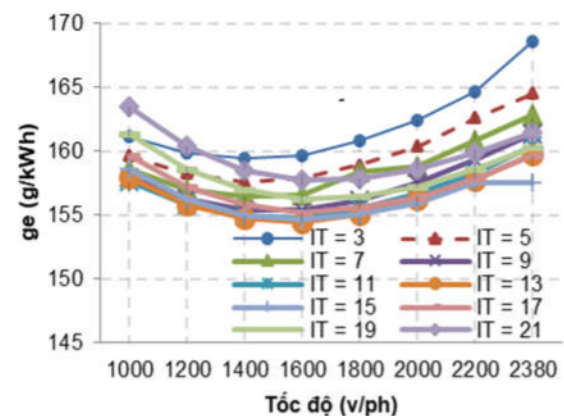
cơ tăng. Giá trị mô men lớn nhất được tìm thấy tại tốc độ 1800v/ph với góc đánh lửa IT = 11 bTDC (before Top Dead Center). Nguyên nhân chính làm cho mô men có xu hướng thay đổi là do các hệ số như: hệ số nạp, hiệu suất nhiệt và tổn hao ma sát. Hình 12 thể hiện công suất của biogas ở các góc đánh lửa. Khi tốc độ động cơ tăng thì công suất có xu hướng tăng. Giá trị công suất lớn nhất được tìm thấy tại tốc độ 2380v/ph với góc đánh lửa IT = 19 bTDC. Để làm rõ hơn ảnh hưởng của góc đánh lửa đến chỉ tiêu làm việc của động cơ, cần phải xem đến suất tiêu hao nhiên liệu khi góc đánh lửa thay đổi.



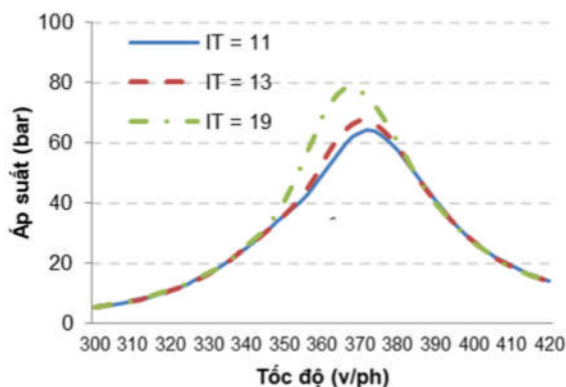
Hình 11. So sánh mô men khi sử dụng biogas ở các góc đánh lửa khác nhau



Hình 12. So sánh công suất khi sử dụng biogas ở các góc đánh lửa khác nhau



Hình 13. So sánh suất tiêu hao nhiên liệu khi sử dụng biogas ở các góc đánh lửa



Hình 14. So sánh áp suất trong xy lanh khi sử dụng biogas ở các góc đánh lửa

Hình 13 thể hiện suất tiêu hao nhiên liệu của biogas ở các góc đánh lửa. Khi tăng dần góc đánh lửa thì suất tiêu hao nhiên liệu giảm theo tốc độ động cơ từ 1000v/ph đến 1600v/ph, sau đó tăng dần khi tốc độ động cơ tăng. Giá trị suất tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất được tìm thấy tại tốc độ 1600v/ph với góc đánh lửa IT = 13 bTDC. Hình 14 cho thấy được biên dạng áp suất của biogas giống với diesel, khi thay đổi góc đánh lửa sẽ làm cho điểm cực đại của áp suất đạt được khoảng 64bar với góc quay chực khuỷu là 372 độ đối với góc đánh lửa IT = 11 bTDC và 67bar với góc quay chực khuỷu là 370 độ đối với góc đánh lửa IT = 13 bTDC, đạt 78bar với góc quay chực khuỷu là 368 độ đối với góc đánh lửa IT = 19 bTDC. Có thể thấy sau khi thiết lập góc đánh lửa thì áp suất đạt được điểm cực đại nhanh hơn. Sự ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm tới các thông số làm việc của động cơ (mô men, công suất, suất tiêu hao nhiên liệu) tương tự nhau.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu mô phỏng động cơ sử dụng nhiên liệu biogas được thực hiện ở đường đặc tính tốc độ với bướm ga mở hoàn toàn bằng phần mềm AVL Boost cho thấy:

- Trung bình, khi sử dụng biogas thì cải thiện khoảng 13% suất tiêu hao nhiên liệu.
- Công suất và mô men của động cơ giảm khoảng 25% do ảnh hưởng của thể tích biogas làm giảm lượng không khí nạp và tốc độ cháy biogas chậm hơn so với diesel.
- Các thành phần phát thải Soot không còn mà sinh ra phát thải HC, lượng phát thải HC sinh ra bằng 12% lượng phát thải Soot trước đó. Thành phần phát thải CO tăng 97%, thành phần phát thải NO_x giảm 99%.
- Thiết kế hệ thống đánh lửa phục vụ nghiên cứu phát triển động cơ sử dụng nhiên liệu biogas cần phải thay đổi tối thiểu trong khoảng từ 11 đến 19 độ bTDC.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phan Dinh Tuan, 2012. *Development of biofuel for building up biomass towns in Vietnam*. Vietnam Journal of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vol. 50, pp. 943-949.

[2]. Ho Thi Lan Huong. *Medium-scale tubular biogas plant (Plug-flow)*. Center for Renewable Energy and Clean Development Mechanism - Institute of Energy.

[3]. Huynh Thanh Cong, et al., 2015. *Biogas engine, status and trends research*. Science & Technology Development, Vol 18, No. K7- 2019.

[4]. Bui Van Ga, et al., 2007. *Experimental study of supplying biogas on motorcycle engine*. Journal of Science and Technology-The University of Danang, vol. 18, pp 1-5.

[5]. Bui Van Ga, Le Minh Tien, Nguyen Van Dong, Nguyen Van Anh, 2008. *Biogas supplying system for biogas/diesel dual-fuel engine*. Journal of Science and Technology-The University of Danang, vol. 25, pp 17-22.

[6]. Nguyen Dinh Hung, Nguyen Huu Huong, Doan Thanh Vu, Vu Viet Thang, 2009. *Application biogas for small generator's engine in Vietnamese countryside*. Science & Technology Development, Vol 12, No.14, pp 5-11.

[7]. Bui Van Ga, et al., 2007. *Refining biogas to run internal combustion engines*. Journal of Science and Technology, Danang Department of Science and Technology, Vol. 127.

[8]. Wayan Sundta, et al., 2013. *Simple Conversion Method from gasoline to Biogas Fueled small Engine to Powered Electric Generator*. International Conference on Alternative Energy in Developing Counties and Emerging Economies, pp 626-632.

[9]. Juan Pablo Gomez Montoya, et al., 2015. *Spark ignition engine performance and emissions in a high compression engine using biogas and methane mixtures without knock occurrence*. Thermal science, Vol. 19, No. 6, pp 1919-1930,

[10]. Tjokoda Gde Tirta Nindhia, et al., 2013. *Method on conversion of gasoline to biogas fueled single cylinder of four stroke engine of electric generator*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 4, No.3, pp 300-303.

[11]. Bui Van Ga, Tran Van Nam, Le Xuan Thach, 2013. *Optimal Compression Ratio of Biogas Engine Determined by Simulation and Experiment*. Journal of Science and Technology - Technical Universities, Vol. 96.

AUTHORS INFORMATION

Tran Cong Minh¹, Nguyen Duc Khanh¹, Nguyen Phi Truong^{1,2}

¹Hanoi University of Science and Technology

²Hanoi University of Industry