

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

**ĐÀO VĂN TÔI**

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH LÀM  
VIỆC VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG  
LƯƠNG NHIÊN LIỆU XĂNG – KHÍ HHO**

**TÀI LIỆU KỸ THUẬT MIỄN PHÍ**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
**KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**  
**TS. TRẦN THỊ THU HƯƠNG**

**HÀ NỘI THÁNG 5/ 2014**

**LỜI CAM ĐOAN**

*Tôi xin cam đoan đây là đề tài nghiên cứu của riêng tôi.  
Các số liệu nêu trong luận văn là hoàn toàn trung thực.!*

*Hà Nội, tháng 05 năm 2014*

**Học viên**

**ĐÀO VĂN TỚI**

## **LỜI CẢM ƠN**

Với tư cách là tác giả của bản luận văn này, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến **TS. Trần Thị Thu Hương**, người đã tạo điều kiện và có những góp ý hữu ích về mặt chuyên môn để tôi hoàn thành bản luận văn này.

Đồng thời tôi cũng xin trân trọng cảm ơn các thầy cô trong bộ môn Động cơ đốt trong và Phòng thí nghiệm Động cơ đốt trong – Viện Cơ khí Động lực, Viện Đào tạo Sau đại học đã giúp đỡ về cơ sở vật chất trong suốt thời gian tôi học tập và làm luận văn.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến gia đình và bạn bè, những người đã động viên và chia sẻ với tôi rất nhiều trong suốt thời gian tôi học tập và làm luận văn.

**Học viên**

**ĐÀO VĂN TỚI**

## MỤC LỤC

<b>LỜI CAM ĐOAN .....</b>	<b>1</b>
<b>LỜI CẢM ƠN .....</b>	<b>2</b>
<b>MỤC LỤC .....</b>	<b>3</b>
<b>DANH MỤC BẢNG BIỂU .....</b>	<b>5</b>
<b>DANH MỤC HÌNH VẼ .....</b>	<b>6</b>
<b>CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ NHIÊN LIỆU HHO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Tổng quan .....	12
1.1.1 Nhiên liệu thay thế .....	12
1.1.2 Khái quát về nhiên liệu HHO .....	13
1.1.3 Tính chất của nhiên liệu HHO .....	13
1.2. Nghiên cứu sử dụng khí HHO trên động cơ xăng .....	15
<b>CHƯƠNG II. PHẦN MỀM AVL - BOOST .....</b>	<b>25</b>
2.1 Giới thiệu chung .....	25
2.2 Tính năng cơ bản .....	26
2.3 Tính năng áp dụng .....	26
2.4 Giao diện của phần mềm AVL-Boost .....	27
2.5 Cơ sở lý thuyết của AVL BOOST .....	28
2.5.1. Mô hình hỗn hợp nhiên liệu .....	28
2.5.2. Mô hình cháy .....	29
2.5.3 Mô hình truyền nhiệt .....	34
2.6. Quá trình hình thành phát thải .....	39
2.6.1. Hình thành phát thải CO .....	39
2.6.2. Hình thành HC .....	40
2.6.3. Hình thành phát thải NOx .....	44
<b>CHƯƠNG 3. MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG HỖN HỢP XĂNG – HHO .....</b>	<b>47</b>

3.1. Quy trình mô phỏng.....	47
3.1.1. Xây dựng mô hình.....	47
3.1.2. Quy trình mô phỏng .....	49
3.2. Kết quả thử nghiệm kiểm chứng mô hình .....	49
3.2.1. Công suất động cơ.....	49
3.2.2. Suất tiêu hao nhiên liệu.....	51
3.2.3. Các thành phần độc hại trong khí xả động cơ.....	53
<b>CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG</b>	
<b>CÓ BỔ SUNG HHO .....</b>	<b>60</b>
4.1. Tốc độ cháy của xăng và hỗn hợp xăng+HHO .....	60
4.2. Tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh.....	63
4.3. Áp suất trong xy lanh .....	67
4.4. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh .....	70
4.5. Nhiệt độ cháy trong xy lanh .....	73
<b>KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....</b>	<b>77</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>78</b>

**DANH MỤC BẢNG BIỂU**

Bảng 3.1. Số lượng các phần tử để hoàn thiện mô hình .....	48
Bảng 3.2. Thông số kỹ thuật của động cơ .....	48
Bảng 3.3. Sự thay đổi của công suất động cơ trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng .....	51
Bảng 3.4. Sự thay đổi của suất tiêu hao nhiên liệu trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng .....	52
Bảng 3.5. Sự thay đổi của nồng độ phát thải NO <sub>x</sub> trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng .....	54
Bảng 3.6. Sự thay đổi của nồng độ phát thải CO trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng. ....	56
Bảng 3.7. Sự thay đổi của nồng độ phát thải HC trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng. ....	58

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

Hình 1.1. Ảnh hưởng của khí HHO bổ sung đến hiệu suất nhiệt có ích của động cơ ở các góc đánh lửa, lưu lượng HHO khác nhau, hỗn hợp đậm [26] .....	15
Hình 1.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ hydro trong HHO đến các phát thải chính của động cơ, hỗn hợp đậm [26] .....	16
Hình 1.3. Ảnh hưởng của khí HHO bổ sung đến hiệu suất nhiệt có ích của động cơ ở các góc đánh lửa, lưu lượng HHO khác nhau, hỗn hợp nhạt [26] .....	16
Hình 1.4. Ảnh hưởng của tỷ lệ hydro trong HHO đến các phát thải chính của động cơ, hỗn hợp nhạt [26] .....	17
Hình 1.5. Sơ đồ hệ thống cung cấp $2H_2+O_2$ cho động cơ thí nghiệm [27] .....	17
Hình 1.6. Sự thay đổi mô men và phát thải NO khi bổ sung 2% $H_2$ và 2% $H_2+1\%O_2$ vào đường nạp động cơ [27] .....	18
Hình 1.7. Sơ đồ dòng điện từ máy phát đến bình điện phân [28] .....	18
Hình 1.8. Sơ đồ cấu tạo và hình ảnh của bình B (trái) và bình C (phải) [28] .....	19
Hình 1.9. Ảnh hưởng của việc sử dụng bình B và bình C đến hiệu suất có ích và hiệu suất nhiệt của động cơ theo tốc độ trục khuỷu [28] .....	19
Hình 1.10. Ảnh hưởng của việc sử dụng bình B và bình C đến lượng nhiên liệu và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ theo tốc độ trục khuỷu [28] .....	20
Hình 1.11. Sơ đồ tổng thể hệ thống cung cấp hỗn hợp khí hydro-ôxy cho động cơ	20
Hình 1.12. Diễn biến hiệu suất nhiệt có ích và áp suất có ích trung bình theo hệ số dư lượng không khí và tỷ lệ $H_2$ /hỗn hợp $2H_2+O_2$ [29] .....	21
Hình 1.13. Diễn biến các phát thải chính của động cơ theo hệ số dư lượng không khí và tỷ lệ $H_2$ /hỗn hợp $2H_2+O_2$ [29] .....	23
Hình 2.1 Giao diện phần mềm AVL-Boost .....	27
Hình 2.2 Giao diện các thông số điều khiển ban đầu.....	28
Hình 2.3 Giao diện mô tả sự thiết lập mô hình hỗn hợp nhiên liệu .....	28
Hình 2.4. Màn hình lửa tới thành xy lanh; Sự bắt đầu của hiện tượng cháy sát vách .....	34
Hình 2.5. Tỷ lệ mol CO dự đoán: hàm lượng CO cân bằng và CO động học .....	39
Hình 2.6. Tỷ lệ mol dự đoán của CO theo hàm giữa góc đánh lửa sớm và hệ số dư lượng không khí .....	40

Hình 2.7. Tỷ lệ mol dự đoán của HC theo hàm giữa góc đánh lửa sớm và hệ số dư lượng không khí .....	43
Hình 3.1. Mô hình mô phỏng .....	47
Hình 3.2. Công suất động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 30% độ mở bướm ga .....	49
Hình 3.3. Công suất động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 50% độ mở bướm ga .....	50
Hình 3.4. Công suất động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 70% độ mở bướm ga .....	50
Hình 3.5. Suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 30% độ mở bướm ga .....	51
Hình 3.6. Suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 50% độ mở bướm ga .....	52
Hình 3.7. Suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 70% độ mở bướm ga .....	52
Hình 3.8. Sự thay đổi nồng độ NOx khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 30% vị trí bướm ga .....	53
Hình 3.9. Sự thay đổi nồng độ NOx khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 50% vị trí bướm ga .....	53
Hình 3.10. Sự thay đổi nồng độ NOx khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 70% vị trí bướm ga .....	54
Hình 3.11. Sự thay đổi nồng độ CO khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 30% vị trí bướm ga .....	55
Hình 3.12. Sự thay đổi nồng độ CO khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 50% vị trí bướm ga .....	55
Hình 3.13. Sự thay đổi nồng độ CO khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 70% vị trí bướm ga .....	56
Hình 3.14. Sự thay đổi nồng độ HC khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 30% vị trí bướm ga .....	57
Hình 3.15. Sự thay đổi nồng độ HC khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 50% vị trí bướm ga .....	57



Hình 3.16. Sự thay đổi nồng độ HC khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 70% vị trí bướm ga .....	58
Hình 3.17. Sự thay đổi của đặc tính động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các giá trị độ mở bướm ga.....	58
Hình 4.1. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga.....	60
Hình 4.2.. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga.....	61
Hình 4.3. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga.....	61
Hình 4.4. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga.....	62
Hình 4.5. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga.....	62
Hình 4.6. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga.....	63
Hình 4.7. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga .....	64
Hình 4.8. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga.....	64
Hình 4.9. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga.....	65
Hình 4.10. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga.....	65
Hình 4.11. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga.....	66
Hình 4.12. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga.....	66
Hình 4.13. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga .....	67
Hình 4.14. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga.....	68

Hình 4.15. Diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga .....	68
Hình 4.16. Diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga .....	69
Hình 4.17. Diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga .....	69
Hình 4.18. Diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga .....	70
Hình 4.19. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga .....	70
Hình 4.20. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga .....	71
Hình 4.21. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga .....	71
Hình 4.22. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga .....	72
Hình 4.23. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga .....	72
Hình 4.24. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga .....	73
Hình 4.25. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga .....	73
Hình 4.26. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga .....	74
Hình 4.27. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga .....	74
Hình 4.28. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga .....	75
Hình 4.29. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga .....	75
Hình 4.30. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga .....	75

## **MỞ ĐẦU**

### **I. Lý do chọn đề tài.**

Với sự gia tăng nhanh chóng của phương tiện, mật độ tham gia giao thông ngày một lớn và đông đúc như hiện nay trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng, thì nhu cầu xăng-dầu hàng năm của các phương tiện tham gia giao thông là rất lớn. Ước tính với tình hình khai thác sử dụng như hiện nay, mà không tìm và thăm dò được các mỏ dầu lớn mới, thì khoảng năm 2035 trữ lượng xăng – dầu còn lại không đủ cung cấp cho nhu cầu sử dụng của con người trên trái đất. Ở các thành phố lớn của Việt Nam do sự gia tăng của các phương tiện nhanh mà hệ thống cơ sở hạ tầng chưa theo kịp, kết hợp với xe đã được sử dụng nhiều năm và nhiều chủng loại. Nên mức độ phát thải khí độc hại và tiếng ồn ra môi trường là rất lớn. Vì vậy ở Hà Nội nói riêng và Việt Nam nói chung, vấn đề thay thế nhiên liệu bằng nhiên liệu sạch và giảm ô nhiễm môi trường do khí thải gây ra là một trong những vấn đề được nhà nước, các tổ chức quan tâm.

Sử dụng phần mềm AVL- Boost để mô phỏng các đặc tính làm việc và phát thải của động cơ, trước khi đưa vào ứng dụng và sản xuất nhằm giảm chi phí cho sản phẩm và thời gian thử nghiệm sản phẩm. Đây là hướng đi cho nền sản xuất trong thế giới hiện đại. Chính vì vậy em đã chọn đề tài *"Nghiên cứu mô phỏng đặc tính làm việc và phát thải của động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu xăng - khí HHO"*.

### **II. Mục đích, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận văn**

a) *Mục đích nghiên cứu:* Nghiên cứu mô phỏng đặc tính cháy của động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu xăng – khí HHO bằng phương pháp mô hình hóa trên phần mềm AVL – Boost trên cơ sở mô hình mô phỏng được kiểm chứng các thông số tính năng và phát thải bằng thực nghiệm.

b) *Đối tượng và phạm vi nghiên cứu:* Đối tượng nghiên cứu là động cơ xăng một xy lanh sử dụng nhiên liệu xăng và xăng có bổ sung nhiên liệu HHO.

Trên cơ sở mô hình mô phỏng xây dựng trong phần mềm AVL-BOOST được kiểm chứng các thông số tính năng và phát thải qua thử nghiệm, tiến hành các

nghiên cứu về quá trình cháy của động cơ sử dụng nhiên liệu xăng và HHO trên phần mềm.

### **III. Phương pháp nghiên cứu**

Sử dụng phương pháp thử nghiệm để kiểm chứng mô hình và dùng mô hình đã được kiểm chứng để nghiên cứu đánh giá các thông số đặc trưng cho quá trình cháy của động cơ xăng có bổ sung khí HHO.

### **IV. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn**

Trong điều kiện Việt Nam hiện nay, việc sử dụng khí HHO chưa có. Vì vậy, để có thể nghiên cứu thử nghiệm với nhiên liệu khí HHO, việc nghiên cứu mô phỏng có ý nghĩa rất lớn. Sau đó thực hiện quá trình thử nghiệm đối chứng, phân tích và so sánh các thông số về kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ sử dụng nhiên liệu truyền thống và nhiên liệu có bổ sung thêm khí HHO để có kết luận về tính hiệu quả và khả năng ứng dụng khí HHO sử dụng trên động cơ đốt trong.

Kết quả của đề tài có ý nghĩa thực tiễn đối với việc nghiên cứu, sử dụng nhiên liệu HHO cho động cơ đốt trong. Giúp các nhà sản xuất lựa chọn chế tạo động cơ lưỡng nhiên liệu HHO - xăng phù hợp, giúp người tiêu dùng hiểu hơn về nhiên liệu HHO. Đồng thời đóng góp cơ sở khoa học cho các nhà quản lý trong việc xây dựng các chính sách phát triển động cơ lưỡng nhiên liệu HHO và xăng. Mô phỏng thành công đặc tính làm việc và phát thải động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu xăng - HHO trên phần mềm AVL-Boost.

### **V. Các nội dung chính của luận văn**

- Tổng quan về nhiên liệu HHO
- Phần mềm AVL – Boost
- Mô phỏng động cơ sử dụng hỗn hợp xăng – khí HHO
- Nghiên cứu quá trình cháy của động cơ xăng có bổ sung HHO
- Kết luận và tài liệu tham khảo

## **CHƯƠNG I**

### **TỔNG QUAN VỀ NHIÊN LIỆU HHO**

#### **1.1 Tổng quan**

##### **1.1.1 Nhiên liệu thay thế**

Hiện nay, có rất nhiều loại nhiên liệu thay thế cho động cơ đánh lửa cưỡng bức như cồn, khí dầu mỏ hoá lỏng (Liquefied Petroleum Gas – LPG), khí thiên nhiên (Natural Gas – NG), khí hydro ... Những loại nhiên liệu này đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới để nâng cao tính kinh tế nhiên liệu và giảm phát thải độc hại cho động cơ [1].

Một trong những yêu cầu quan trọng nhất đối với nhiên liệu dùng cho động cơ đốt trong là trọng lượng phải nhẹ và có mật độ năng lượng lớn, nên nhiên liệu lỏng là nhiên liệu phù hợp hơn so với nhiên liệu khí. Tuy nhiên, gần đây một số nhiên liệu khí cũng đã được sử dụng khá rộng rãi, như khí thiên nhiên, khí dầu mỏ, khí hydro, khí giàu hydro. Để nâng cao mật độ năng lượng khi sử dụng trên phương tiện, khí thiên nhiên được nén (CNG) hoặc hoá lỏng (LNG) ở giá trị áp suất và nhiệt độ nhất định.

Hydro đang được xem là nhiên liệu của tương lai nhờ có nhiệt trị lớn (120 MJ/kg) và nguồn nguyên liệu gần như là vô tận. Hydro có thể được sử dụng trên động cơ đốt trong và pin nhiên liệu (fuel cell). Cũng giống như khí thiên nhiên, hydro thường được nén và hoá lỏng trước khi sử dụng trên phương tiện. Khi sử dụng trong pin nhiên liệu, các nguyên tử hydro di chuyển giữa các tấm điện cực, sản sinh dòng điện kéo máy công tác. Hiệu suất sử dụng của pin nhiên liệu là khá lớn (từ 40-85%). Vì vậy hydro sử dụng trên pin nhiên liệu là phù hợp hơn so với khi sử dụng trên động cơ đốt trong. Tuy nhiên, động cơ hydro đã được sản xuất và lắp trên xe BMW hydrogen 7 – mẫu xe thương mại đầu tiên trên thế giới sử dụng động cơ chạy bằng hydro lỏng [5]. Khí hydro cũng được sử dụng trên động cơ bằng cách phun một lượng nhỏ vào đường nạp hoặc phun trực tiếp vào trong xylanh động cơ để giảm khả năng cháy ngược. Khí giàu hydro là hỗn hợp của khí hydro và một số khí khác như oxy (khí HHO), CO (khí đốt tổng hợp – syngas) ... Khí HHO là hỗn

hợp của hydro với oxy theo tỷ lệ 2:1 theo thể tích – là sản phẩm của quá trình điện phân nước [6]. Khí đốt tổng hợp là sản phẩm của quá trình khí hoá (than, sinh khối) với hai thành phần chính là  $H_2$  và CO [7]. Syngas thường được sử dụng để điều chế thành biodiesel (thế hệ thứ hai), DME và metanol sử dụng trên động cơ hoặc có thể sử dụng trực tiếp thay cho xăng hoặc làm nhiên liệu bổ sung. Đã có rất nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học khắp nơi trên thế giới về ảnh hưởng của khí hydro và hỗn hợp khí giàu hydro bổ sung đến tính năng và phát thải của động cơ đánh lửa, các kết quả đã cho thấy những lợi ích về mặt công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải độc hại. Vì vậy, sử dụng khí hydro và hỗn hợp khí giàu hydro cùng với xăng là một trong những giải pháp để nâng cao tính kinh tế nhiên liệu và giảm phát thải cho động cơ đốt cháy cưỡng bức.

### **1.1.2 Khái quát về nhiên liệu HHO**

HHO là loại khí thân thiện môi trường do quá trình cháy chỉ sinh ra sản phẩm là hơi nước, và không tạo khí thải nhà kính. Khí này được tạo ra bằng cách điện phân nước với một bình điện phân. Điện sẽ tách nước thành hai loại khí, hydro và oxy. Kết quả là một hỗn hợp khí HHO có thể được chế tạo.

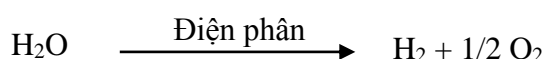
Khí HHO không độc, do đó rất an toàn để dùng trong công nghệ. Khí HHO có thể cháy ở nhiệt độ rất cao thậm chí có thể tự thích nghi nhiệt độ của nó tùy theo vật chất nó tiếp xúc. Trong không khí nó có thể cháy ở 230 độ Celsius tuy nhiên khi tiếp xúc với kim loại cứng khí HHO khả năng cắt xuyên qua kim loại ở nhiệt độ hơn 6000 độ C.

### **1.1.3 Tính chất của nhiên liệu HHO**

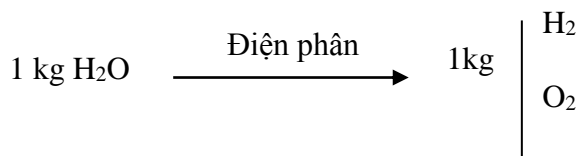
#### **1.1.3.1 Thành phần hydro và oxy**

Sử dụng định luật bảo toàn khối lượng, trong mọi quá trình biến đổi của vật chất thì các nguyên tố và khối lượng tương ứng của chúng luôn luôn được bảo toàn. Có nghĩa là tổng khối lượng các chất tham gia phản ứng bằng tổng khối lượng sản phẩm tạo thành.

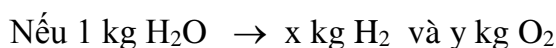
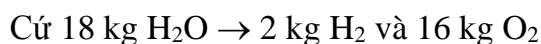
Phương trình phản ứng:



Theo định luật bảo toàn khối lượng, khi điện phân 1 kg H<sub>2</sub>O sẽ thu được 1 kg hỗn hợp H<sub>2</sub> và O<sub>2</sub>



Mặt khác:



$$\text{Suy ra : } x = \frac{1.2}{18} = 0,111 \text{ kg}$$

$$y = \frac{1.16}{18} = 0,889 \text{ kg}$$

Kết luận: khi điện phân 1kg H<sub>2</sub>O thu được 0,111 kg H<sub>2</sub> và 0,889kg O<sub>2</sub>

### **1.1.3.2 Thể tích khí thoát ra ở điều kiện tiêu chuẩn**

Ở điều kiện tiêu chuẩn, thể tích khí thoát ra từ quá trình điện phân 1 kg nước được tính toán như sau:

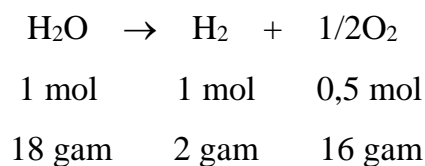
$$V_{\text{H}_2} = n.22,4 = \frac{1000}{18}.22,4 = 1244 \text{ lít}$$

$$V_{\text{O}_2} = n.22,4 = \frac{1000}{18.2}.22,4 = 622 \text{ lít}$$

Như vậy, ở điều kiện này, 1 lít nước sản xuất được tối đa 1.866 lít HHO.

### **1.1.3.3 Khối lượng riêng trung bình của khí HHO**

Khi điện phân 1 mol H<sub>2</sub>O (tức là 18 gam H<sub>2</sub>O):



Phần trăm thể tích của 2 khí H<sub>2</sub> và O<sub>2</sub> trong hỗn hợp:

$$\% \text{H}_2 = \frac{1}{1,5}.100\% = 66,67\%$$

$$\% \text{O}_2 = \frac{0,5}{1,5}.100\% = 33,33\%$$

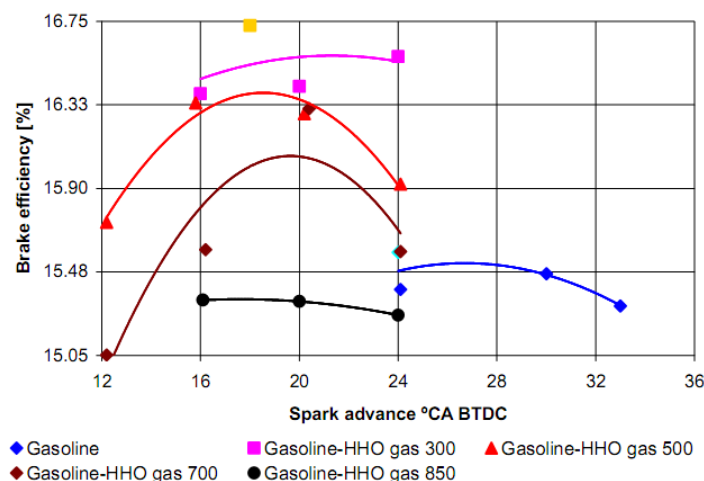
Khối lượng phân tử trung bình (gọi tắt là khối lượng trung bình) ở điều kiện tiêu chuẩn của hỗn hợp khí H<sub>2</sub> và O<sub>2</sub>

$$\bar{\rho} = \frac{66,67.2 + 33,33.32}{100} \cdot \frac{1}{22,4} = 0,54(\text{kg} / \text{m}^3)$$

## **1.2. Nghiên cứu sử dụng khí HHO trên động cơ xăng**

Khí HHO là hỗn hợp của hydro và oxy với tỷ lệ 2:1 theo thể tích. Do hydro là thành phần chính của khí, nên tính chất vật lý, hoá học của HHO là tương tự với hydro. Vì vậy, khí HHO cũng có thể được sử dụng trên động cơ đốt trong thông qua cách bổ sung một lượng nhỏ vào đường nạp. Đã có rất nhiều nghiên cứu trên thế giới về việc sử dụng khí HHO trên động cơ xăng, những kết quả nghiên cứu này đều cho thấy, tính kinh tế của động cơ được cải thiện, giảm phát thải độc hại ô nhiễm ra môi trường [26-30].

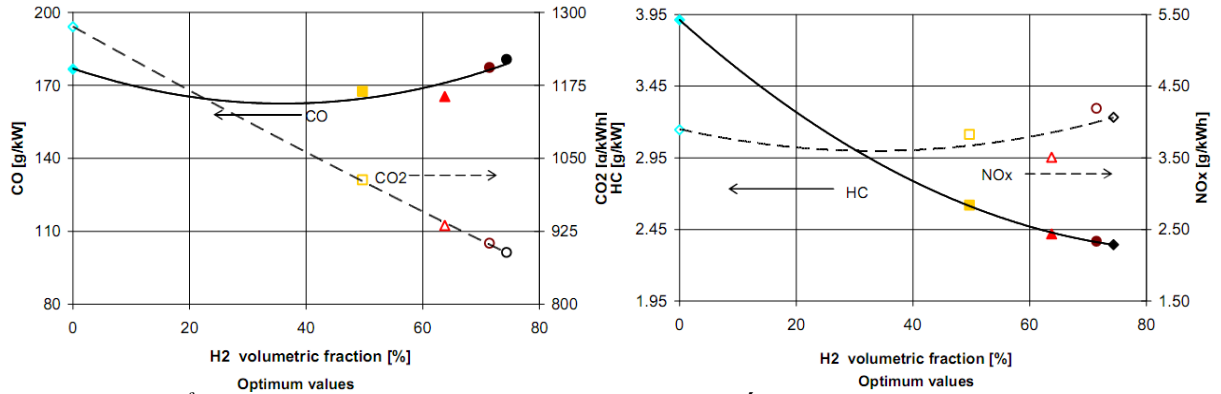
Radu Chiriac cùng cộng sự đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng khí giàu hydro (Hydrogen Rich Gas – HRG) trên động cơ 4 xylanh với dung tích 1,4 lít. Khí giàu hydro ở đây là sản phẩm của quá trình điện phân nước (khí HHO), được phun vào đường nạp với các giá trị lưu lượng khác nhau (300, 500, 700 và 850 lít/giờ). Động cơ hoạt động ở tải nhỏ, hỗn hợp đậm ( $\lambda=0,92-0,94$ ) và hỗn hợp nhạt ( $\lambda=1,18-1,2$ ), tốc độ động cơ giữ nguyên ở 1600 vòng/phút [26].



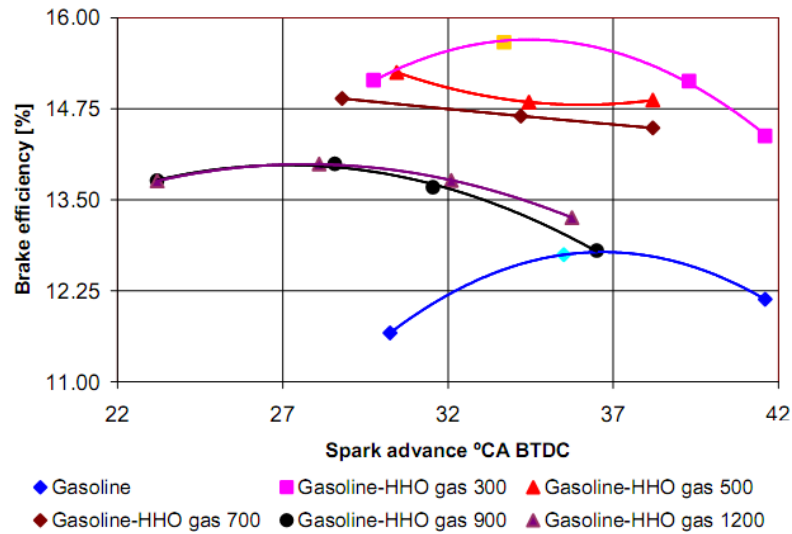
*Hình 1.1. Ảnh hưởng của khí HHO bổ sung đến hiệu suất nhiệt có ích của động cơ ở các góc đánh lửa, lưu lượng HHO khác nhau, hỗn hợp đậm [26]*



Ta thấy, hiệu suất nhiệt có ích của động cơ tăng khi bổ sung khí HHO với lưu lượng không quá lớn (nhỏ hơn 850 lít/giờ). Hiệu suất nhiệt có ích của động cơ đạt cực đại khi lưu lượng của khí HHO là 300 lít/giờ, cao hơn khoảng 7,4% so với động cơ nguyên bản. Phát thải CO và NO<sub>x</sub> thay đổi không đáng kể, trong khi CO<sub>2</sub> và HC giảm.

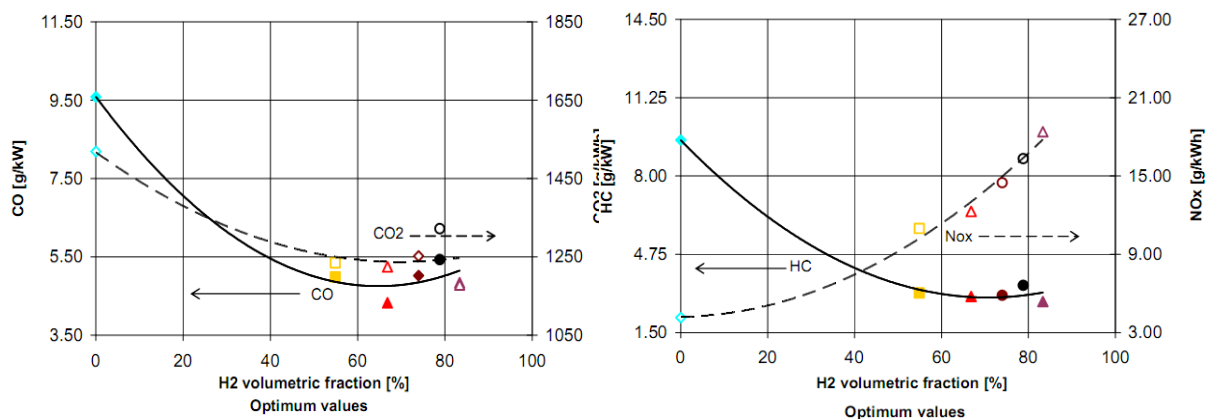


Hình 1.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ hydro trong HHO đến các phát thải chính của động cơ, hỗn hợp đậm [26]



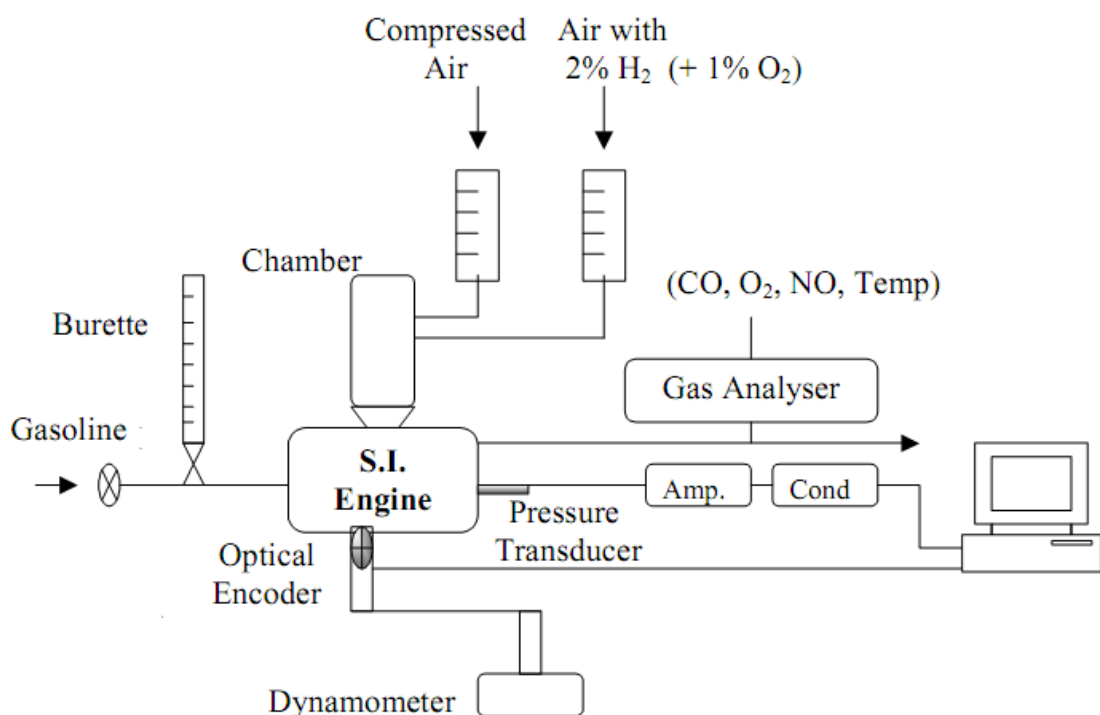
Hình 1.3. Ảnh hưởng của khí HHO bổ sung đến hiệu suất nhiệt có ích của động cơ ở các góc đánh lửa, lưu lượng HHO khác nhau, hỗn hợp nhạt [26]

Khi hoạt động ở chế độ hỗn hợp nhạt, ở tất cả các giá trị lưu lượng khí HHO khác nhau, hiệu suất nhiệt có ích của động cơ đều tăng lên, đạt cực đại khi lưu lượng khí HHO đạt giá trị 300 lít/giờ, tăng khoảng 50%. Phát thải CO, CO<sub>2</sub> và HC giảm, tuy nhiên NO<sub>x</sub> lại tăng lên do quá trình cháy được cải thiện [26].



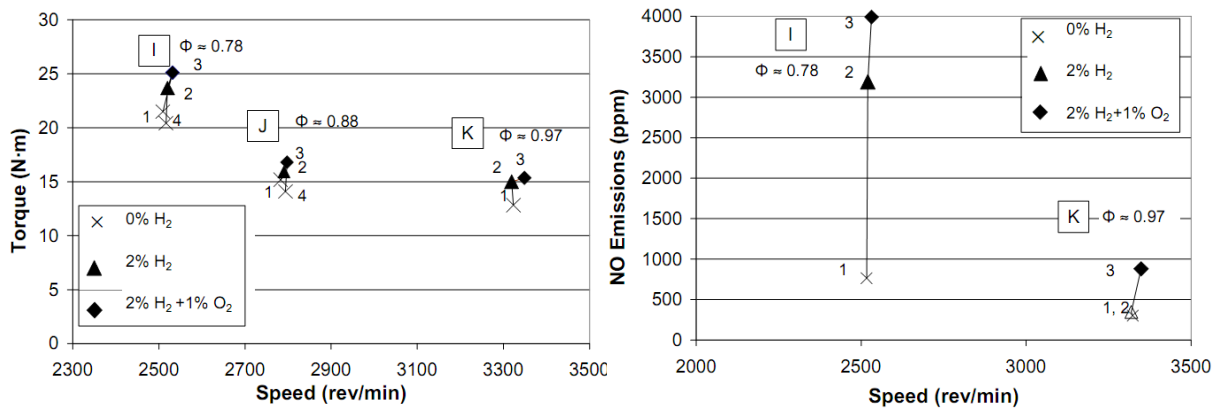
Hình 1.4. Ảnh hưởng của tỷ lệ hydro trong HHO đến các phát thải chính của động cơ, hỗn hợp nhạt [26]

T. D'Andrea cùng cộng sự tại trường ĐH Windsor, Canada đã phát triển tiếp mô hình bổ sung khí hydro cho động cơ [19] để ứng dụng hỗn hợp khí với hai thành phần và tỷ lệ là  $2H_2 + O_2$  [27].



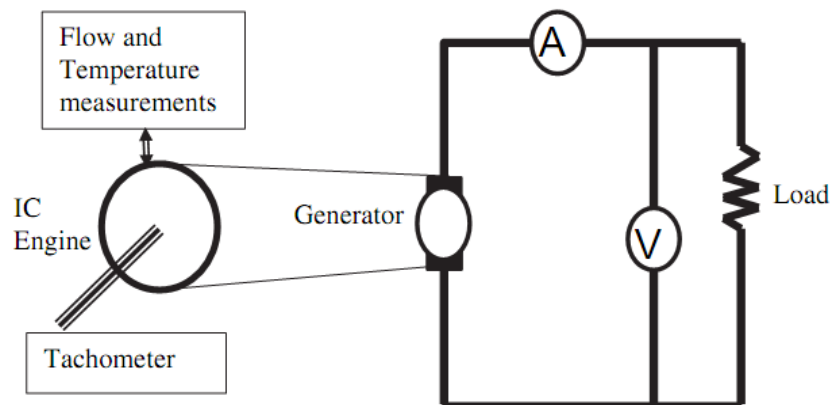
Hình 1.5. Sơ đồ hệ thống cung cấp  $2H_2 + O_2$  cho động cơ thí nghiệm [27]

Khi có oxy đi cùng với hydro, mô men động cơ tăng nhẹ, khoảng 1-2 Nm. Phát thải NO tăng 500 ppm so với khi hoạt động ở chế độ lý tưởng do tốc độ cháy lớn, hàm lượng oxy trong khí nạp lớn, được thể hiện trong hình 1.6 [27].

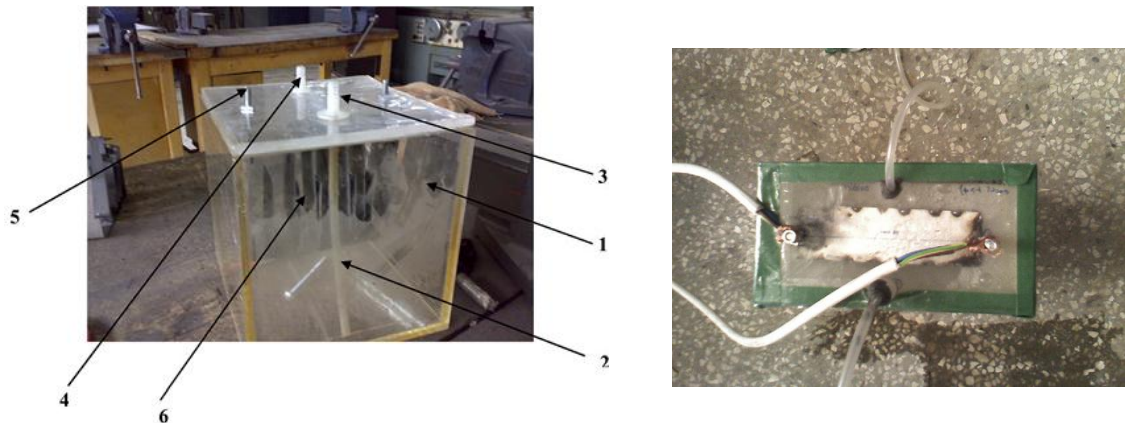
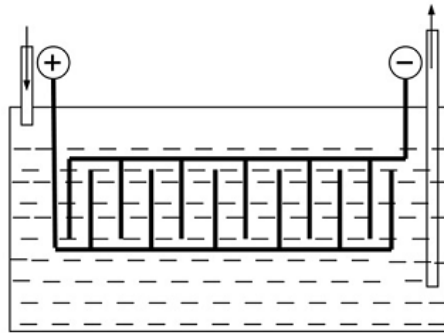


*Hình 1.6. Sự thay đổi mô men và phát thải NO khi bổ sung 2%H<sub>2</sub> và 2%H<sub>2</sub>+1%O<sub>2</sub> vào đường nạp động cơ [27]*

TS. Ammar A. Al-Rousan, bộ môn kỹ thuật cơ khí, trường ĐH Mutah, Jordan đã nghiên cứu thiết kế hệ thống sản xuất khí HHO lắp trên động cơ xăng một xylanh, dung tích 197cc của Honda. Thử nghiệm được tiến hành với hai hệ thống sản xuất khí HHO (hai bình điện phân) khác nhau: bình B (cell B) và bình C (cell C). Thực chất, hai bình này khác nhau ở diện tích giữa bề mặt lớp điện cực. Bình B có diện tích bề mặt lớp điện cực là 1m<sup>2</sup> làm bằng thép không gỉ (mã 316L) trong hộp làm bằng Plexiglas (là hợp chất methacrylate metyn trong suốt, nhẹ, bền với thời tiết). Nước được sử dụng để điều chế HHO là nước cất, điện cực làm bằng NaHCO<sub>3</sub>, thể tích của bình là 8 lít. Cực âm được làm bằng thép không gỉ mã 302 hoặc 304, trong khi cực dương làm bằng thép 316L. Bình C có diện tích bề mặt lớp điện cực chỉ bằng một nửa so với bình B, các đặc điểm còn lại giống với bình B [28].

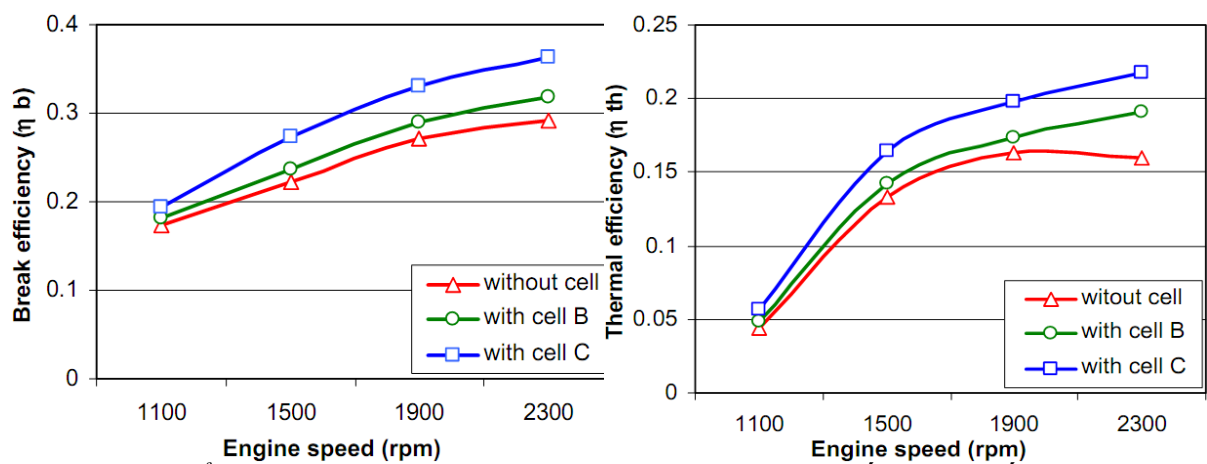


*Hình 1.7. Sơ đồ dòng điện từ máy phát đến bình điện phân [28]*



Hình 1.8. Sơ đồ cấu tạo và hình ảnh của bình B (trái) và bình C (phải) [28]

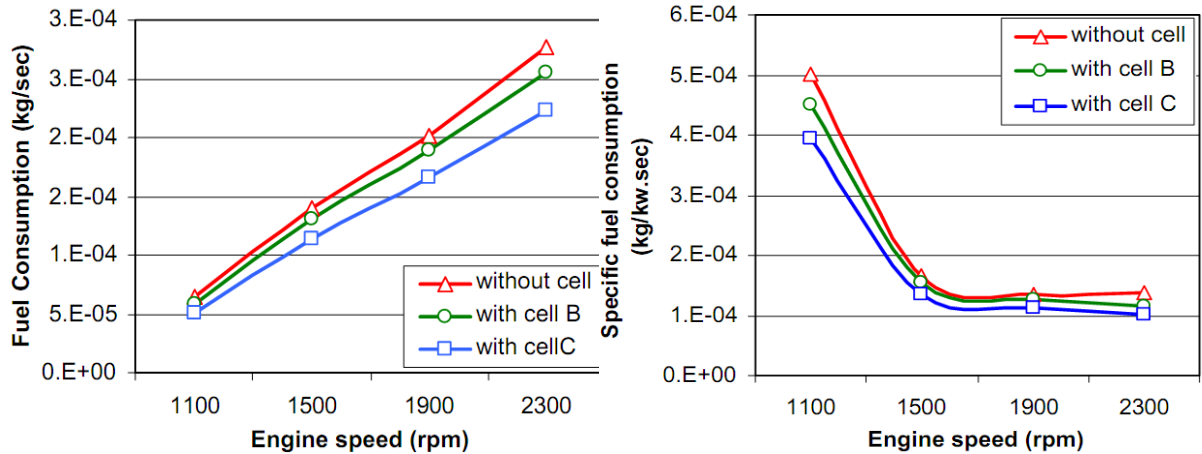
1. Hộp Plexiglas; 2. Ống dẫn khí vào; 3. Van vào; 4. Van ra; 5. Điện cực; 6. Tấm thép không gỉ



Hình 1.9. Ảnh hưởng của việc sử dụng bình B và bình C đến hiệu suất có ích và hiệu suất nhiệt của động cơ theo tốc độ trục khuỷu [28]

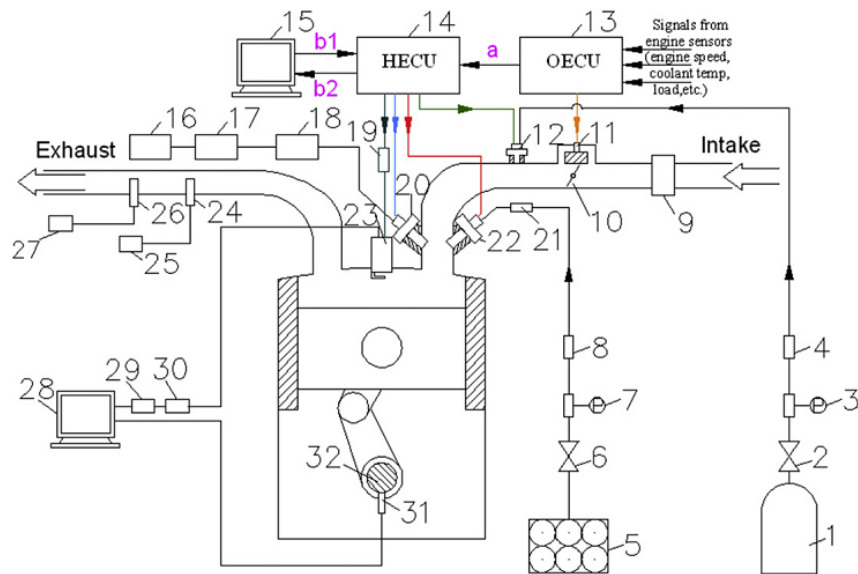
Khi bổ sung khí HHO vào đường nạp động cơ, hiệu suất có ích ( $\eta_b$ ) và hiệu suất nhiệt ( $\eta_{th}$ ) của động cơ tăng lên. Cụ thể, hiệu suất có ích của động cơ tăng 3%

khi sử dụng bình B và 8% khi sử dụng bình C. Lượng tiêu hao nhiên liệu và suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giảm khi có khí HHO bổ sung (hình 1.2.32).



*Hình 1.10. Ảnh hưởng của việc sử dụng bình B và bình C đến lượng nhiên liệu và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ theo tốc độ trục khuỷu [28]*

GS. Changwei Ji tại trường ĐH Công nghệ Bắc Kinh cũng nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp hydro-ôxy đến đặc tính động cơ đánh lửa, tuy nhiên trong nghiên cứu của GS Ji, hydro và ôxy không được hoà trộn với nhau từ trước, chỉ được hoà trộn với nhau trên đường nạp thông qua hai hệ thống cung cấp khí riêng biệt [29,30].



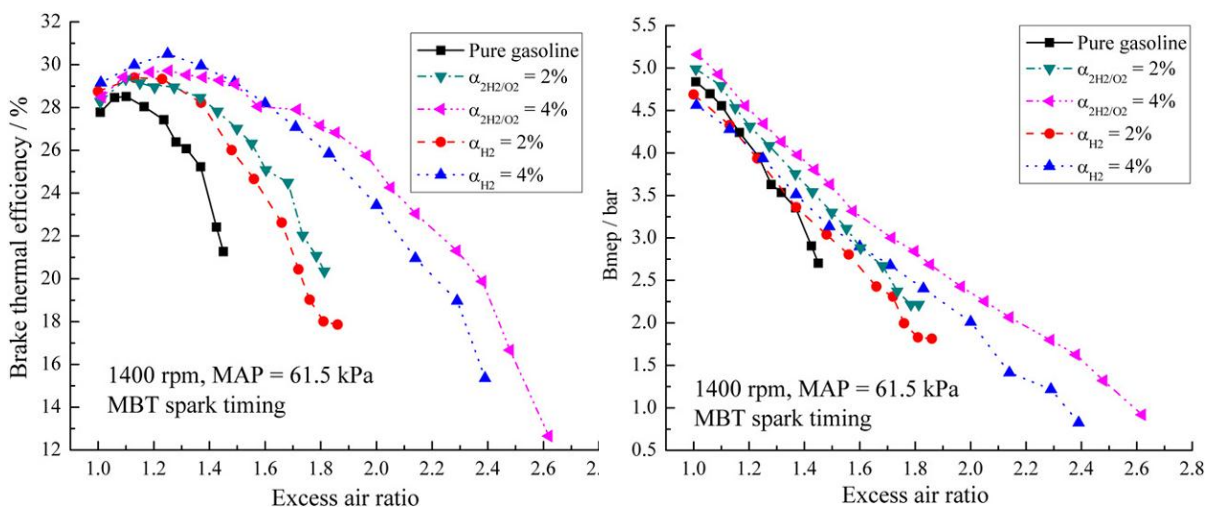
*Hình 1.11. Sơ đồ tổng thể hệ thống cung cấp hỗn hợp khí hydro-ôxy cho động cơ*

1. Bình oxy; 2. Van điều chỉnh áp suất oxy; 3. Thiết bị đo áp suất oxy; 4. Thiết bị đo lưu lượng oxy; 5. Bình hydro; 6. Van điều chỉnh áp suất hydro; 7. Thiết bị đo áp suất hydro; 8. Thiết bị đo lưu lượng hydro; 9. Thiết bị đo lưu lượng khí nạp; 10. Bướm ga; 11. Van không tải; 12. Vòi phun oxy; 13. Bộ ECU cũ; 14. Bộ ECU mới; 15. Máy tính điều khiển; 16. Bình nhiên liệu; 17. Thiết bị đo lưu lượng xăng; 18. Bơm nhiên liệu; 19. IC đánh lửa; 20. Vòi phun xăng; 21. Van chống cháy ngược; 22. Vòi phun hydro; 23. Bugi có gắn cảm biến áp suất; 24. Cảm biến oxy; 25. Phân tích hệ số A/F; 26. Ống lấy mẫu; 27. Thiết bị phân tích khí thải; 28. Thiết bị phân tích quá trình cháy; 29. Bộ chuyển đổi A/D; 30. Bộ khuếch đại tín hiệu; 31. Cảm biến tốc độ; 32. Trục khuỷu; a. Tín hiệu từ ECU cũ đến ECU mới; b1. Tín hiệu từ máy tính đến bộ ECU mới; b2. Tín hiệu từ bộ ECU mới đến máy tính điều khiển

Thử nghiệm tại tốc độ 1400 vòng/phút, áp suất tuyệt đối đường nạp (MAP) được giữ ở giá trị 61,5 kPa, tỷ lệ khí phun vào chiếm 0%, 2% và 4% thể tích tổng lượng khí nạp đi vào. Để mô phỏng khí phun vào là sản phẩm của quá trình điện phân nước, tỷ lệ theo thể tích của hydro và oxy được điều chỉnh là 2:1 thông qua điều chỉnh thời gian mở của hai vòi phun. Hệ số dư lượng không khí giữ ở giá trị lý tưởng ( $\lambda = 1$ ) bằng cách giảm lượng xăng phun vào đường nạp. Tỷ lệ thể tích của hỗn hợp ( $\alpha_{HHO}$ ) và của hydro ( $\alpha_{Hydro}$ ) được tính toán như sau:

$$\alpha_{HHO} = [(Q_{Hydro} + Q_{Oxy}) / (Q_{Hydro} + Q_{Oxy} + Q_{Không\ khí})] \times 100\%$$

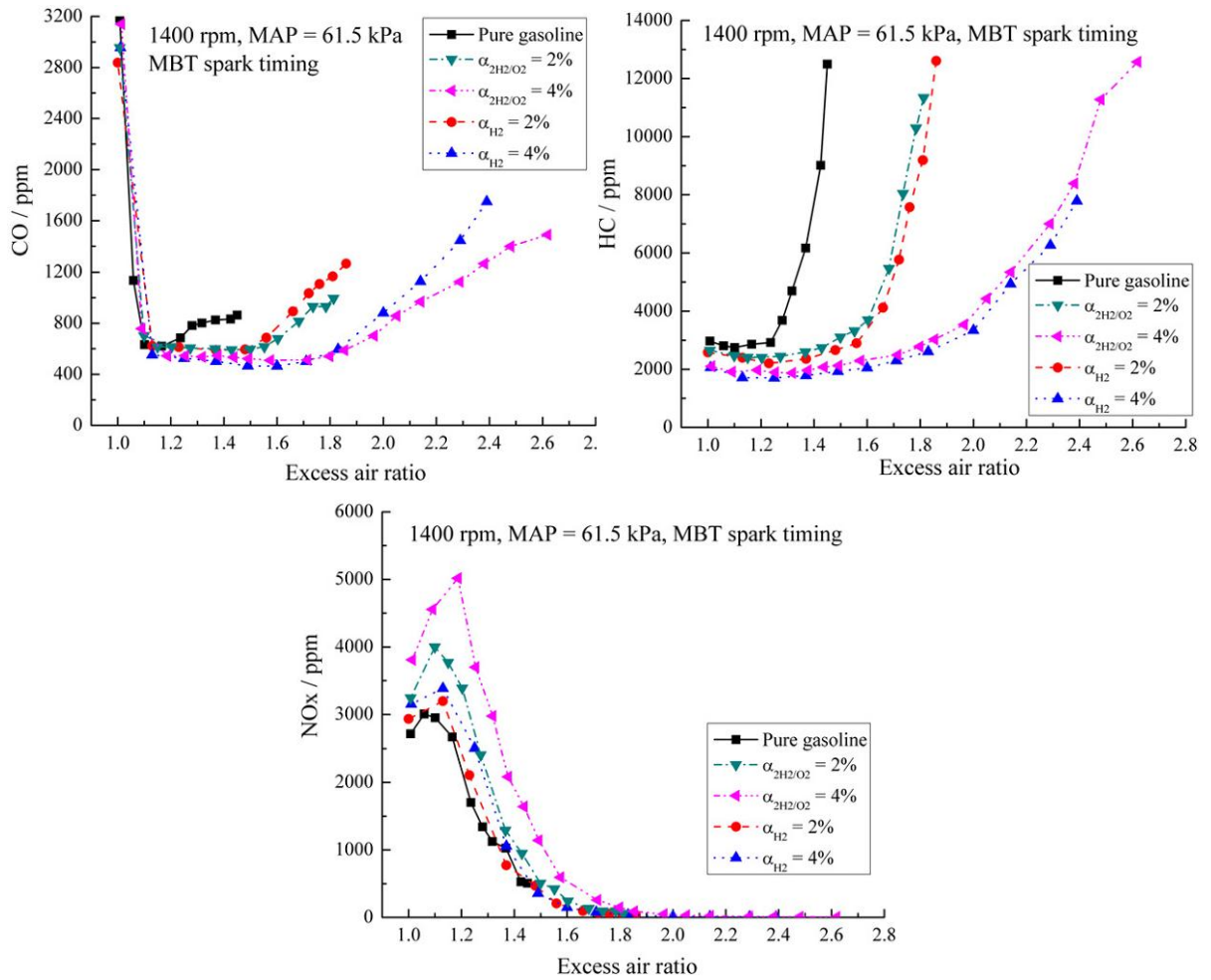
$$\alpha_{Hydro} = [Q_{Hydro} / (Q_{Hydro} + Q_{Không\ khí})] \times 100\%$$



Hình 1.12. Diễn biến hiệu suất nhiệt có ích và áp suất có ích trung bình theo hệ số dư lượng không khí và tỷ lệ  $H_2$ /hỗn hợp  $2H_2 + O_2$  [29]

Ta thấy, trung bình trong toàn dải làm việc của hệ số dư lượng không khí, hiệu suất nhiệt có ích và áp suất có ích trung bình của động cơ tăng khi bổ sung khí hydro và hỗn hợp hydro-oxy vào đường nạp. Khi phun khí hydro và hỗn hợp hydro-oxy vào đường nạp động cơ với tỷ lệ lần lượt là 2% và 4% thể tích tổng lượng khí nạp đi vào xylanh, ta thấy ở các giá trị  $\lambda$  nhỏ, cùng một tỷ lệ, hiệu suất nhiệt có ích của động cơ khi phun hỗn hợp hydro-oxy thấp hơn so với khi phun mỗi hydro, tuy nhiên khi  $\lambda$  tăng dần lại có chiều hướng ngược lại. Điều này có thể giải thích thông qua mật độ năng lượng của hỗn hợp xăng/không khí/hydro-oxy cao hơn so với xăng/không khí/hydro nên làm tăng nhiệt độ cháy trong xylanh, gia tăng tổn thất nhiệt. Khi tăng hệ số dư lượng không khí  $\lambda$  đến ngưỡng hỗn hợp nghèo, do có thêm oxy trong hỗn hợp nên giúp cho quá trình cháy hoàn toàn hơn ở chế độ này, vì vậy hiệu suất nhiệt có ích của động cơ khi phun hỗn hợp hydro-oxy cao hơn khi phun mỗi hydro khi động cơ làm việc với hỗn hợp nghèo. Áp suất có ích trung bình của động cơ khi phun mỗi hydro ở giá trị  $\lambda$  lớn (hỗn hợp nghèo) cao hơn so với xăng, tuy nhiên khi  $\lambda$  nhỏ, giá trị này lại thấp hơn giá trị của động cơ nguyên bản. Ở chế độ này, lượng không khí không đủ để đốt cháy hết nhiên liệu, vì vậy khi tỷ lệ hydro trong khí nạp càng lớn, bmep của động cơ càng giảm. Tuy nhiên, khi phun hỗn hợp hydro-oxy ở mọi giá trị  $\lambda$ , bmep đều tăng do trong hỗn hợp khí nạp có thêm thành phần oxy, nhiên liệu có đủ không khí để cháy hoàn toàn, giúp nâng cao bmep. Qua đó, ta thấy được tính kinh tế của động cơ khi phun hỗn hợp hydro-oxy vào đường nạp cao hơn so với động cơ sử dụng xăng và hỗn hợp xăng/khí hydro.





Hình 1.13. Diễn biến các phát thải chính của động cơ theo hệ số dư lượng không khí và tỷ lệ  $H_2$ /hỗn hợp  $2H_2+O_2$  [29]

Phát thải CO khi sử dụng hỗn hợp xăng/hỗn hợp khí  $2H_2+O_2$  thấp hơn so với khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng/khí hydro. Do trong khí nạp đi vào, được bổ sung thêm một phần oxy, giúp cải thiện khả năng oxy hoá CO thành  $CO_2$ , vì vậy phát thải CO giảm. Nhờ có thành phần oxy trong nhiên liệu, cùng với nhiệt độ cháy lớn, phản ứng tạo thành NOx dễ thực hiện hơn, vì vậy phát thải NOx tăng [29].



## **KẾT LUẬN CHƯƠNG 1**

HHO là loại khí thân thiện môi trường do quá trình cháy chỉ sinh ra sản phẩm là hơi nước, và không tạo khí thải nhà kính. Khí này được tạo ra bằng cách điện phân nước với một bình điện phân. Điện sẽ tách nước thành hai loại khí, hidro và oxy. Kết quả là một hỗn hợp khí HHO có thể được chế tạo.

Khí HHO không độc, do đó rất an toàn để dùng trong công nghệ. Khí HHO có thể cháy ở nhiệt độ rất cao thậm chí có thể tự thích nghi nhiệt độ của nó tùy theo vật chất nó tiếp xúc. Trong không khí nó có thể cháy ở 230 độ Celsius tuy nhiên khi tiếp xúc với kim loại cứng khí HHO khả năng cắt xuyên qua kim loại ở nhiệt độ hơn 6000 độ C.

Khí HHO là hỗn hợp của hydro và oxy với tỷ lệ 2:1 theo thể tích. Do hydro là thành phần chính của khí, nên tính chất vật lý, hoá học của HHO là tương tự với hydro.

Đây là nhiên liệu đầy tiềm năng và vô hạn.

## CHƯƠNG II

### PHẦN MỀM AVL - BOOST

#### 2.1 Giới thiệu chung

Phần mềm AVL-Boost bắt đầu được phát triển từ năm 1992, qua một giai đoạn phát triển từ đó đến nay, phần mềm này đã và đang ngày càng được phát triển hơn nữa. Phiên bản mới nhất của phần mềm AVL-Boost hiện nay là AVL-Boost 2010. Gói phần mềm Boost bao gồm một bộ tiền xử lý tương tác sẽ hỗ trợ với bộ xử lý dữ liệu đầu vào cho các chương trình tính toán chính. Quá trình phân tích kết quả sẽ được hỗ trợ bởi một bộ hậu xử lý tương tác. Công cụ tiền xử lý trên AVL Workspace Graphical User Interface đặc trưng bởi một mô hình sắp xếp và một chỉ dẫn của dữ liệu đầu vào cần thiết. Mô hình tính toán của động cơ được thiết kế bằng cách lựa chọn các phần tử cần thiết từ cây thư mục đã hiển thị bằng cách kích đúp chuột và kết nối chúng bằng các phần tử đường ống. Theo cách này ngay cả những động cơ kết cấu rất phức tạp cũng có thể được mô hình hóa một cách đơn giản. Chương trình chính cung cấp các thuật toán mô phỏng được tối ưu hóa cho tất cả các phần tử. Dòng chảy trong ống được coi như là dòng một chiều. Theo đó các áp suất, nhiệt độ và vận tốc dòng chảy thu được từ các phương trình khí động học biểu diễn giá trị trung bình qua mặt cắt của đường ống. Tổn thất dòng chảy do hiệu ứng ba chiều, tại các vị trí cụ thể trong động cơ, được xét đến bởi hệ số cản thích hợp. Trong trường hợp hiệu ứng ba chiều cần xét đến chi tiết hơn, một liên kết nối với mô hình dòng chảy 3 chiều của AVL mã hiệu FIRE sẽ tồn tại. Điều này có nghĩa rằng một mô hình đa chiều của dòng trong những chi tiết quan trọng của động cơ có thể được kết hợp với một mô hình một chiều của một chi tiết khác. Đặc trưng này có lợi ích riêng cho mô phỏng chuyển động trong xy lanh, quá trình quét khí của động cơ 2 kỳ hay mô phỏng chuyển động phức tạp trong các phần tử giảm thanh. Công cụ hậu xử lý IMPRESS CHART và PP3 phân tích rất nhiều các kết quả dữ liệu khác nhau từ mô hình hóa. Tất cả các kết quả có thể được đem so sánh với các điểm đo hoặc kết quả tính toán trước đó. Ngoài ra, phần mềm còn cho phép trình

diễn kết quả dạng hình động. Điều này góp phần cho việc phát triển các giải pháp tối ưu với các vấn đề của người dùng.

## **2.2 Tính năng cơ bản**

Phần mềm AVL-Boost bao gồm những tính năng cơ bản sau :

- Mô phỏng động cơ 2 kỳ, 4 kỳ, động cơ không tăng áp, động cơ tăng áp...
- Mô phỏng các chế độ làm việc, chế độ chuyển tiếp của động cơ.
- Tính toán thiết kế và tối ưu hóa quá trình làm việc của động cơ như quá trình cháy, quá trình trao đổi khí, quá trình phát thải độc hại...
- Có khả năng kết nối với các phần mềm khác (liên kết động) để mô phỏng với các dữ liệu động.

## **2.3 Tính năng áp dụng**

AVL-Boost là một công cụ mô phỏng chu trình công tác và quá trình trao đổi khí của động cơ. Boost cho phép xây dựng mô hình đầy đủ của toàn thể động cơ bằng cách lựa chọn các phần tử có trong hộp công cụ và nối chúng lại bằng các phần tử ống nối. Giữa các đường ống, người ta sử dụng các phương trình động lực học [25].

Đây là một công cụ mô phỏng tin cậy, nó cho phép giảm thời gian phát triển động cơ bằng công cụ mô phỏng và nghiên cứu động cơ chính xác, tối ưu hóa kết cấu và quá trình ngay ở giai đoạn tạo mẫu động cơ mà không cần đến mô hình cứng.

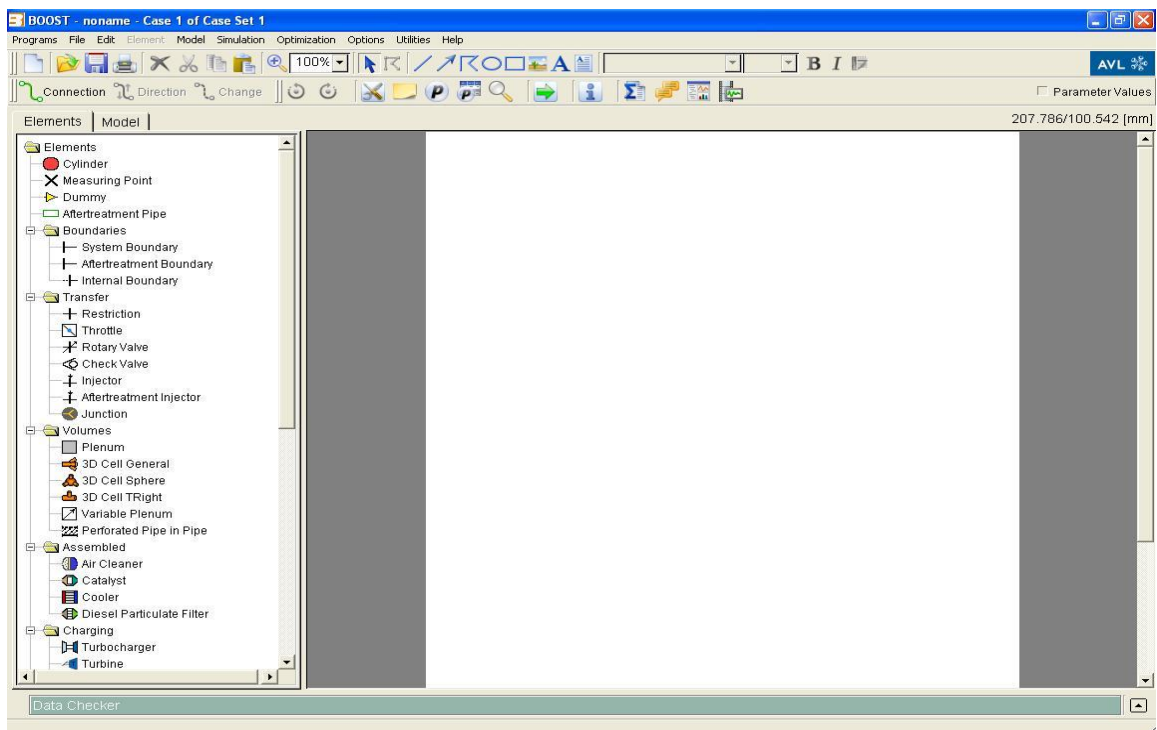
AVL-Boost cho phép tính toán các chế độ tĩnh và động. Boost có thể dùng để tối ưu hóa ở chế độ tĩnh các hệ thống nạp và thải, đóng mở xupáp, phối hợp các bộ phận tăng áp và ước lượng tính năng của các động cơ mới. Boost cũng là một công cụ lý tưởng cho việc tối ưu hóa các đặc trưng chuyển tiếp của động cơ ở thời kỳ đầu, khi động cơ chưa được chế tạo, nhưng có tính đến cả hệ truyền động của phương tiện. Ngoài ra Boost còn cho phép xây dựng mô hình điều khiển động cơ các chức năng quan trọng của hệ thống điều khiển động cơ mà không cần tới các phần mềm bên ngoài. Boost có thể dễ dàng kết nối với Matlab, Simulink và phần mềm CFD 3D AVL-Fire.

Các ứng dụng điển hình của phần mềm AVL-Boost bao gồm 8 ứng dụng sau :

- Xác định đặc tính mômen, tiêu hao nhiên liệu
- Thiết kế đường nạp, thải
- Tối ưu hóa thời điểm đóng mở xupáp
- Phối hợp với cụm tăng áp, van xả
- Phân tích về âm thanh (độ ồn trên đường nạp, thải)
- Phân tích quá trình cháy và hình thành khí thải
- Luân hồi khí thải
- Độ thích ứng của cụm tăng áp

## **2.4 Giao diện của phần mềm AVL-Boost**

Các phiên bản gần đây cũng đã chú ý tới vấn đề thuận lợi cho người sử dụng nhằm mục đích làm sao có thể khai thác và ứng dụng có hiệu quả các khả năng của phần mềm. Để có được các thuận lợi đó, các nhà lập trình đã thiết kế cấu trúc giao diện của phần mềm như hình 2.1.

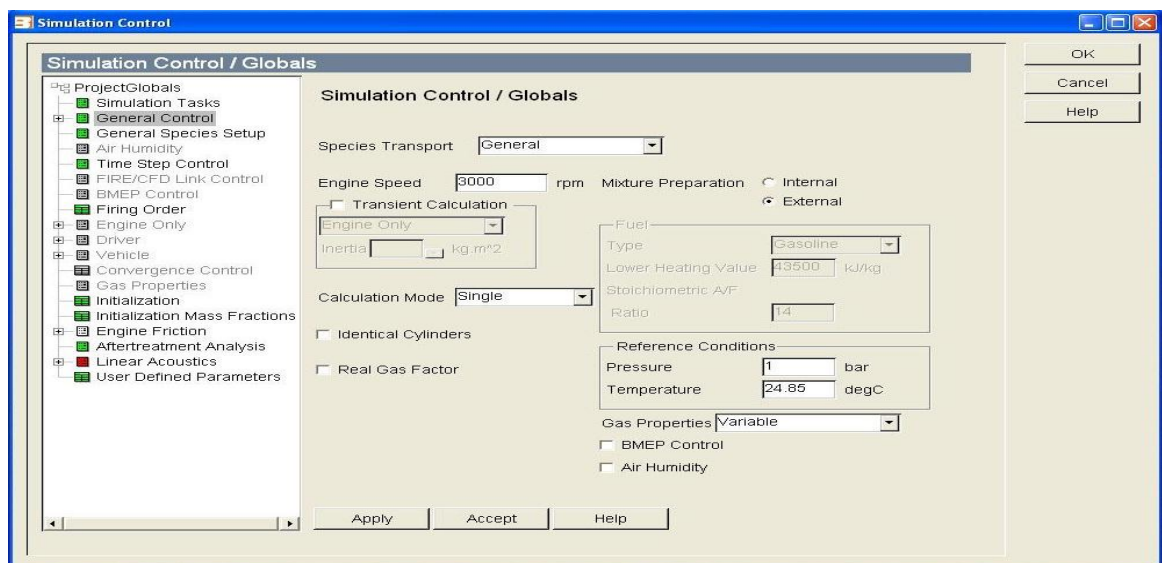


*Hình 2.1 Giao diện phần mềm AVL-Boost*

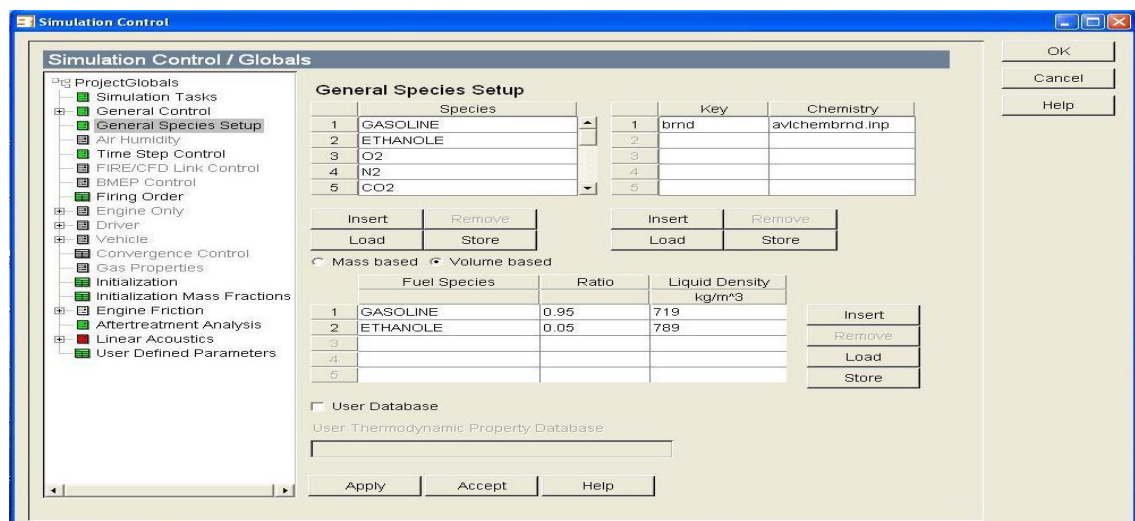
## 2.5 Cơ sở lý thuyết của AVL BOOST

### 2.5.1. Mô hình hỗn hợp nhiên liệu

Kể từ phiên bản AVL BOOST v.2009, việc mô phỏng hỗn hợp nhiên liệu nói chung và hỗn hợp xăng - nhiên liệu thay thế nói riêng được giải quyết dễ dàng. Việc mô tả hỗn hợp khí dựa trên cơ sở các phần tử được định nghĩa và có thể thay đổi được bằng tùy chọn General Species Transport. Các thông số ban đầu về động cơ, nhiên liệu, số chu trình chạy.. được thiết lập trong bước này.



Hình 2.2 Giao diện các thông số điều khiển ban đầu



Hình 2.3 Giao diện mô tả sự thiết lập mô hình hỗn hợp nhiên liệu

### **2.5.2. Mô hình cháy**

Mô hình cháy Fractal dùng cho động cơ đánh lửa cưỡng bức, được đề cập trong BOOST, dự đoán tốc độ giải phóng nhiệt trong động cơ khí nạp đồng nhất.

Do đó phải xét đến ảnh hưởng của các thông số quan trọng sau:

- Hình dạng buồng cháy
- Vị trí và thời gian đánh lửa
- Thành phần của khí nạp (khí sót, khí xả luân hồi, bốc hơi khí và nhiên liệu)
- Chuyển động nạp và mức độ xoáy lốc

Nhiệt động học của mô hình cháy 2 vùng được nêu ra trong [26] -Vibe Two Zone. Mô hình cháy 2 vùng được dùng để tính toán các điều kiện của sản phẩm cháy (ví dụ như vùng cháy) và duy trì khí nạp mới (vùng không cháy). Màng lửa được chuẩn bị kĩ càng lan truyền theo chuyển động xoáy lốc xảy ra trong buồng cháy của động cơ đốt trong rất mỏng và bề mặt gợn sóng cao. Diện tích cháy  $A_T$ , do có sự gợn sóng nói trên, lớn hơn nhiều so với diện tích diễn ra trong quá trình cháy theo tầng. Sau đó, diện tích tầng cháy  $A_L$ , xem như có bề mặt trơn cầu tập trung tại điểm đánh lửa. Độ tăng diện tích bề mặt cháy ( $A_T/A_L$ ) tương ứng với độ tăng của tốc độ xoáy lốc với trường hợp cháy theo tầng. Tốc độ cháy của khối lượng nhiên liệu được tính như sau:

$$\frac{dm_b}{dt} = \rho_u A_T S_L = \rho_u \left( \frac{A_T}{A_L} \right) A_L S_L \quad (2.1)$$

Phương trình 2.1 chỉ ra rằng tốc độ lan truyền màng lửa duy trì bằng với trường hợp cháy tầng trong một quá trình cháy xoáy lốc, tuy nhiên, tốc độ cháy như nhau có thể diễn đạt như là một hàm số của tốc độ xoáy lốc:

$$\frac{dm_b}{dt} = \rho_u A_S S_T = \rho_u \left( \frac{A_T}{A_L} \right) A_L S_L \quad (2.2)$$

$$\left( \frac{S_T}{S_L} \right) = \left( \frac{A_T}{A_L} \right) \quad (2.3)$$

Sự diễn đạt trên, đưa ra bởi Damkohler vào năm 1940, về cơ bản thay cho định nghĩa của tốc độ cháy xoáy lốc. Phương trình 2.2 cũng phù hợp khi mà tốc độ

cháy có thể được tính toán dễ dàng ngay khi sự tăng diện tích cháy được hình thành. Tuy nhiên, quá trình vật lý thực tế sinh ra sóng lửa ngày nay vẫn chưa thật sự rõ ràng:

- Sự thay đổi nhiệt độ cục bộ, sự ảnh hưởng theo hàm mũ của tốc độ phản ứng động học, có thể quyết định tốc độ cháy cục bộ khác nhau, bao gồm cả biến dạng cháy.

- Quá trình giãn nở của khí cháy và độ uốn lửa kết hợp nhau tạo ra độ lệch quỹ đạo của chất điểm lỏng qua nó và sự biến dạng cháy thủy động học có thể xảy ra.

- Xoáy lốc có thể tạo ra sóng cháy đối lưu theo những tỷ lệ độ dài khác nhau. Sóng này sau đó một phần được bù lại bằng quá trình cháy tầng được gọi là ảnh hưởng “trơn” của những sự biến dạng cục bộ.

Sự tương tác giữa các hiện tượng trên càng đa dạng đối với những điều kiện vận hành của động cơ. Tại những tốc độ cực cao sự biến dạng có thể tăng cường mạnh để sinh ra vô số màng lửa, với những “đảo” của hỗn hợp cháy bị giữ lại trong nó. Tuy vậy có thể chấp nhận rằng trong một tỷ lệ thích hợp của các chế độ cháy xảy ra trong động cơ đốt trong, những đặc tính của màng lửa như là đại lượng vô hướng bị động tạo ra sóng chủ yếu bởi hiện tượng đối lưu của xoáy lốc.

Dưới giả thiết này, có khả năng phát triển một mô hình cháy xem như vô hướng, phát triển từ quan niệm về hình học phân dạng. Theo phương pháp này, bề mặt cầu lửa tron ban đầu - diện tích tầng lửa  $A_L$  - sẽ tạo sóng sau đó bởi sự hiện diện của xoáy lốc từ các tỷ lệ độ dài khác nhau. Sự liên hệ giữa xoáy lốc và màng lửa quyết định sự phát triển của bề mặt xoáy lốc  $A_T$ , lan truyền với tốc độ lửa tầng  $S_L$ . Nếu một sóng đồng dạng được giả thuyết rằng trong khoảng tỷ lệ chiều dài  $L_{\min} \div L_{\max}$  sau đó màng lửa thể hiện đặc tính của đối tượng phân dạng và bề mặt cháy của nó có thể dễ dàng tính toán:

$$\left( \frac{A_T}{A_L} \right) = \left( \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \right)^{D3-2} \quad (2.4)$$

Sự diễn đạt trên, thay vào phương trình 2.2 cho phép ta tính toán tốc độ cháy ngay khi bề mặt cháy tăng  $A_L$  và tốc độ cháy  $S_L$  cũng như tỷ lệ sóng ( $L_{\min} \div L_{\max}$ ). Và kích thước phân dạng  $D_3$  được tính toán:

$$\left(\frac{dmb}{dt}\right)_{fractals} = \rho \left(\frac{L_{\max}}{L_{\min}}\right)^{D_3-2} A_L S_L \quad (2.5)$$

### *Xoáy lốc*

Trên cơ sở giả thiết vật lý nói trên, sự tính toán tỷ lệ sóng ( $L_{\min} \div L_{\max}$ ) cũng như kích thước phân dạng  $D_3$  phải phụ thuộc vào những đặc tính của xoáy lốc trong xylanh. Sự đánh giá trong mô hình vô hướng thật sự có tính thử thách. Một con số đề xuất có thể tìm được từ con số hiện tại và giữa chúng, một phương pháp K-k điều chỉnh [27], được đưa ra ở đây:

$$\frac{dK}{dt} = \frac{1}{2} \dot{m}_{in} u_{in}^2 - P + K \frac{\dot{m}_{ex}}{m} + K \frac{\dot{\rho}_u}{\rho_u} \quad (2.6)$$

$$\frac{dK}{dt} = P - \dot{m}\varepsilon + k \frac{\dot{m}_{ex}}{m} + k \frac{\dot{\rho}_u}{\rho_u} \quad (2.7)$$

$$P = 0.3307 c_t \frac{K}{L_t} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.8)$$

Trong đó:  $K = \frac{1}{2} m U_f^2 \quad k = \frac{3}{2} m u'^2 \quad \varepsilon = \frac{u'^3}{L_t}$

K: Năng lượng động lực của lưu lượng trung bình

( $U_f$ ): Sự sinh ra và mất đi của nó chủ yếu liên quan đến tốc độ nạp và thải

k : Năng lượng động lực học của lưu lượng xoáy lốc (giả thuyết là đẳng hướng) trong khi.

$\varepsilon$ : Tốc độ phân tán.

P: Biểu thị sự sinh ra xoáy lốc đặc trưng cho sự truyền năng lượng giữa lưu lượng xoáy lốc và lưu lượng xoáy lốc trung bình (năng lượng truyền động gián đoạn [27]).

$C_t$ : Hằng số điều chỉnh



Phương trình 2.6 ÷ 2.8 được tổng hợp tất cả thông qua chu trình động cơ và sự sinh ra xoáy lốc do sự thay đổi mật độ khí chưa cháy bên trong xilanh trong suốt kỳ nén và giãn nở bao gồm cả trong K và k [28]. Mô hình trên cũng đưa ra khả năng để đánh giá tỷ lệ chiều dài Kolmogorov dưới giả thuyết xoáy lốc đẳng hướng, giả định là:

$$l_k = \frac{L_I}{Re_t^{3/4}} \quad \text{với} \quad Re_t = \frac{u' L_I}{\nu_u} \quad \text{và} \quad L_I = c_l H$$

$L_I$ : Tỷ lệ độ dài thành phần, giả thiết tỷ lệ ( $c_l = 0,2 \div 0,8$ ) tới khe hở tức thời

$H$ : Bên trong xilanh và  $V$  là vận tốc động học của hỗn hợp chưa cháy.

Đặc biệt, tỷ lệ chiều dài Kolmogorov và tỷ lệ chiều dài thành phần,  $L_I$  và  $L_k$ , được lựa chọn như là kích thước sóng lớn nhất và nhỏ nhất trong phương trình 2.4, trong khi kích thước  $D_3$  chủ yếu phụ thuộc vào tỷ số giữa cường độ xoáy lốc  $u'$  và tốc độ cháy tầng  $S_L$  [29].

$$D_3 = \frac{2.35u' + 2.05S_L}{u' + S_L} \quad (2.9)$$

Mô hình cháy phân dạng mô tả trên thật sự có hiệu lực cho việc phát triển đầy đủ và cháy xoáy lốc giãn nở một cách tự do. Trong suốt cả 2 quá trình phát triển cháy sớm và hoàn thiện cháy.

#### *Sự đánh lửa*

Những hiện tượng phức tạp xảy ra sau khi xuất hiện đánh lửa như dạng nhũ tương và lan tràn hạt lửa xảy ra sau đó được diễn tả chi tiết [30]. Quá trình hình thành hạt nhân kết thúc sau khoảng 200ms (điều hưởng được bằng bộ nhân thời gian hình thành đánh lửa Cign) sau đánh lửa tại bán kính lửa giới hạn khoảng 2mm. Trong suốt giai đoạn này, tốc độ cháy rất cao, phụ thuộc vào năng lượng giải phóng của hệ đánh lửa, nó đạt tối thiểu với giá trị giống với tốc độ cháy tầng [30] và sau đó nó lại tăng lên, kết quả là hình thành sóng lửa.

Những hiện tượng trên không bao gồm trong mô hình thực tế, nó được giả định để bắt đầu sự tính toán tại điểm kết thúc quá trình hình thành hạt nhân một cách chắc chắn và cầu lửa trơn với đường kính khoảng 2mm. Quá trình sóng lửa sau

đó bắt đầu tại tốc độ tăng về cả bán kính lẫn cường độ (tỷ lệ với tốc độ động cơ). Phương trình sau diễn tả cho sự tính toán tốc độ sóng lửa không thứ nguyên.

$$\omega_{wr} = \frac{r_f}{r_{f,ref}} \frac{n}{n_{ref}} \quad (2.10)$$

Trong phương trình trên,  $r_{f,ref}$  thông số bán kính chuẩn có thể điều chỉnh được ở phạm vi 1cm,  $n_{ref}$  là tốc độ động cơ chuẩn ở mức 1000rpm. Phương trình 2.9 cuối cùng định nghĩa lại độ tăng kích thước phân dạng liên quan đến độ tăng dẫn sóng lửa theo thời gian.

$$D_3 = \frac{D_{3,max} u' + D_{3,min} S_L}{u' + S_L} \quad (2.11)$$

$$D_{3,min} = 2.05$$

Theo cách diễn đạt này, giai đoạn đầu của quá trình cháy sẽ được đặc tính hoá bởi một kích thước phân dạng rất gần với cấp độ nhỏ nhất của nó  $D_{3,min}$  – quyết định một tốc độ cháy ban đầu gần bằng với cháy tầng. Chú ý rằng giá trị nhỏ nhất của kích thước phân dạng trong bất cứ trường hợp nào đều lớn hơn 2.

#### *Cháy sát vách*

Khi màng lửa lan truyền tới thành buồng cháy, cơ cấu phân dạng đã diễn đạt ở trên của sự lan truyền lửa không còn hiệu lực nữa. Những đặc tính quan trọng nhất của sự hoàn thiện cháy liên quan tới ảnh hưởng của thành vách trong quá trình cháy (hiện tượng cháy sát vách). Thành buồng cháy giới hạn khí giãn nở, ngăn tắt cả lưu lượng, và hình thành tương ứng biên ứng nhiệt độ thấp làm lạnh khí. Tất cả các yếu tố thay đổi đặc tính cơ sở của sự cháy so sánh với đặc tính của sự lan truyền cháy tầng tự do qua buồng cháy. Tốc độ cháy sát vách có thể được miêu tả đơn giản bằng sự suy giảm theo hàm mũ:

$$\left( \frac{dmb}{dt} \right)_{wall-combustion} = \frac{m - m_b}{\tau} \quad (2.12)$$

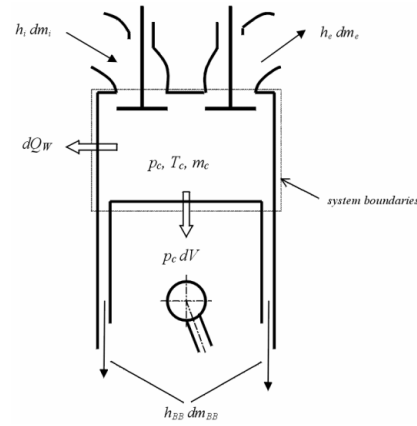
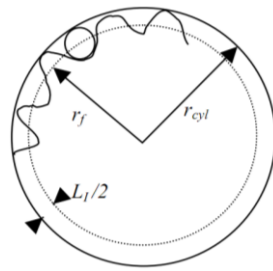
$\tau$ : Khoảng thời gian đặc trưng của quá trình trên

Tốc độ cháy tổng thể có thể rút ra như một giá trị trung bình của 2 tốc độ cháy.

$$\left(\frac{dm_b}{dt}\right)_{overall} = (1-w_2)\left(\frac{dm_b}{dt}\right)_{fractals} + w_2\left(\frac{dm_b}{dt}\right)_{wall-combustion} \quad (2.13)$$

Sự chuyển tiếp giữa 3 mô hình cháy dần dần bắt đầu khi trải qua khoảng thời gian chuyển tiếp  $t_{tr}$ , xác định tia lửa đầu tiên tới thành xylanh:

$$r_f = \frac{(m-m_b)_{tr}}{(\rho_u A_T S_L)_{tr}} \quad (3.14)$$



**Hình 2.4.** *Màng lửa tới thành xylanh; Sự bắt đầu của hiện tượng cháy sát vách*

Khi phương trình 2.14 được tính toán lại, tham số thời gian đặc trưng trong phương trình 2.12 được tính toán với giả định rằng tốc độ cháy sát vách bằng với tốc độ cháy từ mô hình phân dạng trong phương trình 2.5, vì thế:

$$\tau = \frac{(m-m_b)_{tr}}{(\rho_u A_T S_L)_{tr}} \quad (2.15)$$

Giá trị  $\tau$  nói trên sau đó được giữ cho phù hợp trong suốt quá trình cháy sát vách sau đó. Độ đậm  $w_2$  tăng dần theo thời gian, phụ thuộc vào khối lượng không cháy tức thời  $(m - m_b)$ , so với độ đậm trong khoảng thời gian chuyển tiếp  $t_{tr}$ .

$$\tau = \frac{m-m_b}{(m-m_b)_{tr}}$$

### 2.5.3 Mô hình truyền nhiệt

Để hiểu rõ hơn về các quá trình truyền nhiệt, chúng ta sẽ tìm hiểu sâu hơn về diễn biến các quá trình vật lý trong phần tử xylanh. Để mô tả toán học các quá trình vật lý đó, chúng ta có thể phân biệt hai quá trình: quá trình trao đổi khí và quá trình áp suất cao. Chỉ trong quá trình trao đổi khí mới xuất hiện lưu lượng khối lượng giữa các đường ống và ống nối.

### **2.5.3.1. Quá trình áp suất cao**

Định luật nhiệt động học 1 cho hệ thống kín như sau (giả định mô hình 1 chiều đơn giản hóa), thể hiện mối quan hệ giữa sự biến thiên của nội năng (hay enthalpy) với sự biến thiên của nhiệt và công:

$$\frac{d(m_{cyl} \cdot u)}{d\alpha} = -p_{cyl} \cdot \frac{dV}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_W}{d\alpha} - h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha} \quad (2.16)$$

$\frac{d(m_{cyl} \cdot u)}{d\alpha}$  : Nội năng biến đổi bên trong xy lanh

$-p_{cyl} \cdot \frac{dV}{d\alpha}$  : Công chu trình thực hiện

$\frac{dQ_F}{d\alpha}$  : Nhiệt lượng cấp vào

$\sum \frac{dQ_W}{d\alpha}$  : Tồn thất nhiệt qua vách

$h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha}$  : Tồn thất enthalpy lọt khí

$m_c$  : Khối lượng môi chất bên trong xy lanh

$u$  : Nội năng

$p_{cyl}$  : áp suất bên trong xy lanh

$V$  : Thể tích xy lanh

$Q_F$  : Nhiệt lượng của nhiên liệu cung cấp

$\alpha$  : Góc quay trục khuỷu

$h_{BB}$  : Trị số enthalpy

$h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha}$  : Biến thiên khối lượng dòng chảy

Phương trình này được sử dụng cho cả hai trường hợp động cơ có sự hình thành hỗn hợp khí bên trong và bên ngoài xy lanh. Tuy nhiên, đối với các phương pháp hình thành hỗn hợp khí khác nhau thì phải có các giả thiết sau:

– Hình thành hỗn hợp khí bên trong xy lanh:

+ Nhiên liệu cấp vào trong xy lanh được đốt cháy tức thì

- + Hỗn hợp cháy được hoà trộn tức thì với lượng khí sót trong xylanh
- + Tỷ lệ A/F tăng liên tục từ giá trị thấp ở điểm bắt đầu tới giá trị cao ở điểm kết thúc quá trình cháy
- Hình thành hỗn hợp khí bên ngoài xylanh:
  - + Hỗn hợp đồng đều tại thời điểm bắt đầu cháy.
  - + Tỷ lệ A/F không thay đổi trong quá trình cháy
  - + Hỗn hợp cháy và chưa cháy có cùng áp suất và nhiệt độ mặc dù thành phần khác nhau

Với 2 giả định này, phương trình (2.16) được biến đổi thành:

- Trường hợp hình thành hỗn hợp khí bên trong xylanh:

$$\frac{dT_{cyl}}{d\alpha} = \frac{1}{m_{cyl} \left( \frac{\partial u}{\partial T} + \left( \frac{\partial u}{\partial p} \right) \frac{p_{cyl}}{T_{cyl}} \right)} \left[ \frac{dQ_F}{d\alpha} \left( 1 - \frac{u_{cyl} + \left( \frac{\partial u}{\partial p} \right) p_{cyl}}{Q_{low}} \right) - \frac{dQ_W}{d\alpha} \right. \\ \left. - \frac{dm_{BB}}{d\alpha} \left( h_{BB} - u_{cyl} - p_{cyl} \frac{\partial u}{\partial p} \right) - m_{cyl} \frac{\partial u}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{d\alpha} - p_{cyl} \frac{dV_{cyl}}{d\alpha} \left( 1 - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{m_{cyl}}{V_{cyl}} \right) \right] \quad (2.17)$$

- Trường hợp hình thành hỗn hợp khí bên ngoài xylanh:

$$\frac{dT_{cyl}}{d\alpha} = \frac{1}{m_{cyl} \frac{\partial u}{\partial T} + \left( mV \frac{p_{cyl}}{T_{cyl}} \right) \frac{\partial u_v}{\partial p}} \\ \times \left[ \frac{dQ_F}{d\alpha} \left\{ 1 + \frac{1}{Q_{low}} \left[ \left[ u_F + \lambda A_{st} u_A - (1 + \lambda A_{st}) \right] \left( u_v + p_{cyl} \frac{\partial u_v}{\partial p} \right) \right] \right\} \right. \\ \left. - \frac{dQ_W}{d\alpha} - p_{cyl} \frac{dV_{cyl}}{d\alpha} \left( 1 - \frac{m_v}{V_{cyl}} \frac{\partial u_v}{\partial p} \right) - \frac{dm_{BB}}{d\alpha} \left( h_{BB} - u_{cyl} - p_{cyl} \frac{m_v}{m_{cyl}} \frac{\partial u_v}{\partial p} \right) \right] \quad (2.18)$$

Đối với cả 2 trường hợp, mô hình toán học cho năng lượng nhiệt giải phóng trong suốt quá trình cháy và lượng tổn thất nhiệt vách được xác định theo:

Tổn thất nhiệt vách hay quá trình truyền nhiệt từ trong buồng cháy qua thành buồng cháy như nắp xylanh, piston, và lót xylanh:

$$Q_{wi} = A_i \alpha_w (T_{cyl} - T_{wi}) \quad (2.19)$$

Với  $Q_{wi}$  - Nhiệt lượng truyền cho thành (nắp xylanh, piston, lót xylanh)

$A_i$  : Diện tích truyền nhiệt (nắp xy lanh, piston, lót xy lanh)

$\alpha_w$  : Hệ số truyền nhiệt

$T_c$  : Nhiệt độ môi chất trong xy lanh

$T_{wi}$  : Nhiệt độ thành (nắp xy lanh, piston, lót xy lanh).

Hệ số truyền nhiệt tính theo mô hình Woschni 1978:

$$a_w = 130d - 0,2p_{cyl}^{0.8}T_{cyl}^{-0.53} \left[ C_1 C_m + C_2 \frac{V_{cyl} T_{cyl,1}}{p_{cyl,1} \cdot V_{cyl,1}} (p_{cyl} - p_{cyl,0}) \right]^{0.8} \quad (2.20)$$

$C_1 = 2,28 + 0,308 \cdot cu/cm$

$C_2 = 0,00324$  với động cơ phun trực tiếp

$C_2 = 0,00622$  với động cơ phun gián tiếp

$D$  : Đường kính xy lanh

$C_m$  : tốc độ trung bình của piston

$cu$  : tốc độ tiếp tuyến ( $cu = \pi \cdot D \cdot nd/60$  trong đó  $nd$  – tốc độ xoáy của môi chất,  $nd = 0,85n$ )

$V_D$  : Thể tích công tác của 1 xy lanh

$p_c$  : áp suất môi chất trong xy lanh

$p_{cyl,0}$  : áp suất khí trời

$T_{cyl,1}$ : Nhiệt độ môi chất trong xy lanh tại thời điểm đóng xupap nạp

$P_{cyl,1}$ : áp suất môi chất trong xy lanh tại thời điểm đóng xupap nạp

### **2.5.3.2. Quá trình trao đổi khí (quá trình áp suất thấp)**

Quá trình này phải đưa vào lưu lượng khối lượng khí, ra trong phương trình định luật nhiệt động học 1:

$$\frac{d(m_{cyl} \cdot u)}{d\alpha} = -p_{cyl} \cdot \frac{dV}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_w}{d\alpha} - \sum \frac{dm_{in}}{d\alpha} h_{in} - \sum \frac{dm_{out}}{d\alpha} h_{out} \quad (2.21)$$

$h_{in}$  : enthalpy của khí vào xy lanh

$h_{out}$  : enthalpy của khí ra xy lanh

$dm_{in}$  : phần tử khối lượng chảy vào xy lanh

$dm_{out}$  : phần tử khối lượng chảy ra khỏi xy lanh

Với 2 giả định đã được đề cập ở trên ta cũng có thể biến đổi phương trình 2.16 lại như sau:

– Trường hợp hình thành hỗn hợp khí bên trong xylanh:

$$\frac{dT_{cyl}}{d\alpha} = \frac{1}{m_{cyl} \left( \frac{\partial u}{\partial T} + \left( \frac{\partial u}{\partial p} \right) \frac{p_{cyl}}{T_{cyl}} \right)} \left\{ - \sum \frac{dQ_w}{d\alpha} - p_{cyl} \left( 1 - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{m}{V} \right) \frac{dV}{d\alpha} \right. \\ \left. - \left( u_{cyl} + \frac{\partial u}{\partial p} p - h_{in} \right) \frac{dm_{in}}{d\alpha} + \left( u_{cyl} + \frac{\partial u}{\partial p} p - h_{out} \right) \frac{dm_{out}}{d\alpha} - m_{cyl} \frac{\partial u}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{d\alpha} \right\} \quad (2.22)$$

– Trường hợp hình thành hỗn hợp khí bên ngoài xylanh:

$$\frac{dT_{cyl}}{d\alpha} = \frac{1}{m_{cyl} \frac{\partial u}{\partial T} + \left( mV \frac{p_{cyl}}{T_{cyl}} \right) \frac{\partial u_v}{\partial p}} \left\{ - \sum \frac{dQ_w}{d\alpha} - p_{cyl} \left( 1 - \frac{\partial u_v}{\partial p} \frac{m_v}{V} \right) \frac{dV}{d\alpha} \right. \\ \left. - \left[ \left( u_v + p_{cyl} \frac{\partial u_v}{\partial p} \right) \frac{dm_v}{d\alpha} + u_A \frac{dm_A}{d\alpha} + u_F \frac{dm_F}{d\alpha} \right] + h_{in} \frac{dm_{in}}{d\alpha} - h_{out} \frac{dm_{out}}{d\alpha} \right\} \quad (2.23)$$

Sự truyền nhiệt cũng được xác định như phương trình 2.19 nhưng với:

$$a_w = 130d - 0,2p_{cyl}^{0,8} T_{cyl}^{-0,53} (C_3 c_m)^{0,8} \quad (2.24)$$

$$C_3 = 6.18 + 0.417 \frac{c_u}{c_m}$$

Trao đổi nhiệt tại cửa nạp, thải:

$$T_d = (T_u - T_w) \cdot e^{\left( -AW \frac{\alpha_p}{\dot{m} \cdot c_p} \right)} + T_w \quad (2.25)$$

- Đối với dòng chảy ra

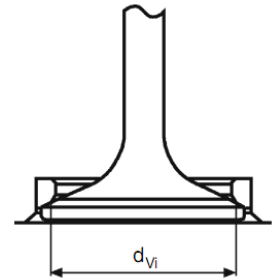
$$\alpha_p = \left[ C_4 + C_5 T_u - C_6 T_u^2 \right] \cdot T_u^{0,44} \cdot \dot{m}^{0,5} \cdot d_{vi}^{-1,5} \cdot \left[ 1 - 0,97 \frac{h_v}{d_{vi}} \right]$$

-Đối với dòng chảy vào

$$\alpha_p = \left[ C_7 + C_8 T_u - C_9 T_u^2 \right] \cdot T_u^{0,33} \cdot \dot{m}^{0,68} \cdot d_{vi}^{-1,5} \cdot \left[ 1 - 0,765 \frac{h_v}{d_{vi}} \right]$$

$\alpha_p$  : hệ số trao đổi nhiệt tại cửa

$T_d$  : Nhiệt độ sau cửa



$T_u$  : Nhiệt độ trước cửa

$T_w$  : Nhiệt độ thành cửa

$A_w$  : diện tích tiết diện lưu thông

$\dot{m}$  : lưu lượng khối lượng

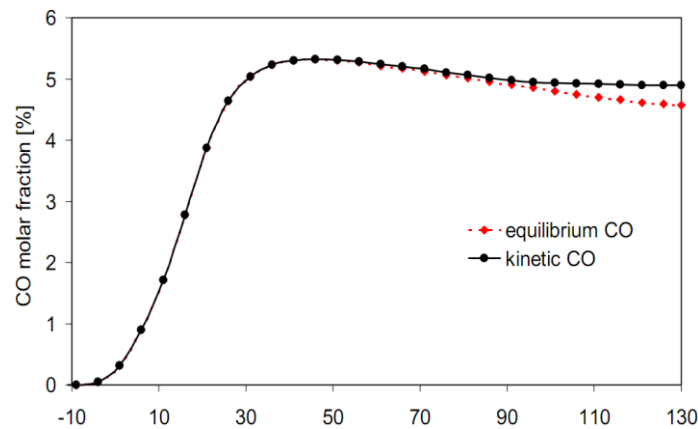
$h_v$  : độ nâng xupap

$d_{vi}$  : đường kính trong của đế xupap.

## **2.6. Quá trình hình thành phát thải**

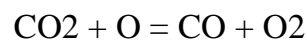
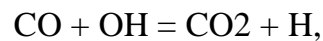
### **2.6.1. Hình thành phát thải CO**

Nhiều dấu hiệu thực nghiệm chỉ ra rằng hàm lượng CO trong khí thải động cơ xăng phải được điều khiển cẩn trọng bởi vì hàm lượng CO này nhỏ hơn giá trị cao nhất đo được trong buồng cháy nhưng lại lớn hơn giá trị cân bằng tương ứng [31]. Thực tế, hàm lượng CO tăng nhanh trong vùng màng lửa, chủ yếu sinh ra bởi sự nhiệt phân do hydrocacbon bị oxi hoá không hoàn toàn, và tiếp tục bị oxi hoá hoàn toàn tạo thành  $CO_2$  thông qua cơ cấu điều khiển động lực học.



Hình 2.5. Tỷ lệ mol CO dự đoán: hàm lượng CO cân bằng và CO động học

Vì thế, giá trị CO có thể được tính toán bằng việc giải phương trình vi phân dựa trên các phản ứng sau:



Và nồng độ CO được tính toán theo công thức:

$$\frac{d[CO]}{dt} = (R_1 + R_2) \left( 1 - \frac{[CO]}{[CO]_e} \right) \quad (2.26)$$



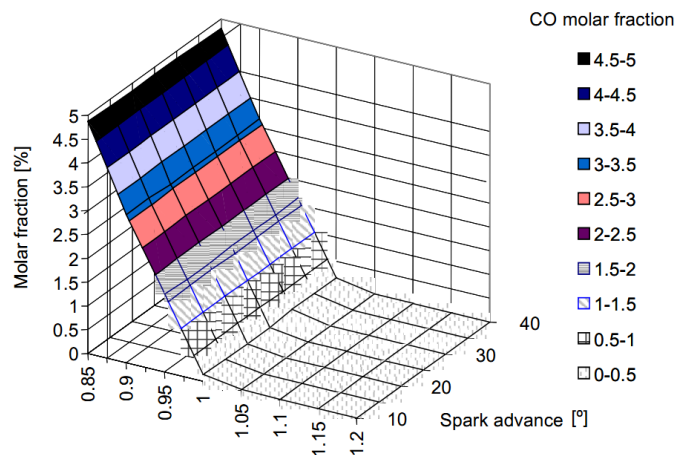
Trong đó:

$[CO]_e$  là hàm lượng cân bằng của CO và các giá trị tốc độ  $R_1$ ,  $R_2$  cho bởi công thức:

$$R_1 = k_1^+ [CO]_e [OH]_e \quad (2.27)$$

$$R_2 = k_2^- [CO]_e [OH]_e \quad (2.28)$$

Trong hình 2.5 hàm lượng CO cân bằng và CO động học là hàm của góc quay trục khuỷu và được biểu thị nhằm nêu lên tầm quan trọng của việc sử dụng cơ cấu động lực học. Tỷ lệ mol CO được dự đoán bởi mô hình này với cùng động cơ thử nghiệm được miêu tả trong hình 2.6 theo hàm của góc đánh lửa sớm và hệ số dư lượng không khí. Từ đó thấy rằng sự phát thải CO được điều khiển chủ yếu bởi tỷ số A/F. Thực tế thì CO giảm khi tăng tỷ số A/F, bởi vì càng nhiều  $O_2$  tham gia phản ứng oxi hoá thì lượng CO càng giảm. Góc đánh lửa sớm không có ảnh hưởng, vì áp suất xy lanh và nhiệt độ khí cháy không ảnh hưởng tới sự hình thành hoá học của CO.



*Hình 2.6. Tỷ lệ mol dự đoán của CO theo hàm giữa góc đánh lửa sớm và hệ số dư lượng không khí*

### **2.6.2. Hình thành HC**

Trong động cơ đánh lửa cưỡng bức hydrocacbons không cháy có từ nhiều nguồn khác nhau. Vì thế việc mô tả hoàn chỉnh quá trình hình thành chúng là một công việc khó khăn. Tuy nhiên, mô hình phương pháp luận giải thích cho cơ chế hình thành chính có thể được áp dụng để nghiên cứu hình thành HC theo hàm với

các thông số hoạt động của động cơ. Những nguồn chính của hydrocacbon chưa cháy có thể được xác định trong động cơ đánh lửa cưỡng bức (D'Errico cùng cộng sự [32]):

- Tỷ lệ khí nạp qua khe hở và không cháy khi màng lửa tắt.
- Hơi nhiên liệu bị hấp thụ vào lớp màng dầu và kết tủa trên thành xy lanh trong suốt kỳ nạp và kỳ nén.
- Hiệu ứng cháy sát vách
- Hiện tượng cháy không hoàn toàn hay bỏ lửa xảy ra khi chất lượng cháy kém.
- Dòng chảy trực tiếp của hơi nhiên liệu vào hệ thống xả ở động cơ PFI

Hai cơ chế đầu và đặc biệt là sự hình thành do khe hở được xem là quan trọng nhất và cần phải được chú ý trong mô hình nhiệt động học. Hiệu ứng cháy sát vách và cháy không hoàn toàn không thể miêu tả vật lý theo phương pháp vô hướng nhưng có thể đưa ra từ những mối tương quan bán thực nghiệm.

Phương trình tổng quát về tốc độ hình thành HC:

$$\frac{d[HC]}{dt} = -c_{HC} A_{HC} e^{-E_{HC}/RT_{gw}} [HC]^a [O_2]^b$$

với  $A_{HC} = 7,7 \times 10^9 ((m^3/mol)^{a+b-1}/s)$

$$E_{HC} = 156222 \text{ (J/mol)}$$

$$R = 8314 \text{ (J/mol K)}$$

$$T_{gw} = (T_{gas} + T_{cyl.wall})/2$$

$$[HC] \text{ và } [O_2] \text{ là mật độ của HC và } O_2 \text{ (mol/m}^3\text{)}$$

$c_{HC}$  là hằng số điều chỉnh tốc độ phản ứng tùy thuộc từng chế độ, từng loại động cơ.

$a$  và  $b$  là các hằng số,  $a = b = 1$ .

#### **2.6.2.1. Cơ chế khe hở**

Những kẽ hở là những vùng hẹp mà màng lửa không thể lan truyền tới. Những kẽ hở đáng lưu ý nhất là kẽ hở giữa xec-măng và thành xy lanh và kẽ hở đỉnh piston. Trong suốt quá trình nén, hỗn hợp không cháy bị đẩy vào những kẽ hở, làm cho nhiệt trao đổi tới thành xy lanh giảm xuống. Trong suốt quá trình cháy, áp suất

tiếp tục tăng lên và đẩy hỗn hợp khí không cháy khác vào các khe hở. Màng lửa tới bị dập tắt nên khí chưa cháy lại bị đẩy ra khỏi các kẽ hở khi áp suất trong xy lanh bắt đầu giảm.

Để miêu tả quá trình này, mô hình giả định rằng áp suất trong xy lanh và trong kẽ hở là như nhau và nhiệt độ của hỗn hợp khí trong các kẽ hở bằng với nhiệt độ piston. Khối lượng hỗn hợp khí trong kẽ hở tại mọi thời điểm là:

$$m_{kh} = \frac{p.V_{kh}.M}{R.T_{piston}} \quad (2.29)$$

Trong đó:

$m_{kh}$  : là khối lượng khí nạp chưa cháy trong kẽ hở [kg]

$p$ : áp suất xy lanh [Pa]

$V_{kh}$  : Tổng thể tích kẽ hở [m<sup>3</sup>]

$M$ : Khối lượng mol phân tử khí chưa cháy [kg/kmol]

$R$ : Hằng số khí [J/kmol K]

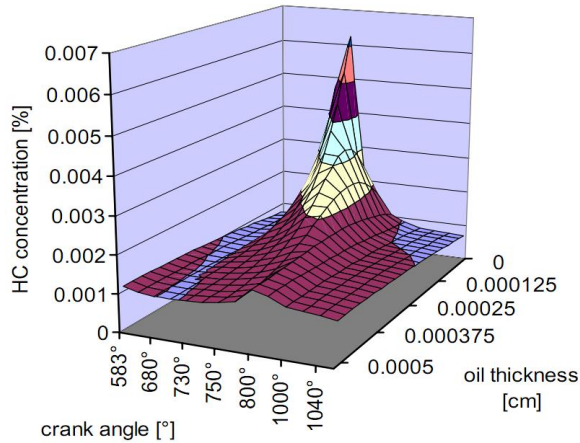
$T_{piston}$  : Nhiệt độ piston [K]

#### **2.6.2.2. Cơ chế hấp thụ/ giải phóng HC**

Nguồn hydrocarbon quan trọng thứ hai là sự có mặt của dầu bôi trơn trong nhiên liệu hay trên thành xy lanh của buồng cháy. Thực tế, trong quá trình nén, áp suất hơi nhiên liệu tăng, vì thế theo định luật Henry, sự hấp thụ xảy ra ngay cả khi dầu đã bão hoà trong suốt quá trình nạp. Trong suốt quá trình cháy, nồng độ hơi nhiên liệu trong khí cháy giảm về không nên hơi nhiên liệu đã bị hấp thụ trước đó sẽ được giải phóng ra từ dầu lỏng thành khí cháy. Độ hoà tan của nhiên liệu liên quan đến phân tử khối, vì thế lớp dầu tạo HC phụ thuộc vào độ hoà tan khác nhau của từng loại hydrocarbon trong dầu bôi trơn. Kết quả là, đối với nhiên liệu khí thông thường như metan hay propan, do khối lượng phân tử thấp, cơ chế này không ảnh hưởng nhiều. Giả thuyết về sự tăng sự hấp thụ/ giải phóng HC như sau:

- Lớp dầu có nhiệt độ bằng nhiệt độ thành xy lanh
- Dầu tạo thành từ những phân tử hydrocarbon đơn, hoá hơi hoàn toàn trong hỗn hợp khí mới

- Dầu có sự hiện diện  $C_{30}H_{62}$ , có đặc tính giống dầu bôi trơn SAE5W20
- Sự khuếch tán nhiên liệu trong lớp dầu là một yếu tố giới hạn bởi vì hằng số khuếch tán trong chất lỏng nhỏ hơn 10000 lần so với trong chất khí.



*Hình 2.7. Tỷ lệ mol dự đoán của HC theo hàm giữa góc đánh lửa sớm và hệ số dư lượng không khí*

Theo những giả thuyết đó, sự phân bố khối lượng trong lớp dầu được tính toán trong phương trình khuếch tán sau:

$$\frac{\partial w_F}{\partial t} - D \frac{\partial^2 w_F}{\partial r^2} = 0 \quad (2.30)$$

Trong đó:  $w_F$  : Tỷ lệ khối lượng của nhiên liệu trong lớp dầu [-]

$t$ : Thời gian [s]

$r$ : Vị trí tâm lớp dầu (tính từ thành xy lanh) [m]

$D$ : Hệ số khuếch tán tương ứng (nhiên liệu - dầu) [m/s]

$$D = 7,4 \cdot 10^{-8} \cdot M^{0,5} \cdot T \cdot v_f^{-0,6} \cdot \mu^{-1} \quad (2.31)$$

Trong đó :  $M$ : Khối lượng mol phân tử của dầu [g/mol]

$T$ : Nhiệt độ dầu [K]

$v_f$  : Thể tích mol của nhiên liệu ở điều kiện sôi thông thường [cm<sup>3</sup>/mol]

$\mu$ : Độ nhớt của dầu [centipoaso]

### **2.6.2.3. Hiệu ứng cháy cục bộ**

Hiệu ứng cháy cục bộ và cháy sát vách không thể miêu tả theo phương pháp

vô hướng. Lavoie cùng cộng sự [33] đã đưa ra giả thuyết về mối tương quan bán thực nghiệm, trong đó tỷ lệ khí nạp chưa cháy duy trì trong xy lanh  $F_{prop}$  được tính toán bằng cách áp dụng phương trình sau:

$$F_{prop} = F.C_1 \cdot \exp \left\{ \frac{\mathcal{G}_{EVO} - \mathcal{G}_{90}}{C_2(\mathcal{G}_{90} - \mathcal{G}_0)} \right\} \quad (2.32)$$

$$C_1 = 0,0032 + \frac{(\phi - 1)}{22} \text{ khi } \phi < 1$$

$$C_1 = 0,003 + ((\phi - 1).1,1)^4 \text{ khi } \phi > 1$$

$$C_2 = 0,35$$

Trong đó: F: Thông số hiệu chỉnh [-]

$\phi$  : Tỷ số cân bằng [-]

$\mathcal{G}_0$  : Thời điểm 0% nhiên liệu chưa cháy [0TK]

$\mathcal{G}_{90}$  : Thời điểm 90% nhiên liệu chưa cháy [0TK]

$\mathcal{G}_{EVO}$  : Thời điểm van xả mở [<sup>0</sup>TK]

### **2.6.3. Hình thành phát thải NOx**

Cơ chế hình thành NOx trong mô phỏng BOOST dựa trên cơ sở Patta và Hafner [34]. Quá trình hình thành của chúng được thể hiện qua sáu phương trình phản ứng theo cơ chế Zeldovich. Sự hình thành của NOx được tính toán theo thông số nhập đầu vào như tốc độ động cơ, nhiên liệu cũng như áp suất, nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí  $\lambda$ , thể tích và khối lượng, thời gian cũng như số vùng cháy. Quá trình tính toán được bắt đầu lúc thời điểm cháy bắt đầu. Mặc dù trong khí thải NOx của động cơ xăng, NO chiếm phần lớn (90-98%) nhưng việc tính toán N<sub>2</sub>O cũng không thể bỏ qua. Lượng N<sub>2</sub>O sinh ra có mối quan hệ như sau:

$$\frac{N_2O}{N_2\sqrt{O_2}} = 1.1802 \cdot 10^{-6} T_1^{0.6125} \exp \left[ \frac{-18.71}{RT} \right] \quad (2.33)$$

Tốc độ hình thành NOx được tính như sau:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2(1 - \alpha^2) \left[ \frac{R_{1s}}{1 + \alpha K_2} + \frac{R_{4s}}{1 + K_4} \right] \frac{p}{RT} \quad (2.34)$$

Tốc độ phân hủy NO [mol/cm<sup>3</sup>] được tính toán như sau:

$$r_{NO} = C_{PostProcMult} \cdot C_{kineticMult} \cdot 2,0 \cdot (1 - \alpha_2) \frac{r_1}{1 + \alpha \cdot AK_2} \frac{r_4}{1 + AK_4} \quad (2.34)$$

$$\text{Với } \alpha = \frac{C_{NO,act}}{C_{NO,eq}} \cdot \frac{1}{C_{PostProcMult}} \quad ; \quad AK_2 = \frac{r_1}{r_2 + r_3} \quad ; \quad AK_4 = \frac{r_4}{r_5 + r_6}$$

## **KẾT LUẬN CHƯƠNG 2**

Phần mềm AVL-Boost bắt đầu được phát triển từ năm 1992, qua một giai đoạn phát triển từ đó đến nay, phần mềm này đã và đang ngày càng được phát triển hơn nữa. Phiên bản mới nhất của phần mềm AVL-Boost hiện nay là AVL-Boost 2010.

Tất cả các kết quả có thể được đem so sánh với các điểm đo hoặc kết quả tính toán trước đó. Ngoài ra, phần mềm còn cho phép trình diễn kết quả dạng hình động. Điều này góp phần cho việc phát triển các giải pháp tối ưu với các vấn đề của người dùng.

AVL-boost mô phỏng động cơ 2 kỳ, 4 kỳ, động cơ không tăng áp, động cơ tăng áp...

- Mô phỏng các chế độ làm việc, chế độ chuyển tiếp của động cơ.
- Tính toán thiết kế và tối ưu hóa quá trình làm việc của động cơ như quá trình cháy, quá trình trao đổi khí, quá trình phát thải độc hại...
- Có khả năng kết nối với các phần mềm khác (liên kết động) để mô phỏng với các dữ liệu động.

Các ứng dụng điển hình của phần mềm AVL-Boost bao gồm 8 ứng dụng sau :

- Xác định đặc tính mômen, tiêu hao nhiên liệu
- Thiết kế đường nạp, thải
- Tối ưu hóa thời điểm đóng mở xupáp
- Phối hợp với cụm tăng áp, van xả
- Phân tích về âm thanh (độ ồn trên đường nạp, thải)
- Phân tích quá trình cháy và hình thành khí thải
- Luân hồi khí thải
- Độ thích ứng của cụm tăng áp

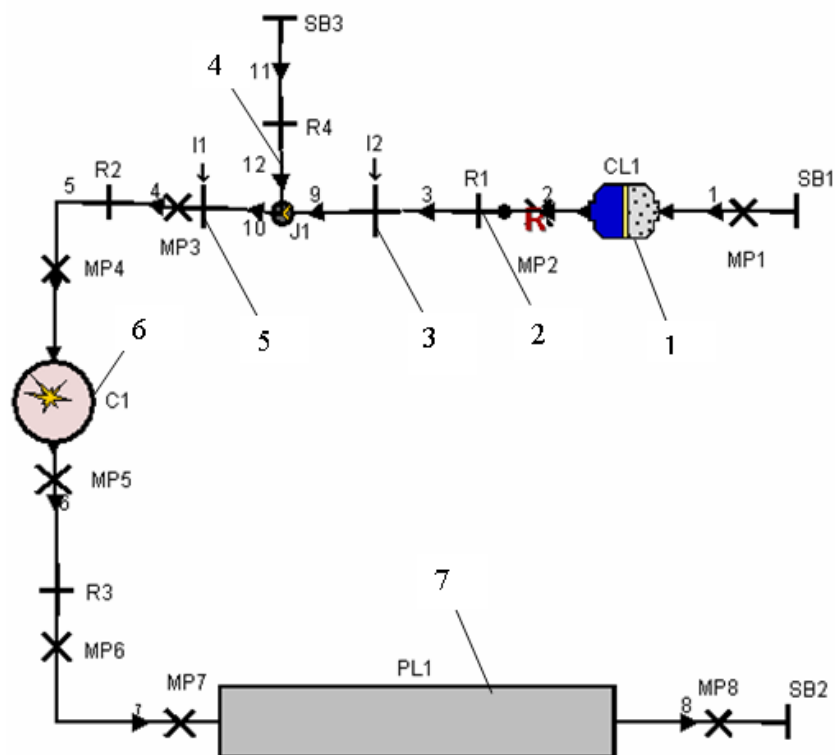
### CHƯƠNG 3

## MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG HỖN HỢP XĂNG – HHO

### 3.1. Quy trình mô phỏng

#### 3.1.1. Xây dựng mô hình

Dựa trên động cơ thực tế, từ những thành phần tử có sẵn trong AVL BOOST và các thông số kỹ thuật của động cơ (bảng 3.2) ta xây dựng được mô hình động cơ xe máy sử dụng hỗn hợp xăng + khí HHO có bổ sung không khí như sau:



Hình 3.1. Mô hình mô phỏng

1. lọc khí; 2. phần tử cản dòng; 3. bộ chế hoà khí; 4. đường dẫn khí bổ sung  
5. vòi phun khí HHO; 6. xylanh; 7. bình ổn áp (bình tiêu âm)

Sau khi chọn xong các mô hình phần tử, ta tiến hành nối các phần tử đó lại bằng cách ấn vào **Connection**. Trên các phần tử sẽ xuất hiện những chấm tròn màu đen, sử dụng chuột trái để nối các phần tử đó lại và nối đúng chiều đi của dòng khí cũng như của hỗn hợp nhiên liệu (trên đường nạp). Kết thúc quá trình bằng cách ấn chuột phải hoặc ấn Esc.



**Bảng 3.1. Số lượng các phần tử để hoàn thiện mô hình**

TT	Tên phần tử	Ký hiệu	Số lượng
1	Điều kiện biên (System Boundary)	SB	3
2	Lọc khí (Air Cleaner)	CL	1
3	Cản dòng (Restriction)	R	4
4	Vòi phun (bộ chế hoà khí) (Injector)	I	1
5	Vòi phun HHO (Injector)	I	1
6	Đường dẫn khí bổ sung	-	1
7	Phân tử nối (Junction)	J	1
8	Xylanh (Cylinder)	C	1
9	Bộ xúc tác (Plenum)	PL	1
10	Điểm đo (Measuring Point)	MP	10
11	Đường ống (Pipe)	-	1

**Bảng 3.2. Thông số kỹ thuật của động cơ**

Stt	Thông số kỹ thuật	
1	Kiểu động cơ	Đánh lửa cưỡng bức
2	Số xylanh	1
3	Đường kính xylanh	50 mm
4	Hành trình piston	49,5 mm
5	Dung tích xylanh	97,1 cm <sup>3</sup>
6	Tỉ số nén	9:1
7	Độ nâng xupáp	10 mm
8	Góc mở sớm xupáp nạp	2 <sup>0</sup>
9	Góc đóng muộn xupáp nạp	25 <sup>0</sup>
10	Góc mở sớm xupáp xả	33 <sup>0</sup>
11	Góc đóng muộn xupáp xả	0 <sup>0</sup>
12	Góc đánh lửa sớm	15 <sup>0</sup>
13	Bộ chế hòa khí (đường kính ống Venturi)	16mm

### **3.1.2. Quy trình mô phỏng**

- *Bước 1:* Chạy nhiên liệu xăng RON 92

Xác định đặc tính tốc độ của động cơ khi bướm ga giữ nguyên ở 30%, 50% và 70% và góc đánh lửa sớm  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  và  $18^\circ$  trước điểm chết trên.

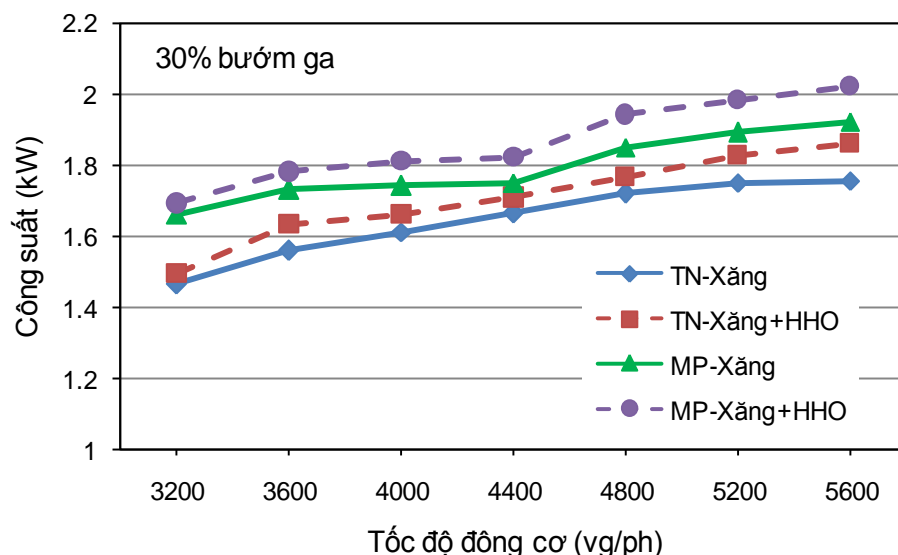
- *Bước 2:* Bổ sung thêm khí HHO và không khí

Xác định đặc tính tốc độ của động cơ khi sử dụng hỗn hợp xăng + khí HHO có bổ sung thêm không khí vào đường nạp ở 30%, 50% và 70% bướm ga và đánh lửa ở  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  và  $18^\circ$  trước điểm chết trên.

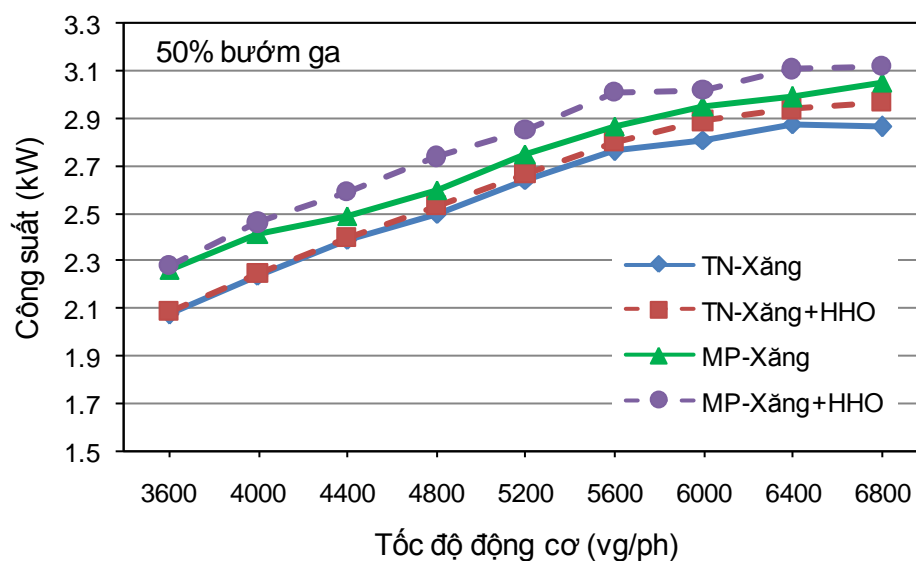
## **3.2. Kết quả thử nghiệm kiểm chứng mô hình**

### **3.2.1. Công suất động cơ**

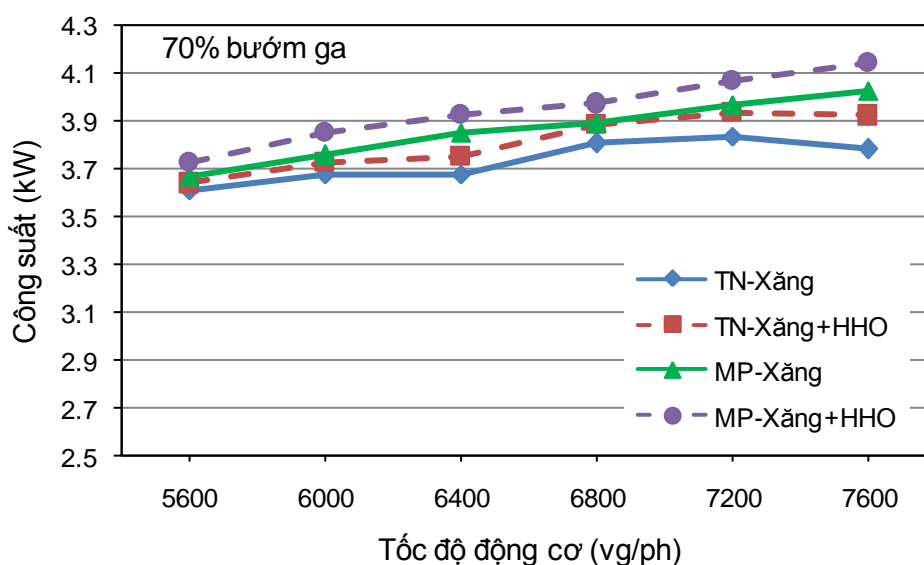
Hình 3.2 – 3.4 thể hiện diễn biến của công suất động cơ khi sử dụng xăng và xăng+HHO có bổ sung không khí theo mô phỏng trên AVL Boost và thực nghiệm. Kết quả thực nghiệm và mô phỏng đều cho thấy khi bổ sung thêm khí HHO vào đường nạp, công suất động cơ được cải thiện. Tuy nhiên, về giá trị tuyệt đối, công suất thu được trên mô phỏng là cao hơn so với thực nghiệm. Điều này có thể được giải thích thông qua điều kiện mô phỏng. Trên phần mềm mô phỏng, một vài thông số đã được tuyến tính hoá như hình thành hỗn hợp “hoàn hảo”, xéc-măng và xy lanh kín khít hoàn toàn ... Vì vậy, công suất trên mô phỏng cao hơn so với thực nghiệm.



*Hình 3.2. Công suất động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 30% độ mở bướm ga*



Hình 3.3. Công suất động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 50% độ mở bướm ga



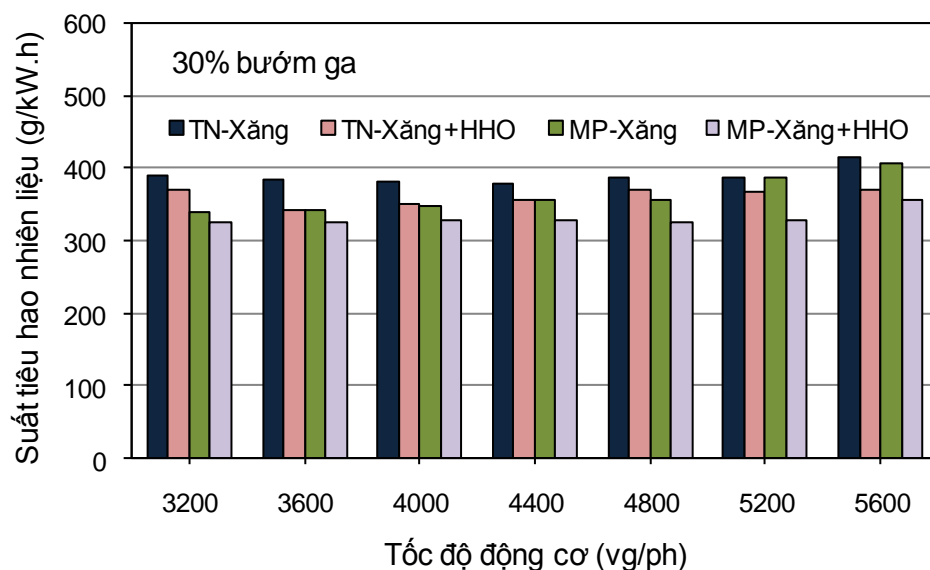
Hình 3.4. Công suất động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 70% độ mở bướm ga

***Bảng 3.3. Sự thay đổi của công suất động cơ trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng***

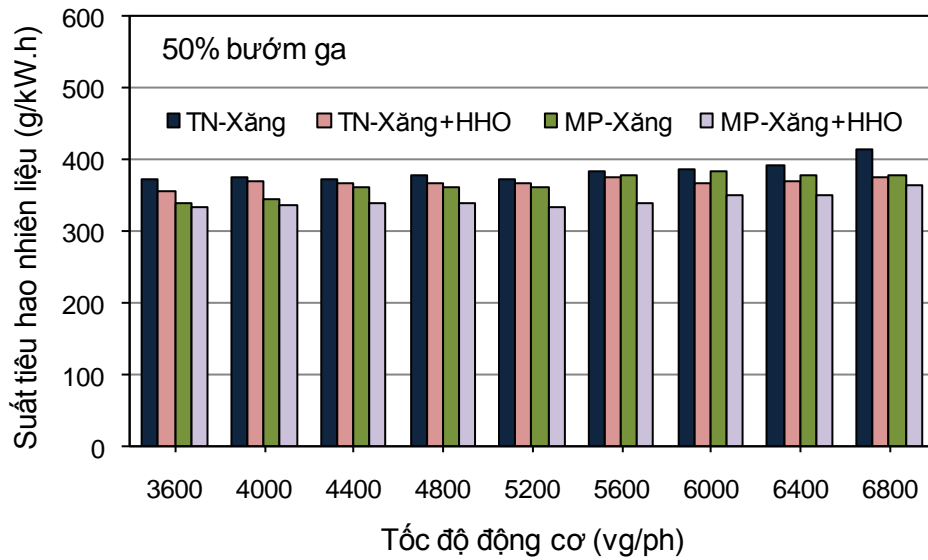
Vị trí bướm ga	Bướm ga mở 30%	Bướm ga mở 50%	Bướm ga mở 70%
Mô phỏng	3,95%	3,22%	2,28%
Thử nghiệm	3,68%	1,50%	2,10%

### **3.2.2. Suất tiêu hao nhiên liệu**

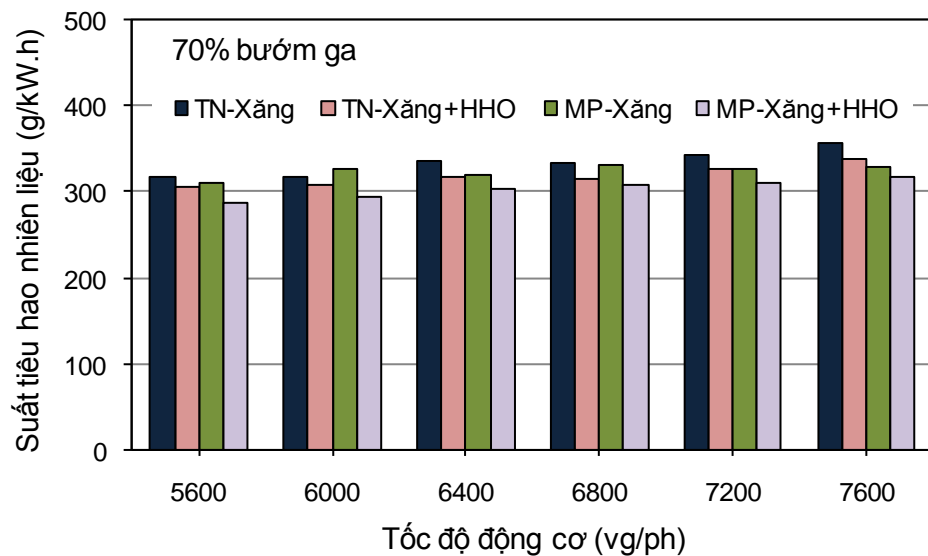
Hình 3.5 – 3.7. Do lượng nhiên liệu đi vào được quyết định bởi dòng khí nạp đi vào, vì bị khí HHO và không khí bổ sung chiếm chỗ, nên lượng khí đi vào giảm xuống. Vì vậy lượng nhiên liệu đi vào xylanh cũng giảm, trong khi công suất động cơ lại tăng lên khi bổ sung khí HHO và không khí. Vì vậy suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ giảm. Do trong mô phỏng, nhiều điều kiện đã được tối ưu hoá nhằm đơn giản phép tính, nên công suất động cơ cao hơn và suất tiêu hao nhiên liệu thấp hơn so với kết quả thực nghiệm.



***Hình 3.5. Suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 30% độ mở bướm ga***



Hình 3.6. Suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 50% độ mở bướm ga



Hình 3.7. Suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng+HHO ở 70% độ mở bướm ga

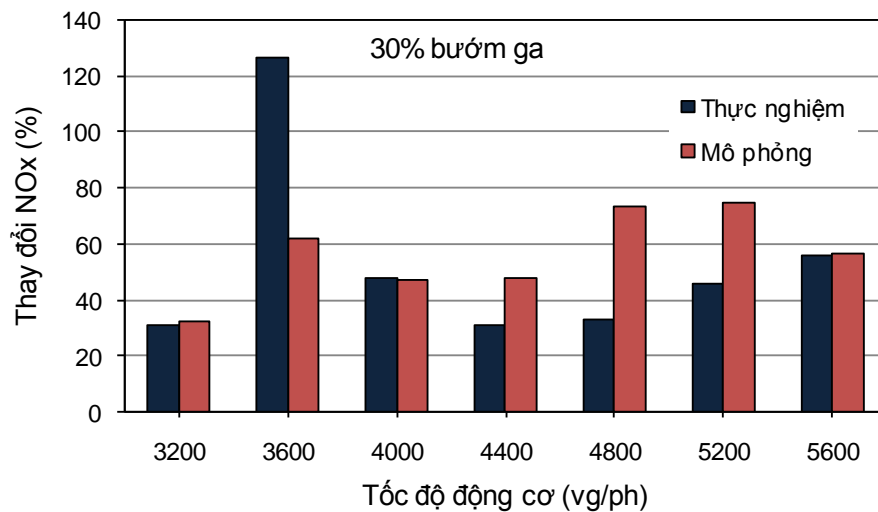
**Bảng 3.4. Sự thay đổi của suất tiêu hao nhiên liệu trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng**

Độ mở bướm ga	Bướm ga mở 30%	Bướm ga mở 50%	Bướm ga mở 70%
Mô phỏng	8,4%	6,1%	6,65%
Thử nghiệm	7,14%	3,78%	4,6%

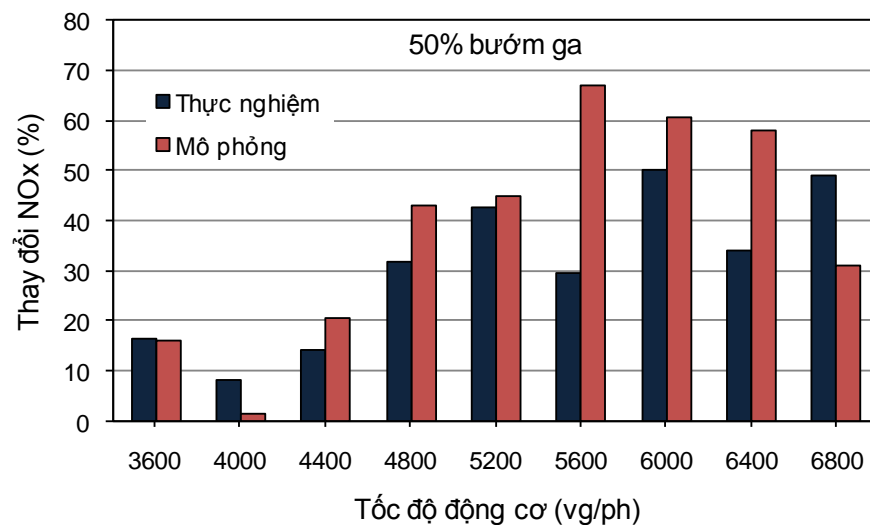
### 3.2.3. Các thành phần độc hại trong khí xả động cơ

#### - Phát thải NOx

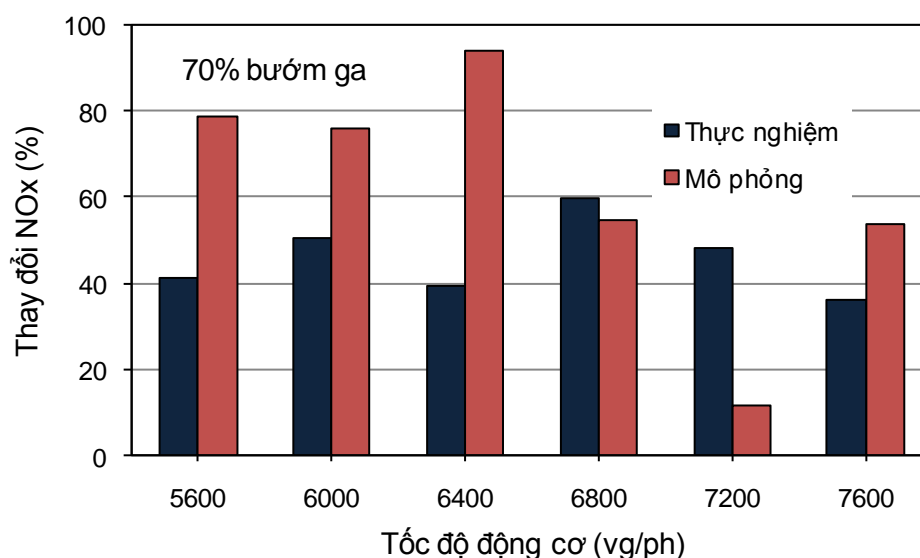
Hình 3.8 – 3.10 thể hiện sự thay đổi của nồng độ NOx trong phát thải động cơ ở các tốc độ khác nhau, tại 30%, 50% và 70% bướm ga khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng + HHO. Kết quả cho thấy, NOx tăng khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp, nồng độ NOx theo mô phỏng tăng nhiều hơn so với thực nghiệm. Trong mô phỏng, do hỗn hợp được hình thành “hoàn hảo”, không có tổn thất do lọt khí ... nên quá trình cháy bên trong xylanh sẽ diễn ra tốt hơn, nhiệt độ quá trình cháy cũng cao hơn, vì vậy sự thay đổi NOx trong mô phỏng sẽ lớn hơn.



Hình 3.8. Sự thay đổi nồng độ NOx khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 30% vị trí bướm ga



Hình 3.9. Sự thay đổi nồng độ NOx khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 50% vị trí bướm ga



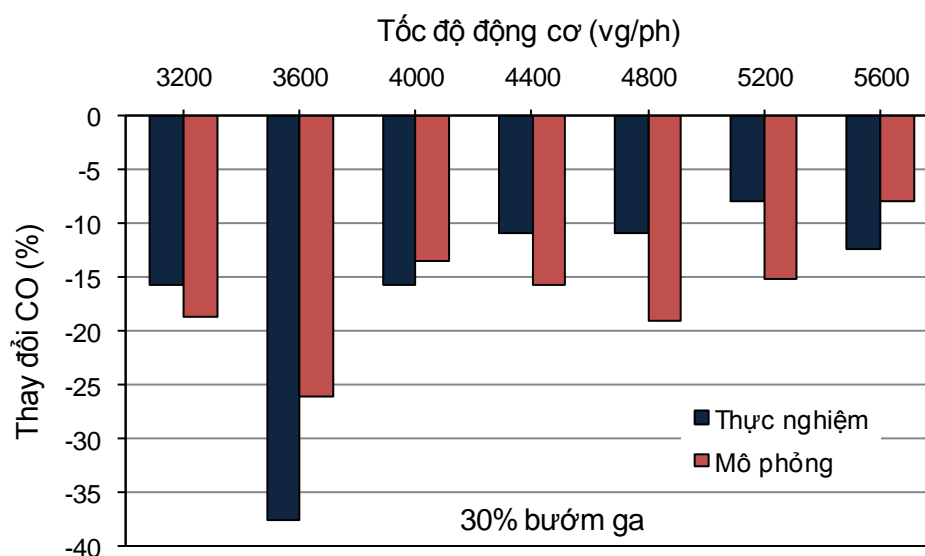
Hình 3.10. Sự thay đổi nồng độ NOx khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 70% vị trí bướm ga

**Bảng 3.5. Sự thay đổi của nồng độ phát thải NOx trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng**

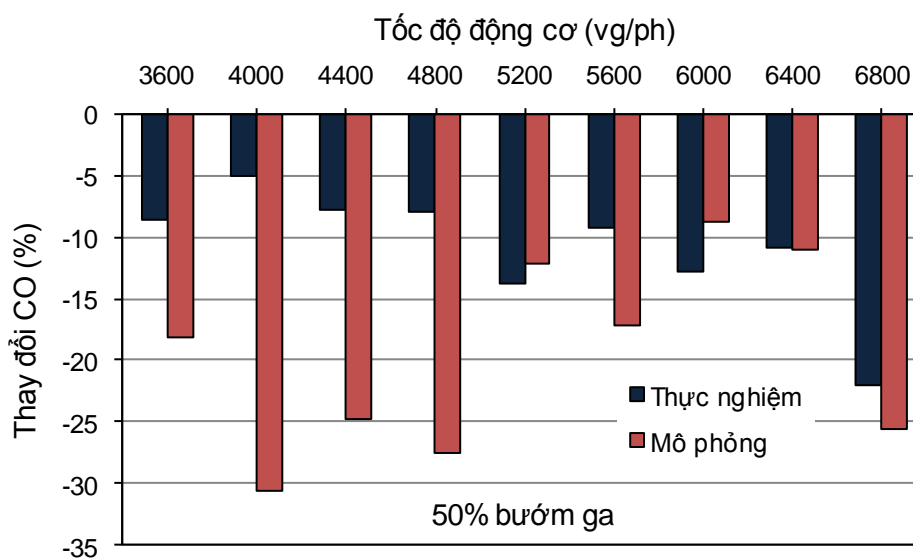
Độ mở bướm ga	Bướm ga mở 30%	Bướm ga mở 50%	Bướm ga mở 70%
Mô phỏng	56,17%	38,07%	61,35%
Thực nghiệm	53,06%	30,66%	45,76%

#### - Phát thải CO

Hình 3.11 – 3.13 cho thấy sự thay đổi của nồng độ Monoxit cacbon (CO) trong khí xả của động cơ theo mô phỏng và thực nghiệm có xu hướng giống nhau ở 30%, 50% và 70% vị trí bướm ga, CO khi sử dụng hỗn hợp xăng+HHO có bổ sung không khí thấp hơn so với khi sử dụng xăng. Ta thấy, theo mô phỏng, CO giảm nhiều hơn so với thực nghiệm. Điều này có thể giải thích thông qua các điều kiện đã được tối ưu hoá trên mô phỏng nhằm đơn giản phép tính, nên nhiệt độ cháy tăng, khả năng CO phản ứng tiếp với Oxy tạo thành CO<sub>2</sub> là tốt hơn. Vì vậy theo mô phỏng, CO giảm nhiều hơn so với kết quả thực nghiệm.

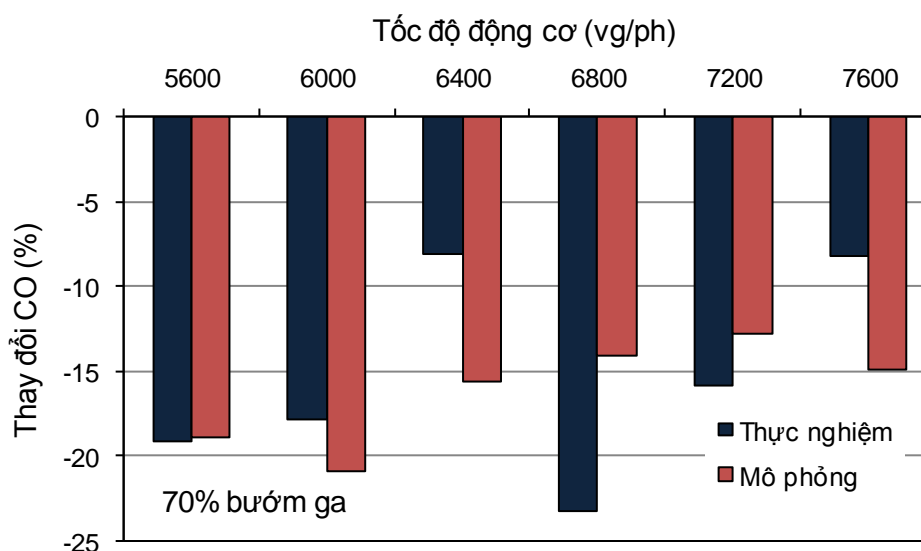


Hình 3.11. Sự thay đổi nồng độ CO khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 30% vị trí bướm ga



Hình 3.12. Sự thay đổi nồng độ CO khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 50% vị trí bướm ga





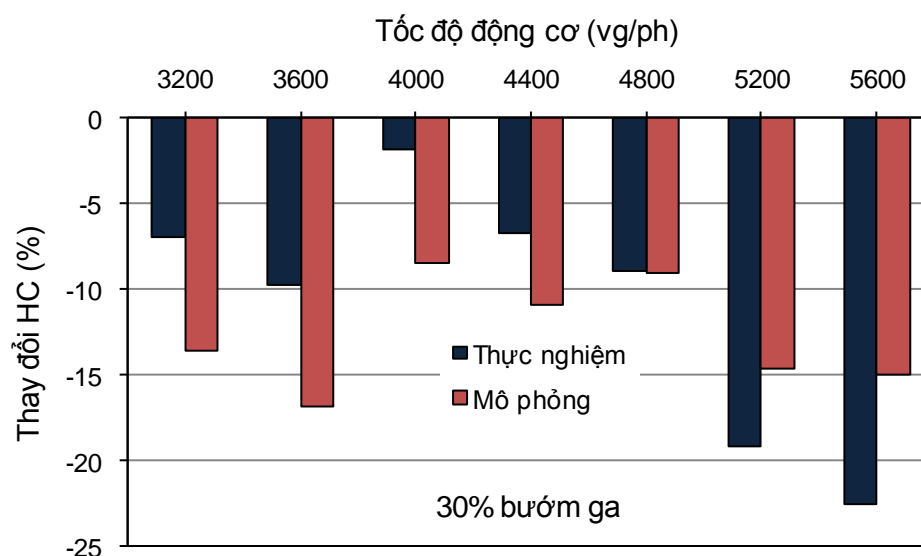
Hình 3.13. Sự thay đổi nồng độ CO khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 70% vị trí bướm ga

Bảng 3.6. Sự thay đổi của nồng độ phát thải CO trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng.

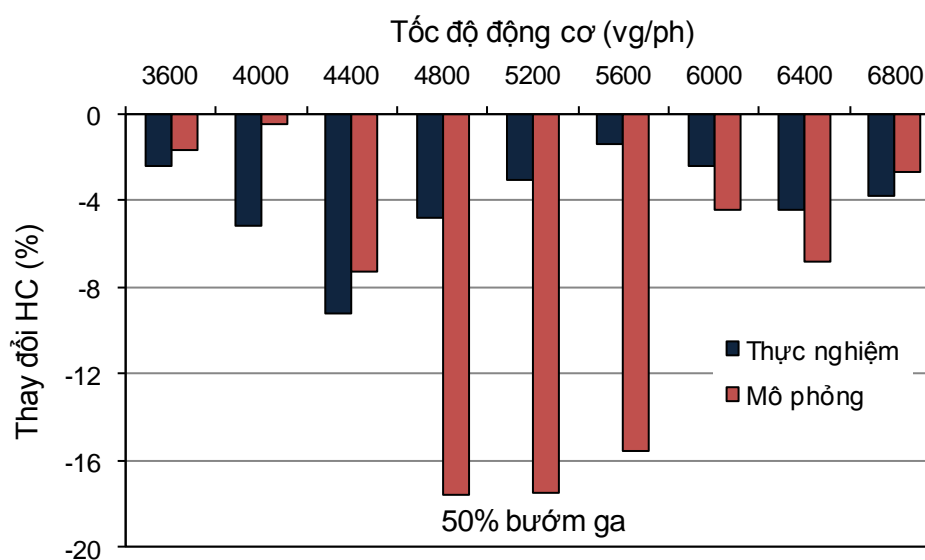
Vị trí bướm ga	Bướm ga mở 30%	Bướm ga mở 50%	Bướm ga mở 70%
Mô phỏng	16,56%	19,54%	16,2%
Thử nghiệm	15,93%	10,93%	15,39%

#### - Phát thải HC

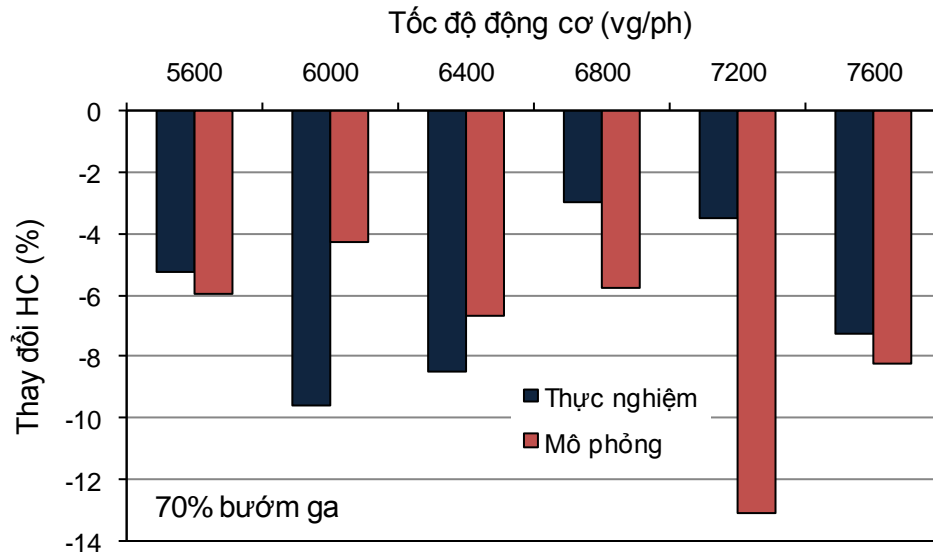
Hình 3.14 – 3.16 thể hiện sự thay đổi của nồng độ HC trong thành phần phát thải của động cơ khi bổ sung khí HHO và không khí ở 30%, 50% và 70% bướm ga. Kết quả thực nghiệm và mô phỏng cho thấy, nồng độ HC giảm khi bổ sung khí HHO vào đường nạp. Do nhiệt độ cháy tăng lên và khoảng cháy của Hydro rất rộng, nên những vùng có hỗn hợp nhạt vẫn có thể cháy được, vì vậy HC sẽ giảm xuống. Tuy nhiên, do nhiệt độ cháy trong mô phỏng cao hơn so với trên thực tế, nên theo kết quả mô phỏng, HC giảm nhiều hơn.



Hình 3.14. Sự thay đổi nồng độ HC khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 30% vị trí bướm ga



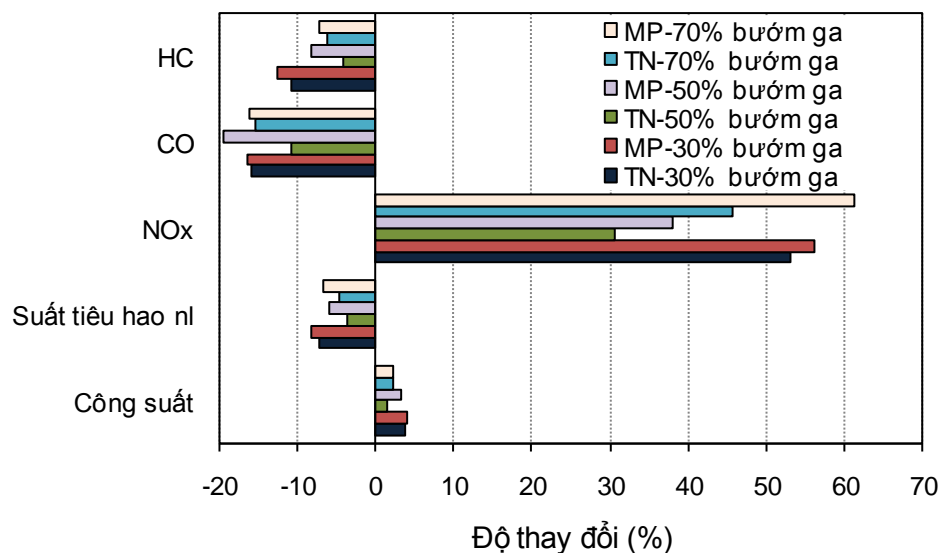
Hình 3.15. Sự thay đổi nồng độ HC khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 50% vị trí bướm ga



Hình 3.16. Sự thay đổi nồng độ HC khi bổ sung khí HHO và không khí vào đường nạp so với khi sử dụng xăng ở 70% vị trí bướm ga

Bảng 3.7. Sự thay đổi của nồng độ phát thải HC trong dải tốc độ làm việc giữa mô phỏng và thực nghiệm khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng.

Vị trí bướm ga	Bướm ga mở 30%	Bướm ga mở 50%	Bướm ga mở 70%
Mô phỏng	12,65%	8,23%	7,33%
Thử nghiệm	10,87%	4,07%	6,19%



Hình 3.17. Sự thay đổi của đặc tính động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các giá trị độ mở bướm ga

### **KẾT LUẬN CHƯƠNG 3**

Trong quá trình mô phỏng động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu xăng – HHO.

Nhận thấy các chỉ số , suất tiêu hao nhiên liệu, các phát thải NO<sub>x</sub>, CO và HC ở các vị trí bướm ga khác nhau.

Tại mọi vị trí bướm ga, sự thay đổi của các thông số này theo mô phỏng là rõ ràng hơn so với thực nghiệm.

Theo mô phỏng, trung bình trong toàn bộ dải tốc độ làm việc, mọi vị trí bướm ga, công suất động cơ tăng 3,15%; suất tiêu hao nhiên liệu giảm 7,05%; phát thải NO<sub>x</sub> tăng 51,86%; CO giảm 17,44%; HC giảm 9,4%. Trong khi theo thực nghiệm, công suất tăng 2,42%; suất tiêu hao nhiên liệu giảm 5,18%; NO<sub>x</sub> tăng 43,16%; CO và HC giảm 14,08% và 7,04%.

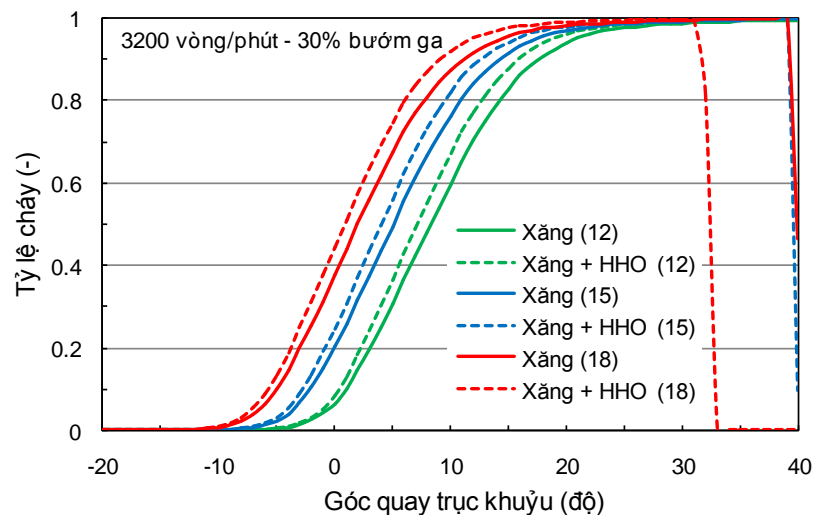
Sai số giữa mô phỏng và thực nghiệm nhỏ hơn 5%.

## CHƯƠNG 4

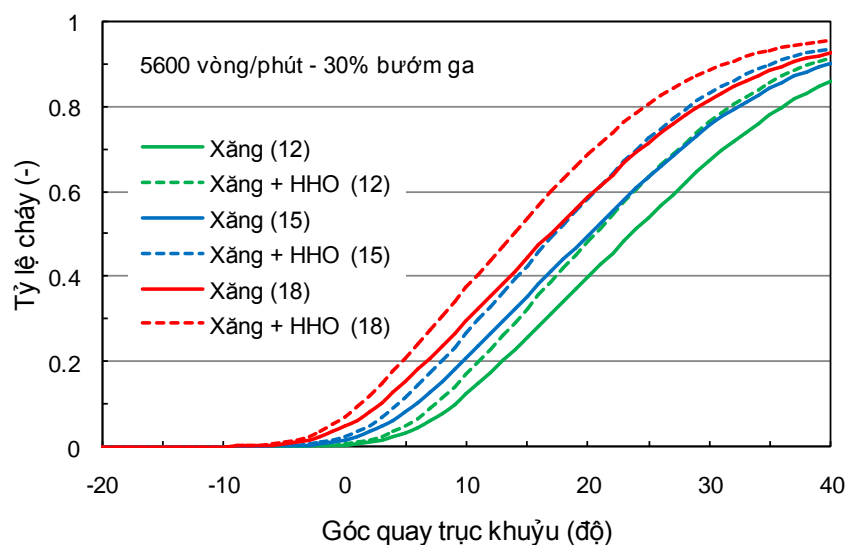
### NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH CHÁY CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG CÓ BỔ SUNG HHO

#### 4.1. Tốc độ cháy của xăng và hỗn hợp xăng+HHO

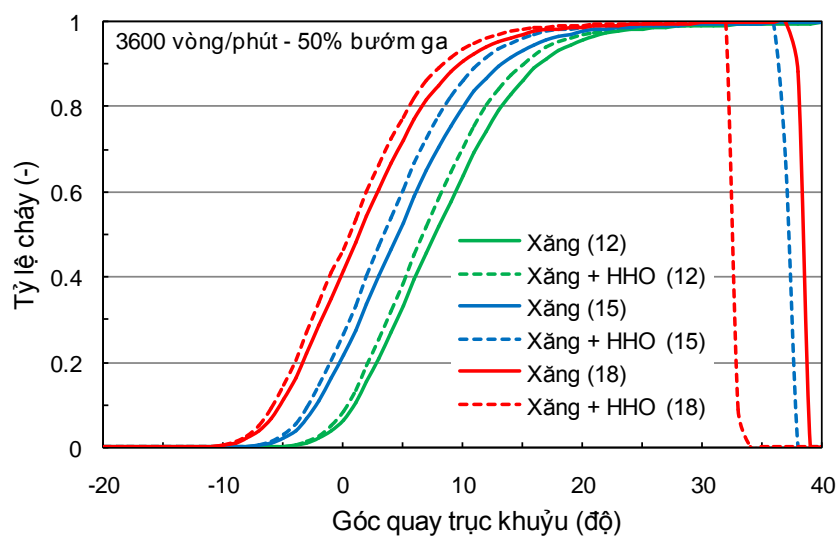
Khi bổ sung khí HHO vào đường nạp động cơ, do khả năng bắt cháy nhanh của hydro (thành phần chính của HHO) nên thời điểm cháy bắt đầu sớm hơn, thời gian cháy trễ rút ngắn. Vì tốc độ cháy của hydro lớn (gấp khoảng 7 lần so với tốc độ cháy của xăng) nên khi bổ sung khí HHO vào đường nạp, thời gian cháy giảm, quá trình cháy kết thúc sớm hơn. Hình 4.1 - 4.6. thể hiện tỷ lệ cháy (được định nghĩa là tỷ số giữa lượng hỗn hợp đã cháy chia cho tổng khối lượng hỗn hợp có trong xy lanh) ở ba góc đánh lửa khác nhau khi có và không có khí HHO bổ sung. Ta có thể thấy, ở tốc độ thấp, góc đánh lửa  $18^{\circ}$  trước điểm chết trên, quá trình cháy trong xy lanh khi bổ sung khí HHO kết thúc trước so với khi sử dụng xăng khoảng  $7^{\circ}$  khi bướm ga mở 30%; khoảng  $5^{\circ}$  khi bướm ga mở 50%.



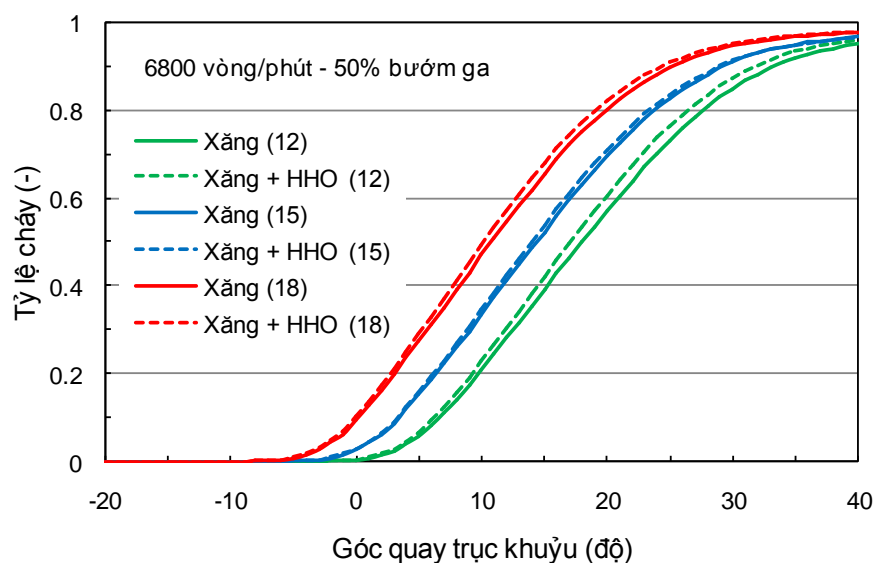
Hình 4.1. Tỷ lệ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga



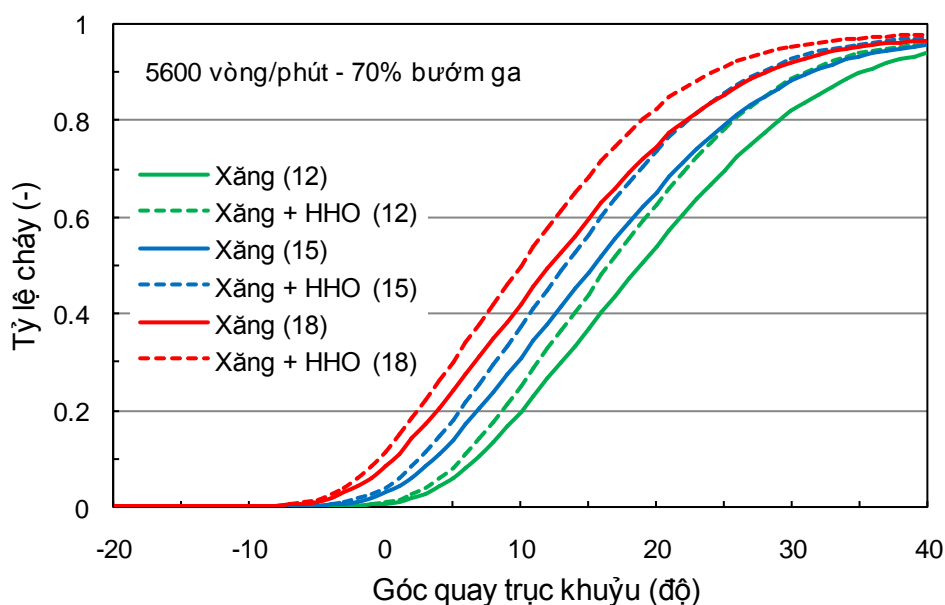
Hình 4.2.. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga



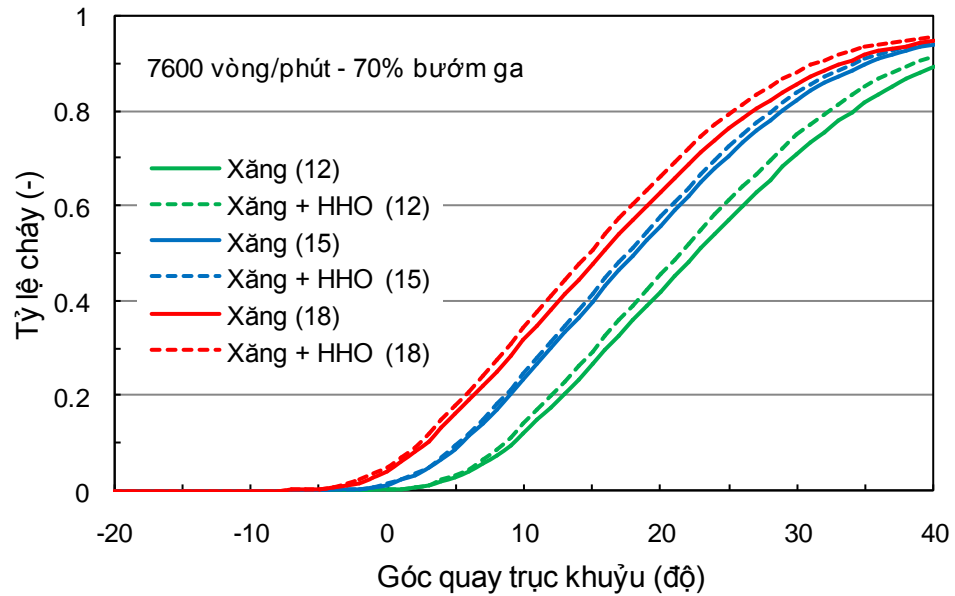
Hình 4.3. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga



Hình 4.4. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga



Hình 4.5. Tỷ lệ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga



Hình 4.6. Tỷ lệ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga

#### 4.2. Tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh

Theo [15] ta có tốc độ tỏa nhiệt được tính theo công thức sau:

$$\frac{dQ}{d\varphi} = g_{ct} \cdot Q_H \cdot \frac{dx}{d\varphi} \quad (4.1)$$

đối với động cơ sử dụng hai loại nhiên liệu là xăng và khí HHO thì công thức này có thể viết lại như sau:

$$\frac{dQ}{d\varphi} = (g_{ct})_{xăng} \cdot (Q_H)_{xăng} \cdot \left(\frac{dx}{d\varphi}\right)_{xăng} + (g_{ct})_{HHO} \cdot (Q_H)_{HHO} \cdot \left(\frac{dx}{d\varphi}\right)_{HHO} \quad (4.2)$$

trong đó:  $g_{ct}$ : lượng nhiên liệu cấp cho một chu trình

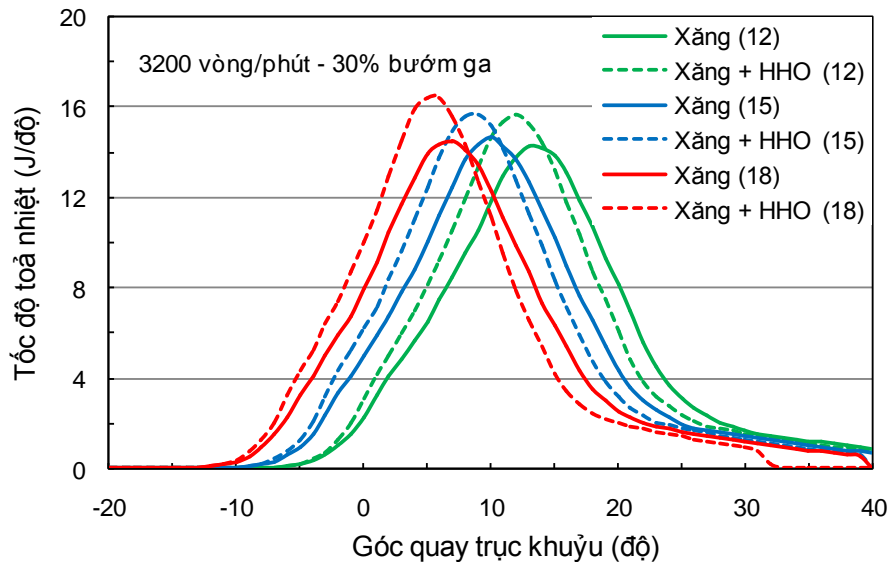
$Q_H$ : nhiệt trị thấp của nhiên liệu

$\frac{dx}{d\varphi}$ : tốc độ cháy

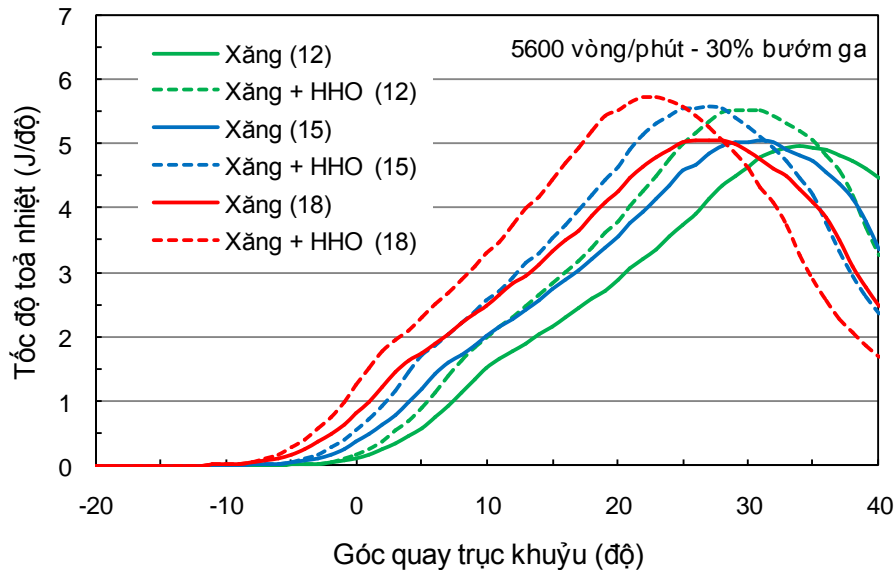
Ta có thể dễ dàng nhận thấy với việc bổ sung khí HHO thì tốc độ tỏa nhiệt của động cơ sẽ tăng lên do tốc độ cháy và nhiệt trị của hydro lớn. Theo như kết quả đã phân tích ở mục 4.1, hỗn hợp nhiên liệu cháy nhanh hơn, vì vậy tốc độ tỏa nhiệt của quá trình cháy diễn ra nhanh hơn, tỏa nhiệt nhiều hơn. Hình 4.7 – 3.12 thể hiện diễn biến của tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh khi có và không có khí HHO bổ sung, ở



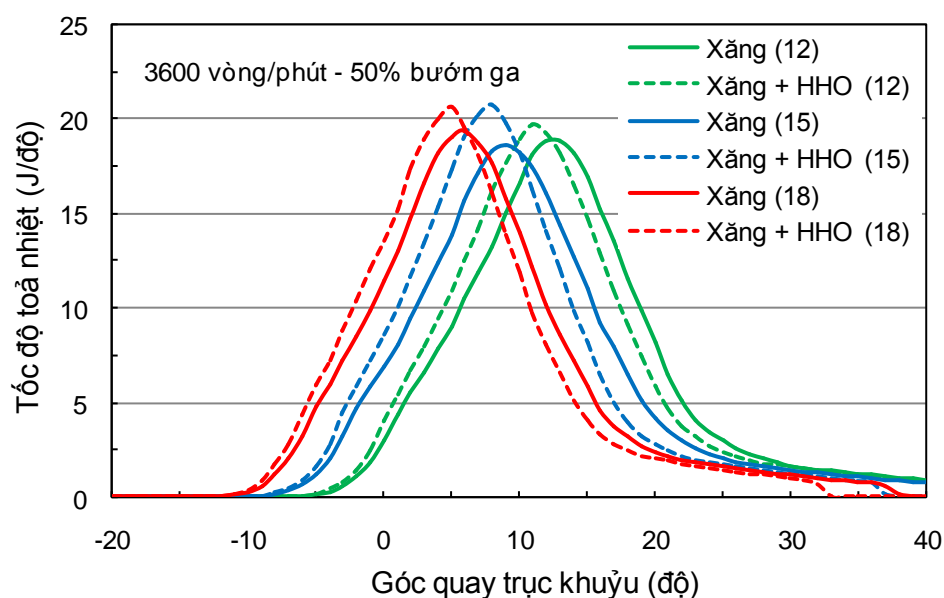
các góc đánh lửa  $12^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  và  $18^{\circ}$  trước điểm chết trên và bướm ga mở 30%, 50% và 70%.



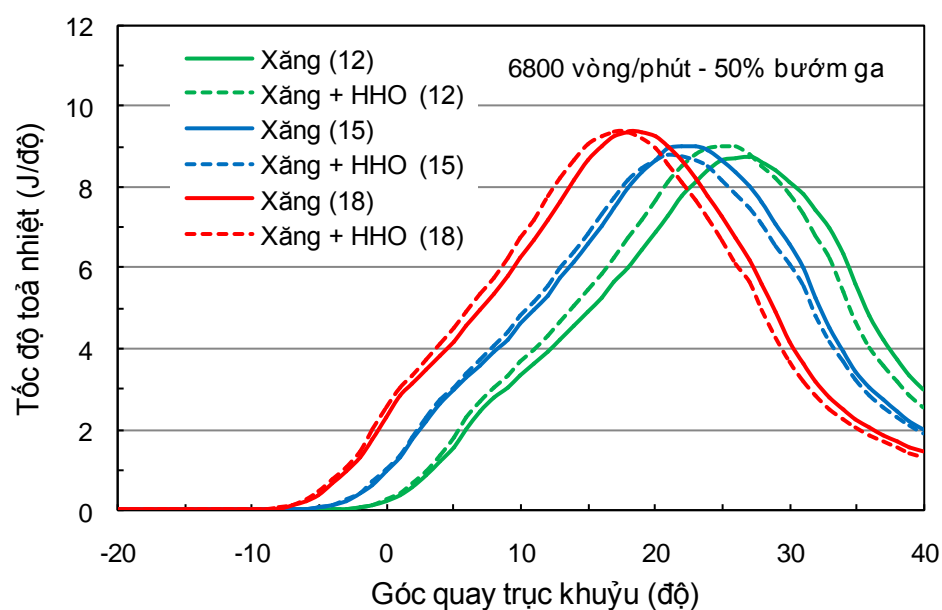
Hình 4.7. Tốc độ toả nhiệt trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga



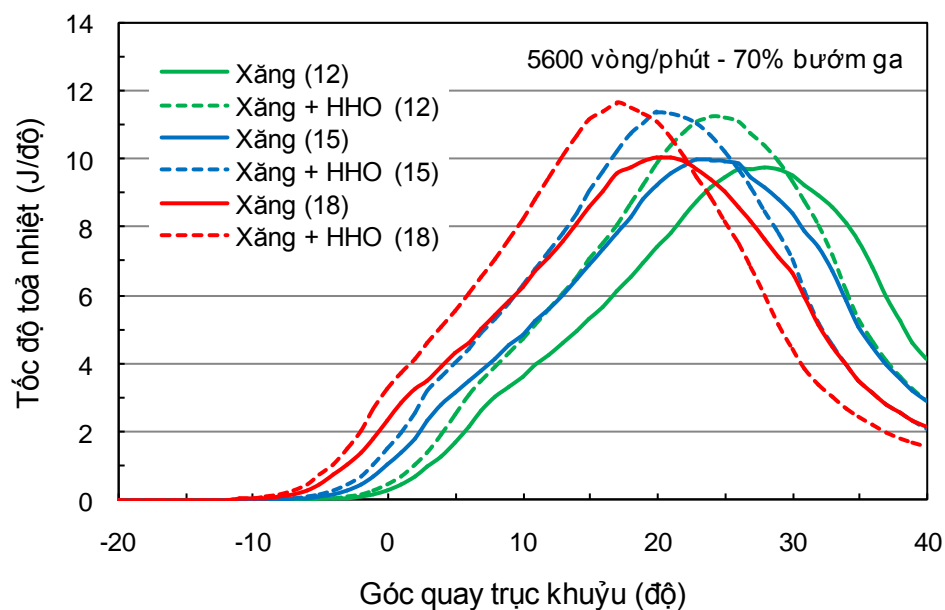
Hình 4.8. Tốc độ toả nhiệt trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga



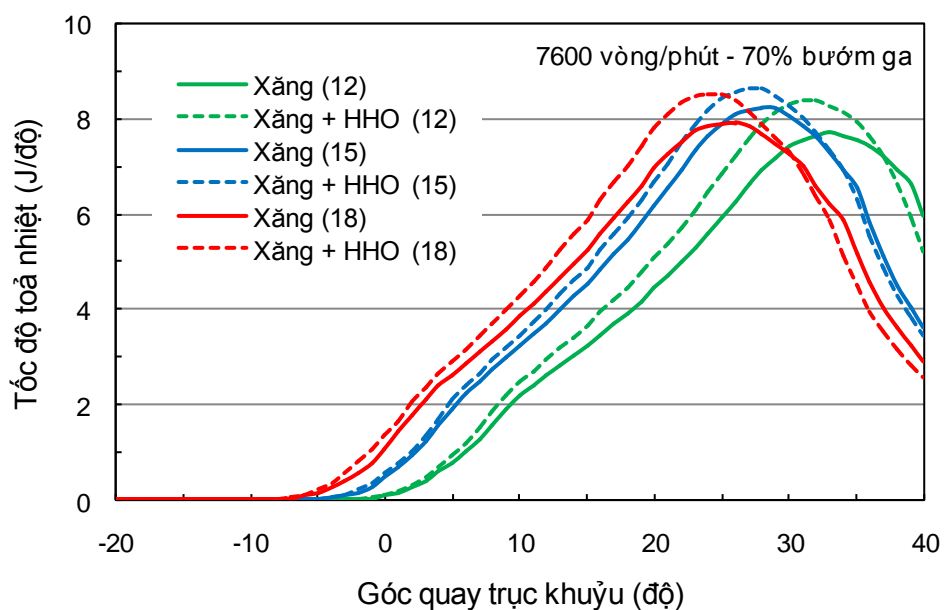
Hình 4.9. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga



Hình 4.10. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga



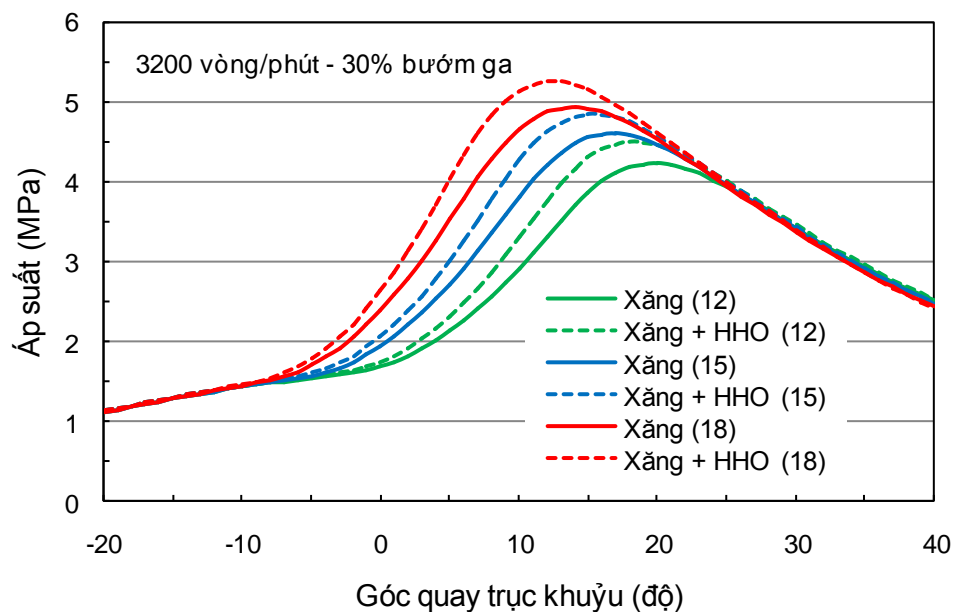
Hình 4.11. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga



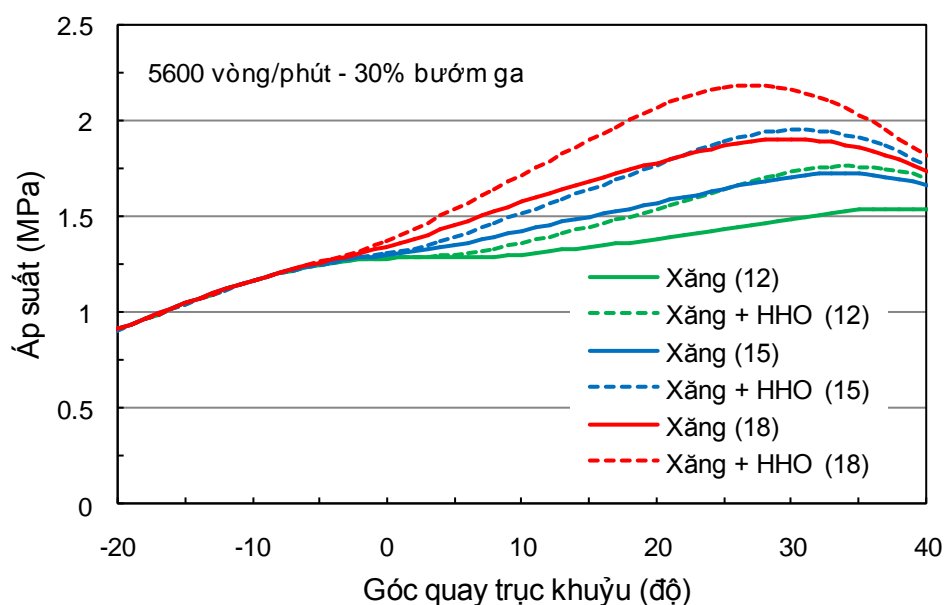
Hình 4.12. Tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga

### 4.3. Áp suất trong xy lanh

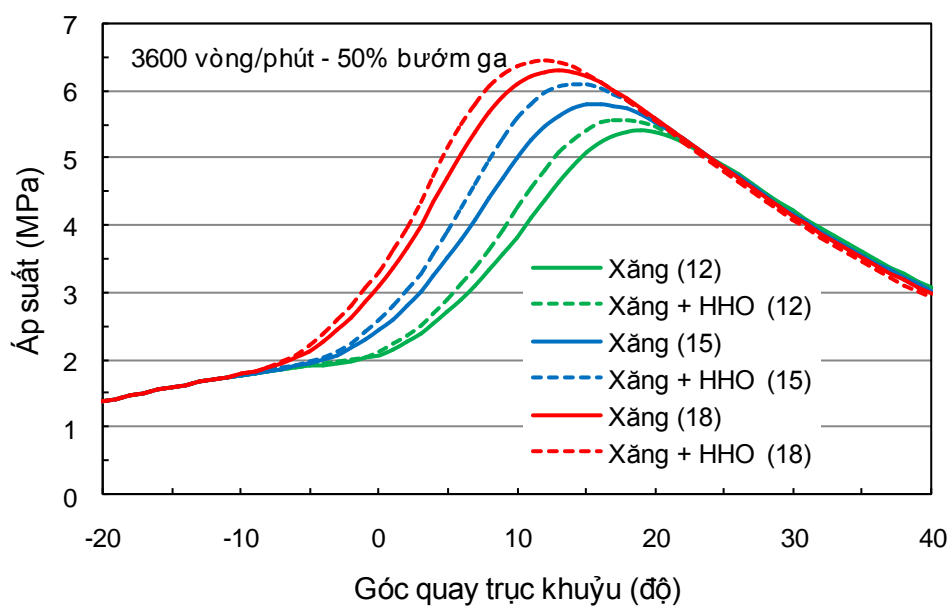
Hình 4.13 – 4.18 thể hiện diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng + khí HHO có bổ sung không khí khi bugi đánh lửa ở  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  và  $18^\circ$  trước điểm chết trên, bướm ga mở 30%, 50% và 70%. Do tốc độ cháy của hydro rất lớn, nên thời gian cháy trễ và thời gian cháy giảm. Đồng thời quá trình cháy diễn ra sớm, nên áp suất tăng lên sớm và giá trị  $P_{max}$  tăng. Thời gian cháy giảm, áp suất tăng, vì vậy tốc độ tăng áp suất tăng nhanh, động cơ làm việc rung giật, có độ ồn lớn.



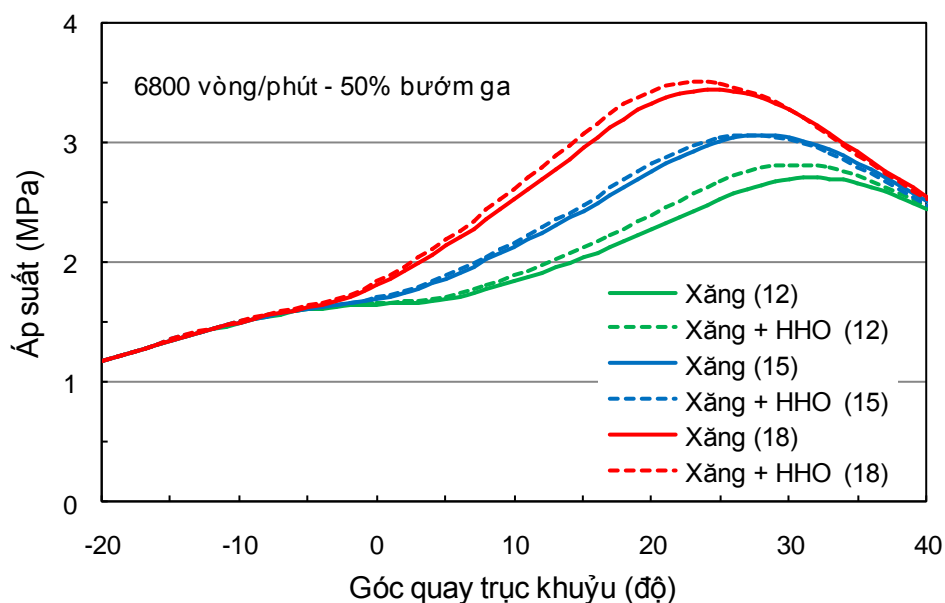
Hình 4.13. Diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga



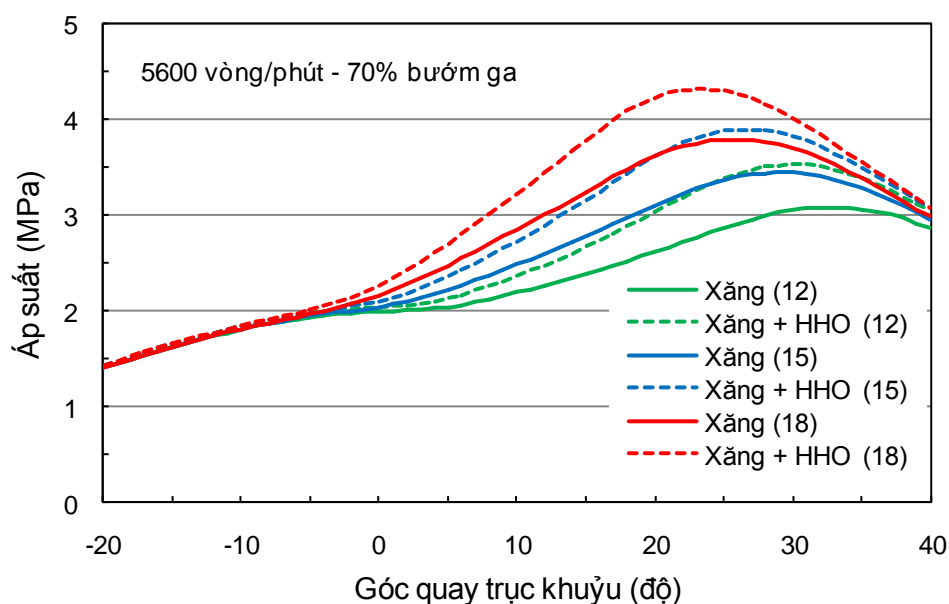
Hình 4.14. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga



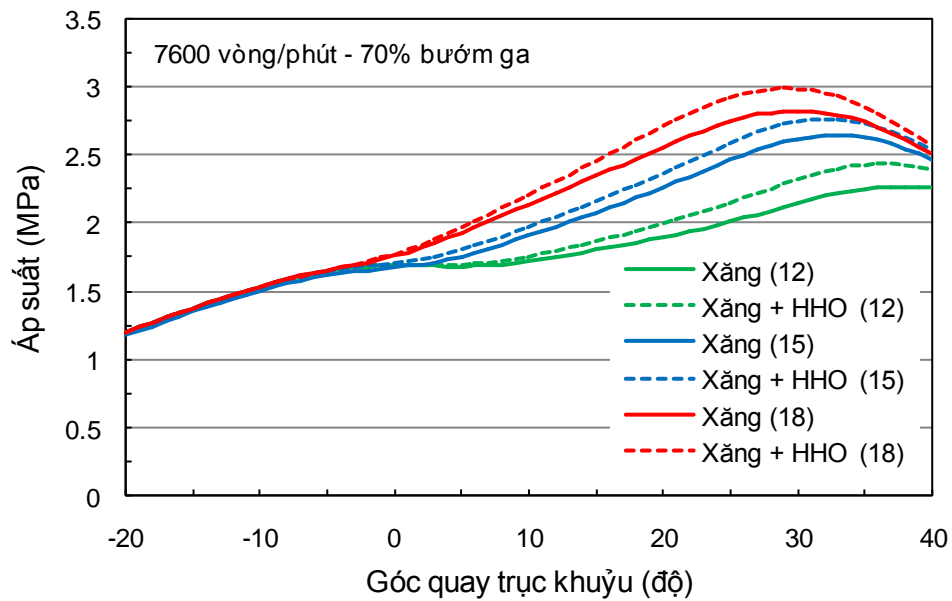
Hình 4.15. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga



Hình 4.16. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga



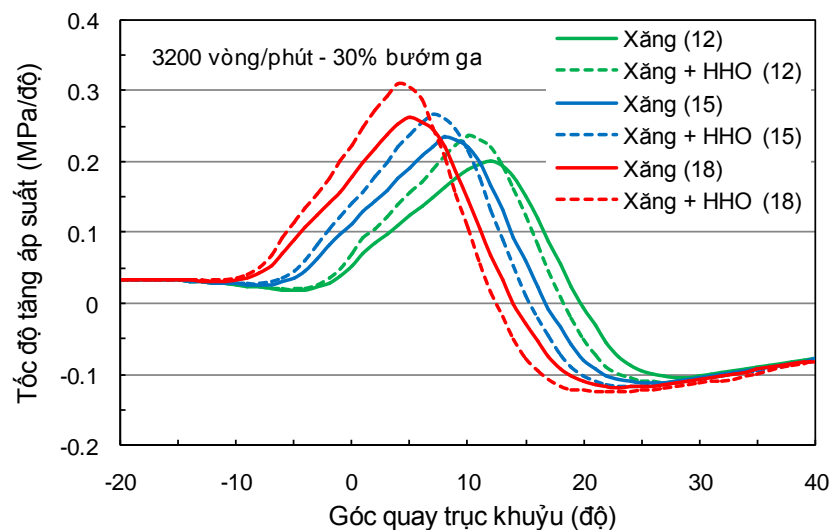
Hình 4.17. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga



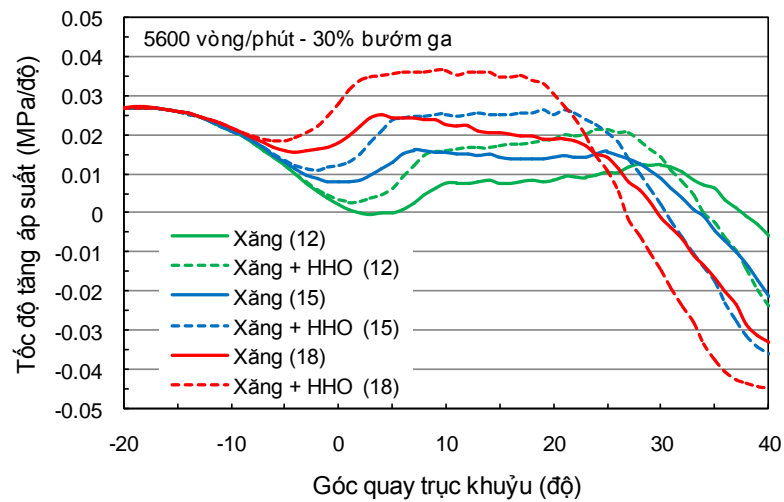
Hình 4.18. Diễn biến áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga

#### 4.4. Tốc độ tăng áp suất trong xylanh

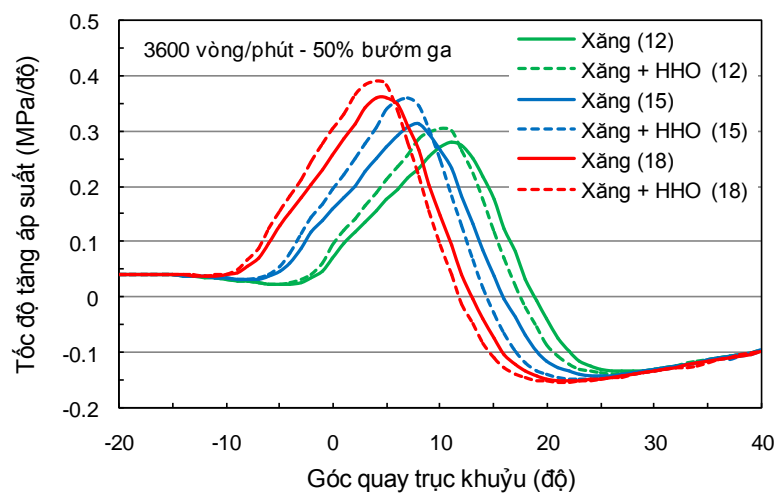
Hình 4.19 – 4.24 thể hiện đồ thị biểu diễn sự thay đổi áp suất trong xylanh động cơ, có thể thấy, tốc độ tăng áp suất tăng khi sử dụng hỗn hợp xăng + khí HHO. Đồng thời khi tăng góc đánh lửa sớm, tốc độ tăng áp suất trong xy lanh cũng tăng lên.



Hình 4.19. Tốc độ tăng áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga

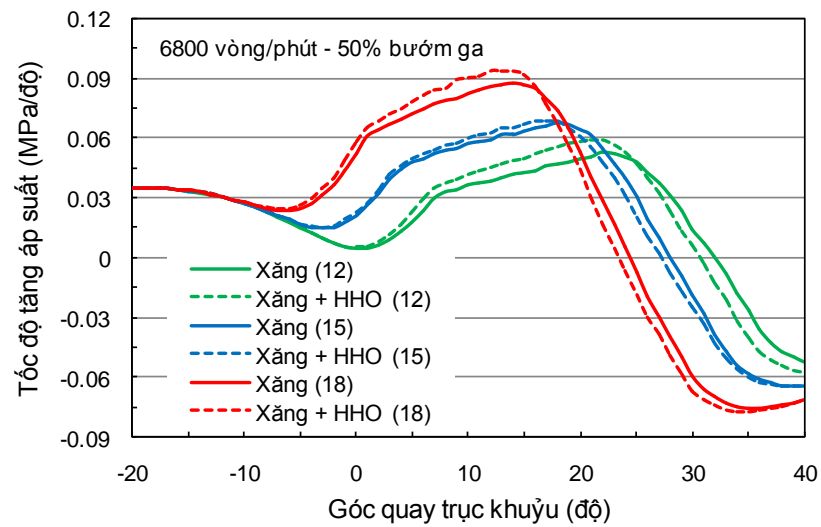


Hình 4.20. Tốc độ tăng áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga

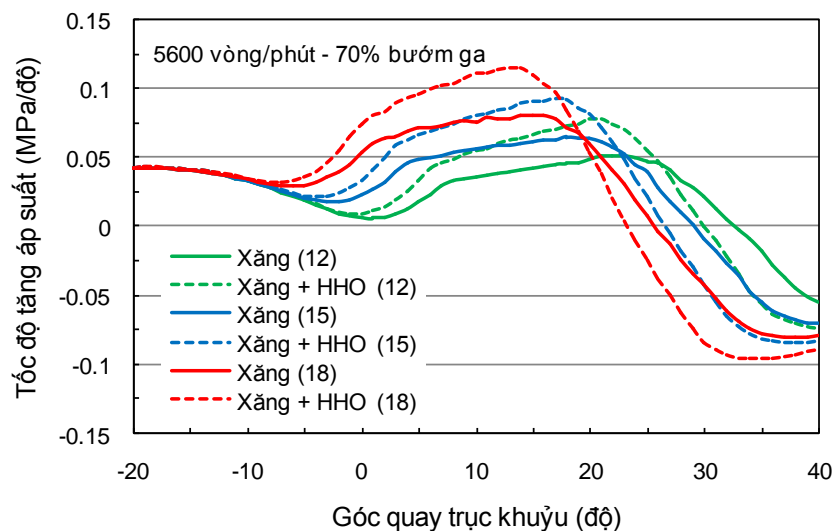


Hình 4.21. Tốc độ tăng áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga

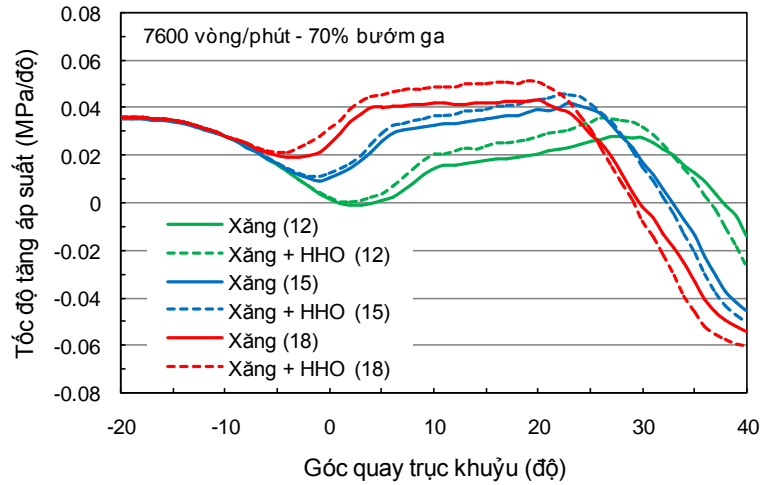




Hình 4.22. Tốc độ tăng áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga



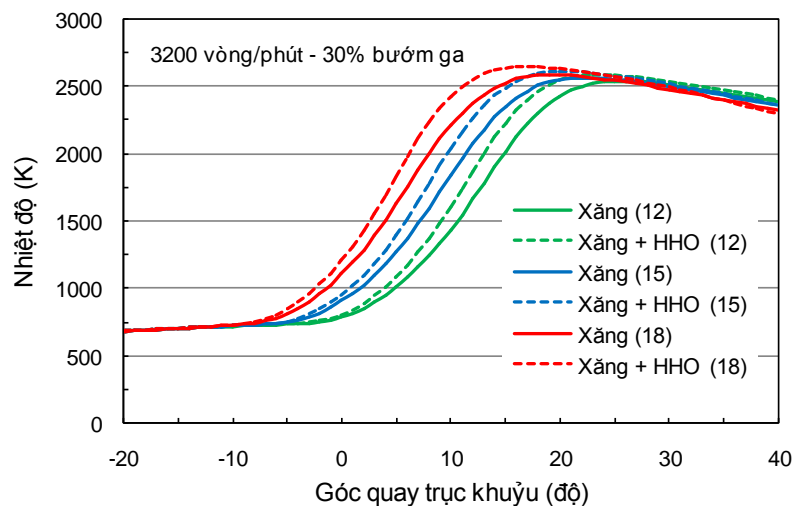
Hình 4.23. Tốc độ tăng áp suất trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga



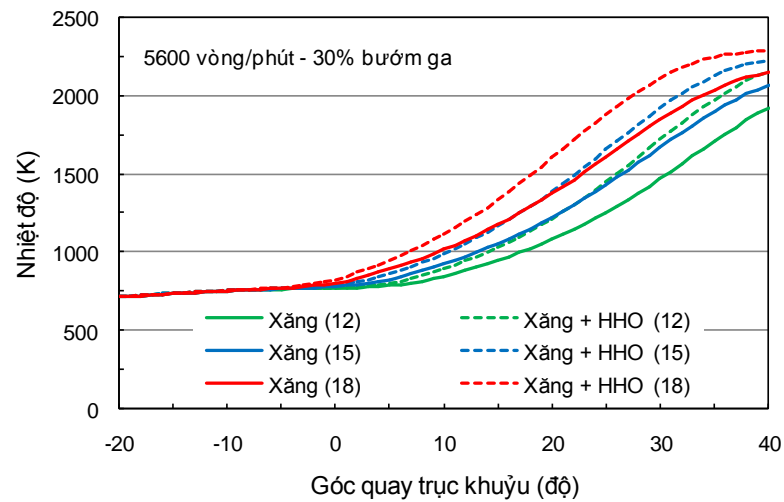
Hình 4.24. Tốc độ tăng áp suất trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga

#### 4.5. Nhiệt độ cháy trong xy lanh

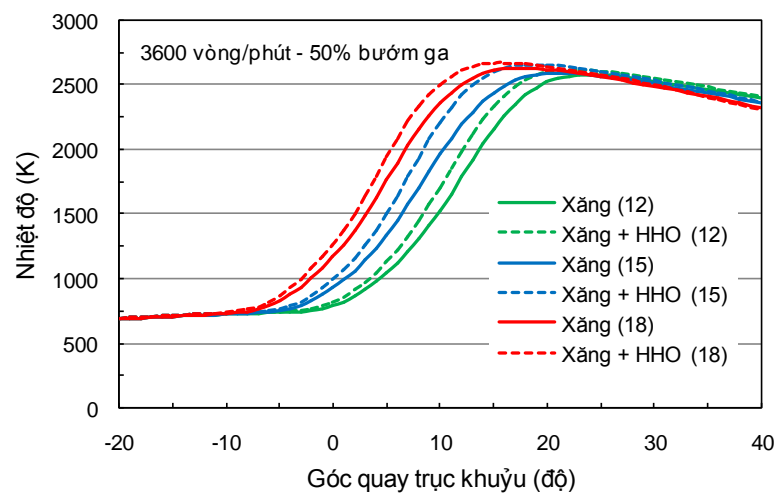
Các hình từ Hình 4.25 đến Hình 4.30 thể hiện diễn biến nhiệt độ trong xy lanh động cơ, có thể thấy, khi bổ sung thêm khí HHO vào đường nạp, do nhiên liệu cháy sớm hơn, tốc độ cháy nhanh hơn nên nhiệt độ quá trình cháy tăng. Tuy nhiên, do quá trình cháy rút giảm, nên nhiệt độ cuối quá trình cháy thấp hơn so với khi sử dụng xăng.



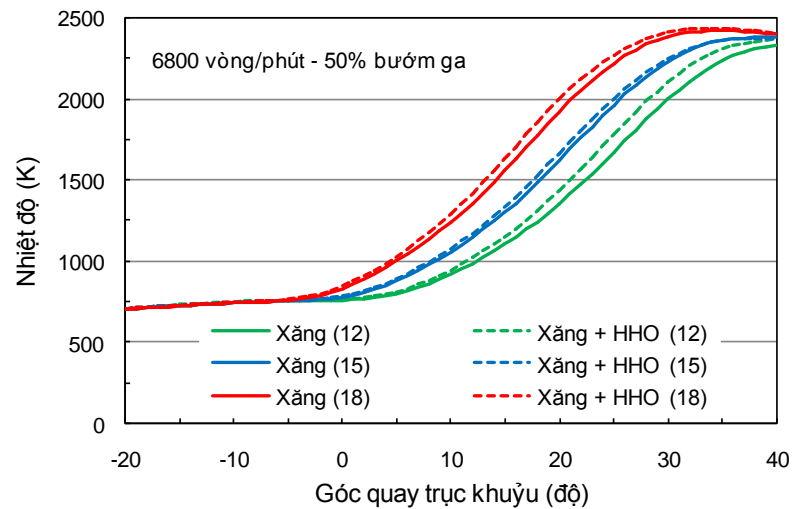
Hình 4.25. Nhiệt độ cháy trong xy lanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3200 vg/ph, 30% bướm ga



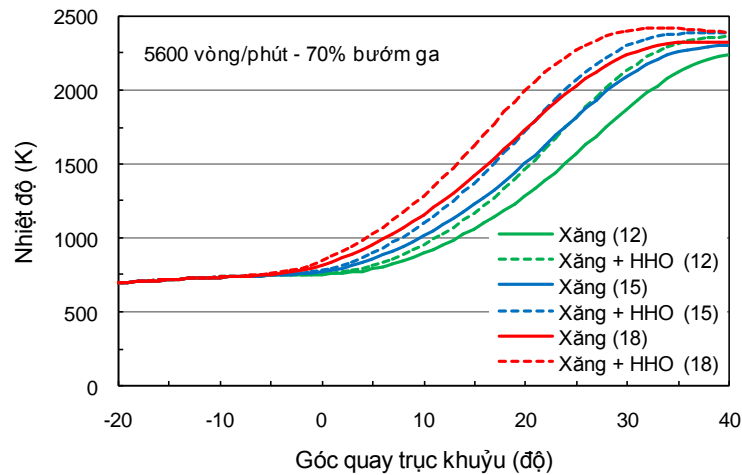
Hình 4.26 Nhiệt độ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 30% bướm ga



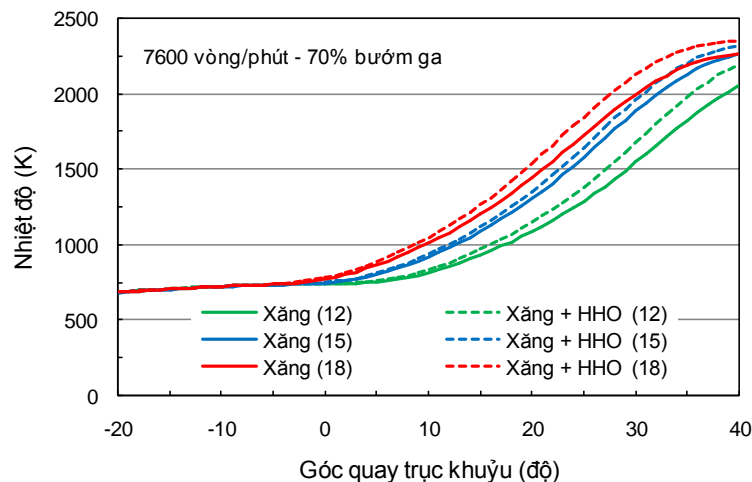
Hình 4.27. Nhiệt độ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 3600 vg/ph, 50% bướm ga



Hình 4.28. Nhiệt độ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 6800 vg/ph, 50% bướm ga



Hình 4.29. Nhiệt độ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 5600 vg/ph, 70% bướm ga



Hình 4.30. Nhiệt độ cháy trong xylanh động cơ khi bổ sung khí HHO vào đường nạp ở các góc đánh lửa khác nhau tại 7600 vg/ph, 70% bướm ga

#### **KẾT LUẬN CHƯƠNG 4**

Khi bổ sung khí HHO vào đường nạp động cơ, do khả năng bắt cháy nhanh của hydro (thành phần chính của HHO) nên thời điểm cháy bắt đầu sớm hơn, thời gian cháy trễ rút ngắn. Vì tốc độ cháy của hydro lớn (gấp khoảng 7 lần so với xăng) khi bổ sung khí HHO vào đường nạp, thời gian cháy giảm, quá trình cháy kết thúc sớm hơn. Hình 4.1 - 4.6 thể hiện tỷ lệ cháy, ta có thể thấy, ở tốc độ thấp, góc đánh lửa  $18^\circ$  trước điểm chết trên, quá trình cháy trong xy lanh khi bổ sung khí HHO kết thúc trước so với khi sử dụng xăng khoảng  $7^\circ$  khi bướm ga mở 30%; khoảng  $5^\circ$  khi bướm ga mở 50%.

Ta có thể dễ dàng nhận thấy với việc bổ sung khí HHO thì tốc độ tỏa nhiệt của động cơ sẽ tăng lên do tốc độ cháy và nhiệt trị của hydro lớn. Hình 4.7 – 3.12 thể hiện diễn biến của tốc độ tỏa nhiệt trong xy lanh khi có và không có khí HHO bổ sung, ở các góc đánh lửa  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  và  $18^\circ$  trước điểm chết trên và bướm ga mở 30%, 50% và 70%.

Hình 4.13 – 4.18 thể hiện diễn biến áp suất trong xy lanh động cơ khi sử dụng xăng và hỗn hợp xăng + khí HHO có bổ sung không khí khi bugi đánh lửa ở  $12^\circ$ ,  $15^\circ$  và  $18^\circ$  trước điểm chết trên, bướm ga mở 30%, 50% và 70%. Do tốc độ cháy của hydro rất lớn, nên thời gian cháy trễ và thời gian cháy giảm. Đồng thời quá trình cháy diễn ra sớm, nên áp suất tăng lên sớm và giá trị  $P_{max}$  tăng. Thời gian cháy giảm, áp suất tăng, vì vậy tốc độ tăng áp suất tăng nhanh, động cơ làm việc rung giật, có độ ồn lớn.

Hình 4.19 – 4.24 thể hiện đồ thị biểu diễn sự thay đổi áp suất trong xy lanh động cơ, có thể thấy, tốc độ tăng áp suất tăng khi sử dụng hỗn hợp xăng + khí HHO. Đồng thời khi tăng góc đánh lửa sớm, tốc độ tăng áp suất trong xy lanh cũng tăng lên. Các hình từ Hình 4.25 đến Hình 4.30 thể hiện diễn biến nhiệt khi bổ sung thêm khí HHO vào đường nạp, do nhiên liệu cháy sớm hơn, tốc độ cháy nhanh hơn nên nhiệt độ quá trình cháy tăng. Tuy nhiên, do quá trình cháy rút ngắn, nên nhiệt độ cuối quá trình cháy thấp hơn so với khi sử dụng xăng.

## **KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

Kết quả của quá trình mô phỏng động cơ xe máy sử dụng xăng và hỗn hợp xăng + khí HHO trên phần mềm AVL Boost đã cho thấy nhiều điểm tương đồng so với kết quả thực nghiệm trên băng thử. Công suất động cơ được cải thiện, suất tiêu hao nhiên liệu giảm. Các thành phần phát thải độc hại chính của động cơ xăng là CO và HC đều có xu hướng giảm, trong khi nồng độ NOx lại tăng lên, tuy nhiên so với động cơ diesel, NOx của động cơ xăng là không đáng kể.

Kết quả mô phỏng cũng cho thấy được đặc tính cháy trong xy lanh động cơ như áp suất, nhiệt độ quá trình cháy, tỷ lệ cháy, tốc độ toả nhiệt và tốc độ tăng áp suất. Thông qua đặc tính cháy, ta có thể giải thích được sự thay đổi của công suất cũng như phát thải của động cơ.

Trên cơ sở mô hình mô phỏng đã được kiểm chứng, có thể tiến hành các nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng của tỷ lệ HHO có thể bổ sung cho động cơ nhằm đảm bảo điều kiện làm việc ổn định, bình thường và tăng tỷ lệ nhiên liệu thay thế tiềm năng này.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] A Kowalewicz, M Wojtyniak; *Alternative fuels and their application to combustion engines*; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 219, pp. 103-125, 2005.
- [2] Shelley Minter; *Alcoholic fuels*; CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006.
- [3] OECD/FAO Agriculture Outlook 2011-2020; *Chapter 3: Biofuels*; 2011.
- [4] G. Dragone, et al; *Third generation biofuels from microalgae*; Applied Microbiology, pp. 1355-1366, 2010.
- [5] BMW Hydrogen 7: [http://en.wikipedia.org/wiki/BMW\\_Hydrogen\\_7](http://en.wikipedia.org/wiki/BMW_Hydrogen_7)
- [6] Ali Can Yilmaz, et al; *Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 11366-11372, 2010.
- [7] Tim Lieuwen, et al; *Synthesis gas combustion: fundamentals and applications*; CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
- [8] Changwei Ji, Shuofeng Wang; *Combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine at idle and lean conditions*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 346-355, 2010.
- [9] Changwei Ji, Shuofeng Wang; *Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark ignition gasoline engine at lean conditions*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 34, pp. 7823-7834, 2009.
- [10] Changwei Ji, et al; *Effect of spark timing on the performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine at lean conditions*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 2203-2212, 2010.
- [11] Changwei Ji, Shuofeng Wang; *Experimental study on combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine at lean burn limits*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 1453-1462, 2010.

- [12] Shuofeng Wang, et al; *Starting a spark-ignited engine with the gasoline–hydrogen mixture*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 36, pp. 4461-4468, 2011.
- [13] Changwei Ji, et al; *Combustion and emissions characteristics of a hybrid hydrogen-gasoline engine under various loads and lean conditions*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 5714-5722, 2010.
- [14] Changwei Ji, Shuofeng Wang; *Effect of hydrogen addition on lean burn performance of a spark-ignited gasoline engine at 800 rpm and low loads*; Fuel, Vol. 90, pp. 1301-1304, 2011.
- [15] Shuofeng Wang, et al; *Effects of hydrogen addition and cylinder cutoff on combustion and emissions performance of a spark-ignited gasoline engine under a low operating condition*; Energy, Vol. 35, pp. 4754-4760, 2010.
- [16] Changwei Ji, Shuofeng Wang; *Experimental Study on Combustion and Emissions Characteristics of a Spark Ignition Engine Fueled with Gasoline-Hydrogen Blends*; Energy & Fuels, Vol. 23, pp. 2930-2936, 2009.
- [17] Changwei Ji, Shuofeng Wang; *Effect of Hydrogen Addition on Idle Performance of a Spark-Ignited Gasoline Engine at Lean Conditions with a Fixed Spark Advance*; Energy & Fuels, Vol. 23, pp. 4385-4394, 2009.
- [18] Changwei Ji, et al; *Performance of a hybrid hydrogen–gasoline engine under various operating conditions*; Applied Energy, 2011 (in press).
- [19] T. D’Andrea, et al; *The addition of hydrogen to a gasoline-fuelled SI engine*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 29, pp. 1541 – 1552, 2004.
- [20] E. Conte, K. Boulouchos; *Hydrogen-Enhanced Gasoline Stratified Combustion in SI-DI Engines*; Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 130, pp. 022801-1, 2008.
- [21] F. Yüksel, M.A. Ceviz; *Thermal balance of a four stroke SI engine operating on hydrogen as a supplementary fuel*; Energy, Vol. 28, pp. 1069–1080, 2003.
- [22] Z. Dulger, K.R. Ozcelik; *Fuel economy improvement by on board electrolytic hydrogen production*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 25, pp. 895-897, 2000.



- [23] Ajay Shah, et al; *Performance and emissions of a spark-ignited engine driven generator on biomass based syngas*; Bioresource Technology, Vol. 101, pp. 4656–4661, 2010.
- [24] R.G. Papagiannakis, et al; *Study of the performance and exhaust emissions of a spark-ignited engine operating on syngas fuel*; Int. J. Alternative Propulsion, Vol. 1, No. 2/3, pp. 190-215, 2007.
- [25] Changwei Ji, et al; *Improving the performance of a spark-ignited gasoline engine with the addition of syngas produced by onboard ethanol steaming reforming*; Int. J. of Hydrogen Energy, 2012 (in press).
- [26] Radu Chiriac, et al; *Effects of Gasoline-Air Enrichment with HRG Gas on Efficiency and Emissions of a SI Engine*; SAE Paper 2006- 01- 3431.
- [27] T. D’Andrea, et al; *Investigating Combustion Enhancement and Emissions Reduction with the Addition of  $2H_2 + O_2$  to a SI Engine*; SAE Paper 2003-32-0011.
- [28] Ammar A. Al-Rousan; *Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 35, pp. 12930-12935, 2010.
- [29] Shuofeng Wang, et al; *Improving the performance of a gasoline engine with the addition of hydrogeneoxygen mixtures*; Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 36, pp. 11164-11173, 2011.
- [30] Shuofeng Wang, et al; *Comparison of the performance of a spark-ignited gasoline engine blended with hydrogen and hydrogen-oxygen mixtures*; Energy, Vol. 36, pp. 5832-5837, 2011.