

Xác định thông số tối ưu ảnh hưởng đến lực cản khí động học vỏ xe ô tô điện

Nguyễn Thị Lục^{1*}, Trần Công Chi¹, Nguyễn Văn Tựu¹, Nguyễn Khánh Nam²

¹Trường Đại học Lâm nghiệp

²Trường Cơ khí - Đại học Bách Khoa Hà Nội

Determining optimal parameters affecting dynamic drag forces on an electric car body

Nguyen Thi Luc^{1*}, Tran Cong Chi¹, Nguyen Van Tuu¹, Nguyen Khanh Nam²

¹Viet Nam National University of Forestry

²Mechanical School - Hanoi University of Science and Technology

*Corresponding author: Lucnt@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.1.2025.146-153>

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu xác định ảnh hưởng của thông số tốc độ xe (X_1 , km/h), cấu tạo góc nghiêng kính trước (X_2 , độ), góc nghiêng nắp capo (X_3 , độ) tới lực cản (F_d) khí động học của xe ô tô điện, với mục tiêu xác định được lực cản nhỏ nhất nhằm giảm mức tiêu hao năng lượng cho xe và nâng cao độ an toàn khi vận hành. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn (FEA) tìm ra miền giới hạn của lực cản, kết hợp với phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) để xác định giá trị tối ưu F_d . Kết quả phân tích ANOVA cho thấy mô hình hồi quy của F_d có độ tin cậy giá trị cao với $R^2 = 0,9862$, xác định được thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản F_d là X_1 là 66,28%, thông số X_2 và X_3 ảnh hưởng rất ít. Kết quả tối ưu cho thấy với $X_1 = 32,456$ (km/h), $X_2 = 15,99$ (độ), $X_3 = 14,97$ (độ) thì giá trị lực cản F_d (min) = 77, 426 (N). Để xác minh hiệu quả của phương pháp, mô hình vỏ xe được thiết kế lại và phân tích FEA với cùng điều kiện. Kết quả đạt được $F_{d2} = 78, 696$ (N) có sự chênh lệch 1,613% nhỏ so với các giá trị tối ưu thu được, do đó phương pháp sử dụng và kết quả tối ưu có độ tin cậy.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 17/09/2024

Ngày phản biện: 28/10/2024

Ngày quyết định đăng: 25/11/2024

Từ khóa:

Khí động học, lực cản, phân bố áp suất, thông số tối ưu, xe ô tô điện.

ABSTRACT

This paper conducts a study to determine the influence of: vehicle speed on (X_1 , km/h), structural parameters a windshield angle X_2 (degrees), and a hood angle X_3 (degrees) for the dynamic drag force (F_d) on an electric car, with the goal of identifying the minimum drag force, reducing energy consumption for the vehicle, and ensuring safety during movement. The study utilized the Finite Element Analysis (FEA) analysis method to find the drag force limitation, and then combined it with the Response Surface Methodology (RSM) method to determine the optimal values influencing parameters to achieve minimum force F_d . The ANOVA analysis identified that the regression model of F_d has a high reliability value with $R^2 = 0.9862$, determining that the parameter with the greatest influence on the drag force F_d is X_1 , accounting for 66.28%, while parameters X_2 and X_3 have very little influence. Research results established that at a vehicle with a speed of $X_1 = 32.456$ (km/h), a windshield angle $X_2 = 15.99$ (degrees), and a hood angle $X_3 = 14.97$ (degrees), the minimum drag force value $F_{dmin} = 77.426$ (N). To verify the effectiveness of the optimization method, the tire model was redesigned and analyzed using FEA under the same conditions. The results of $F_{d2} = 78.696$ (N), with a small deviation of 1.613%, therefore, the methods used and the optimal results are reliable.

Keywords:

Aerodynamics, drag force, electric car, optimal parameters, pressure distribution.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu về khí động lực học ô tô đã trở thành một yếu tố quan trọng đối với các dòng xe hơi nên rất nhiều các công trình khoa học trong lĩnh vực này được công bố [1 - 4]. Khi ô tô chuyển động trong môi trường không khí sẽ bị các lực và mômen khí động học tác dụng làm ảnh hưởng đến tính năng chuyển động của ô tô và lượng tiêu hao nhiên liệu. Tổng trọng lượng và hình dạng bên ngoài xe là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến đặc tính khí động lực học của xe [5 - 7]. Hiện nay, với sự phát triển mạnh của các công cụ, phương tiện hỗ trợ tính toán số ra đời, tính toán động lực học chất lỏng CFD (Computation Fluid Dynamic) đã trở thành công cụ hữu dụng trong việc ước lượng, dự đoán lực cản khí động tác động lên xe ô tô. Đã có nhiều nghiên cứu về khí động học trên ô tô bằng nhiều phương pháp và phần mềm khác nhau, loại xe khác nhau như phương pháp CFD trong phần mềm Ansys - Fluent của những tác giả: Nghiên cứu cải thiện đặc tính khí động học thân vỏ xe ô tô điện HaUI-EV2 [8], hay nghiên cứu thiết kế ống khí động học để đánh giá ảnh hưởng của lực cản không khí lên vỏ xe ô tô điện HaUI-EV2 [9]; Nghiên cứu khí động học vỏ xe ô tô khách cỡ lớn 51 chỗ của Trường Hải THACO KB120LSI sản xuất tại Việt Nam, bài toán được xây dựng dựa trên phương trình Navier - Stokes đơn giản hóa dạng RANS với giả thiết chất khí không chịu nén kết hợp với các mô hình dòng rối nhất [10]; Mô phỏng đặc tính khí động lực học xe buýt được lắp ráp tại Việt Nam [11]; Nghiên cứu đặc tính khí động lực học loại xe tải nhỏ Tata -1105T, trong nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng phần mềm chuyên dụng Hyperwork; Nghiên cứu áp suất, vận tốc của dòng khí bao quanh xe và hệ số cản chính diện của xe, làm cơ sở cho bài toán thiết kế khung vỏ xe tải [12]. Một

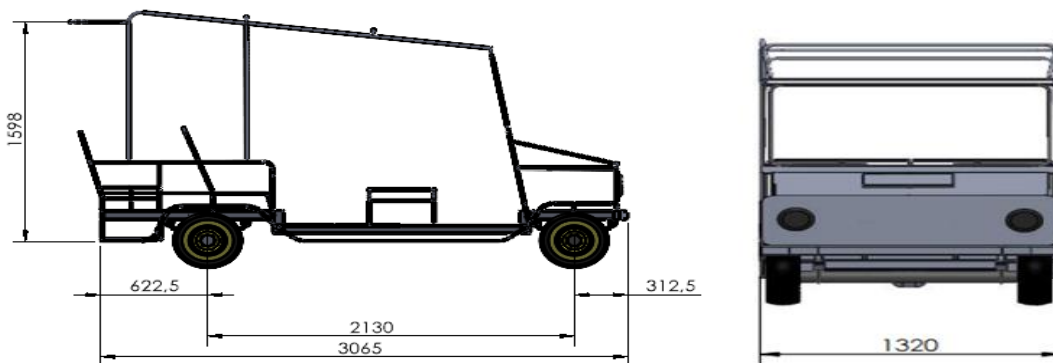
số nghiên cứu gần đây có đề cập nghiên cứu xác định hệ số lực khí động của xe tác dụng theo phương ngang ảnh hưởng đến ổn định chuyển động của xe du lịch, trong nghiên cứu cũng xác định các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất của hệ số lực, mômen khí động từ các hàm toán học tương ứng trong điều kiện khảo sát [13]; Trong nghiên cứu khí động học trên ô tô [14], tác giả cho thấy lực cản không chỉ ảnh hưởng đến mức tiêu thụ nhiên liệu, nghiên cứu còn đề cập đến hệ số lực nâng (hệ số bám) trên một số xe ô tô thông dụng tại Việt Nam, nghiên cứu cho thấy khi vận tốc tăng lên giá trị lực cản và hệ số lực nâng giảm tương ứng. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay chủ yếu chỉ đưa ra lực cản khí động học tác động lên vỏ thân xe thông qua mô phỏng với các phần mềm chuyên dụng cho nhiều loại xe khác nhau. Rất ít nghiên cứu chú trọng đến việc tối ưu hóa các thông số, đặc biệt là đối với xe ô tô điện.

Xe ô tô điện (xe công nghệ xanh) là một sản phẩm đã được các nhà khoa học của Khoa Cơ điện và Công trình - Trường Đại học Lâm nghiệp nghiên cứu thiết kế chế tạo [15], nhằm phục vụ đào tạo và trải nghiệm tại Trường Đại học Lâm nghiệp (Hình 1). Hiện tại, xe đã hoàn thiện về thiết kế, chế tạo, lắp ráp và đã được thử nghiệm công nghệ ban đầu, đáp ứng các yêu cầu đã đề ra. Tuy nhiên, việc đánh giá và tối ưu hóa cấu trúc vỏ xe để nâng cao các chỉ tiêu kỹ thuật và đảm bảo an toàn khi vận hành vẫn chưa được thực hiện. Do đó, nghiên cứu này sử dụng phương pháp CFD để xác định các thông số tối ưu vỏ xe nhằm mục tiêu giảm lực cản của không khí, từ đó giảm mức tiêu thụ năng lượng và nâng cao tính an toàn trong quá trình vận hành. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở tham khảo cho việc cải tiến các phiên bản xe trong tương lai.

2 . PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sử dụng phần mềm Solidworks flow simulation để mô phỏng, tính toán, khảo sát hình dạng ảnh hưởng đến lực cản khí động học của vỏ xe ô tô điện, xác định lực cản tối ưu. Kết

hợp phương pháp RSM (phương pháp tối ưu đa mục tiêu) bằng phần mềm ANOVA để xác định các thông số tối ưu đưa ra các đề xuất cải thiện hợp lý nhất, nhằm giảm mức tiêu thụ nhiên liệu và nâng cao tính an toàn khi xe vận hành chuyển động.

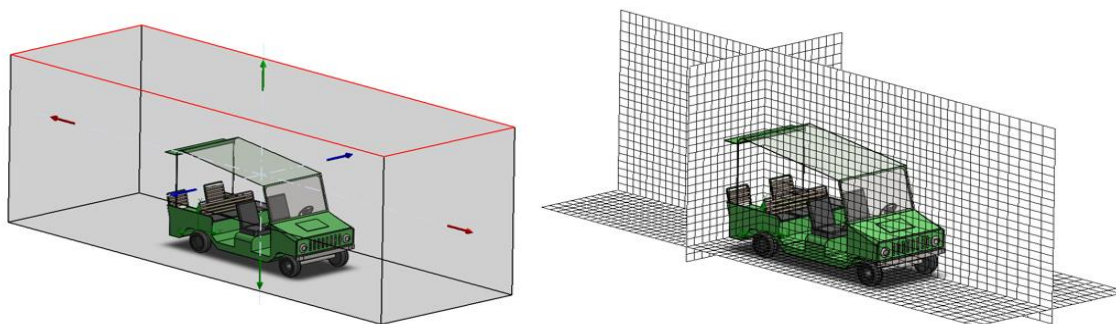


Hình 1. Kích thước bao của xe ô tô điện (xe công nghệ xanh)

2.1. Xây dựng mô hình và mô phỏng khí động học

Để xác định được lực cản khí động học tác động vào xe khi xe chuyển động việc xây dựng mô hình hình học của xe, trong nghiên cứu này sử dụng các module CAD của phần mềm Solidworks để xây dựng mô hình hình học 3D giản lược của xe khảo sát. Khi thực hiện mô phỏng, để phù hợp với khả năng tính toán của máy tính nhưng vẫn đảm bảo được tính đúng đắn, độ tin cậy và sự tương thích của bài toán

nghiên cứu với thực tế, nghiên cứu đưa ra các giả thiết: mô hình vỏ xe là tuyệt đối cứng, vỏ xe không được biến dạng trong quá trình mô phỏng; bỏ qua quá trình trao đổi nhiệt giữa vỏ xe và không khí; bề mặt vỏ xe là bề mặt nhẵn, găm xe được bọc phẳng; vận tốc dòng khí tại đầu vào của không gian mô phỏng có hướng song song với trục dọc của xe, thổi theo hướng từ đầu xe tới đuôi xe và có giá trị không đổi. Mô hình sau khi xây dựng như Hình 2.



Hình 2. Thiết lập vùng không gian mô phỏng và chia lưới

Khi di chuyển trên đường, khối không khí bao quanh vỏ xe sẽ sinh ra các lực cản khí động học có độ lớn phụ thuộc vào hình dáng khí động học của vỏ xe, mật độ không khí, tốc độ tương đối giữa xe và gió... Lực cản chính diện được theo công thức:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A \quad (1)$$

Trong đó:

F_d : Lực cản chính diện (N);
 ρ : mật độ không khí (kg/m^3);

V: tốc độ tương đối (m/s); C_d :

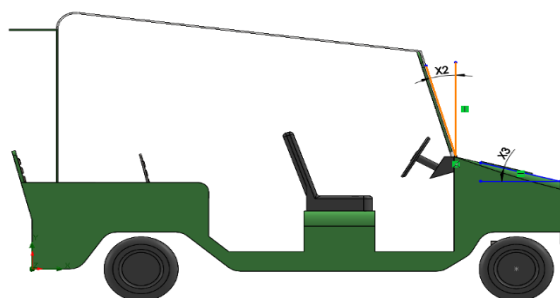
C_d : hệ số cản chính diện;

A: diện tích cản chính diện (m^2).

Lực cản F_d khiến cho việc tăng tốc trở nên khó khăn vì nó tỉ lệ với bình phương vận tốc. Nghĩa là khi vận tốc gia tăng với một trị số nhỏ thì lực cản lại gia tăng với một trị số rất lớn. Thành phần diện tích cản chính diện (yếu tố về

góc nghiêng kính trước, góc nghiêng nắp capo) cũng ảnh hưởng đến lực cản F_d .

Để đảm bảo về mặt cấu tạo, kết cấu của xe và tiện ích của người ngồi lái. Trong nghiên cứu lựa chọn 3 thông số ảnh hưởng đến F_d gồm thông số về vận tốc X_1 (30 ÷ 50 km/h), góc nghiêng kính trước X_2 (10 ÷ 20 độ), góc nghiêng nắp capo X_3 (5 ÷ 15 độ) như Hình 3.



Hình 3. Các thông số nghiên cứu trên xe ô tô

2.2. Tối ưu hoá các thông số bằng phương pháp RSM

Phương pháp RSM là phương pháp tối ưu hoá quy hoạch thực nghiệm, dùng để khảo sát

xác định các thông số tối ưu X_1, X_2, X_3 với hàm mục tiêu F_d đạt giá trị nhỏ nhất. Giá trị mã hoá với 3 mức đảm bảo tính đối xứng thể hiện như Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị mã hoá và giá trị thực của các thông số khảo sát

Thông số	Mức thấp	Mức tâm	Mức cao
	-1	0	+1
X_1 (km/h)	30	40	50
X_2 (độ)	10	15	20
X_3 (độ)	5	10	15

Phương trình hồi quy tổng quát có dạng:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{ij} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \tag{2}$$

Trong đó:

y - Hàm mục tiêu (F_d);

x_i - Nhân tố hoặc sự kiện hay yếu tố ảnh hưởng lên hàm mục tiêu (X_1, X_2, X_3);

β_i - Hệ số hồi quy bậc 1, mô tả ảnh hưởng của các nhân tố x_i lên hàm mục tiêu;

β_{ij} - Hệ số hồi quy bậc 1, mô tả ảnh hưởng đồng thời của 2 nhân tố x_i và x_j ;

β_{ii} - Hệ số hồi quy bậc 2, mô tả ảnh hưởng bậc 2 của nhân tố x_i lên kết quả thực nghiệm;

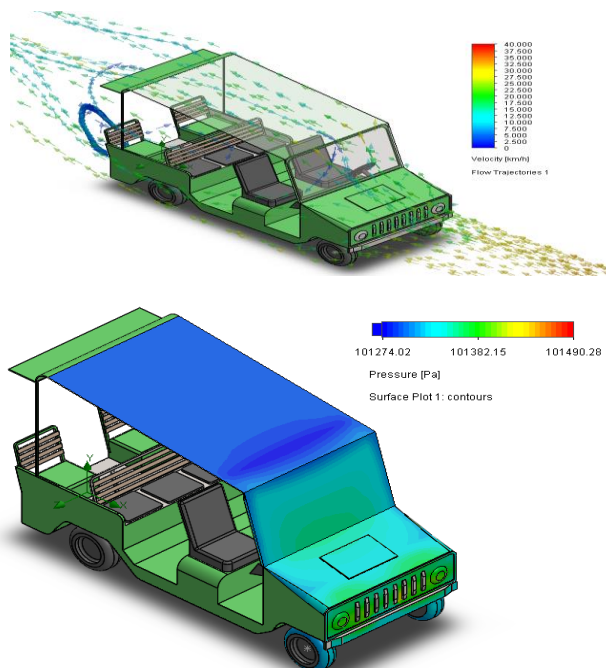
β_0 - Hệ số tự do trong mô hình;

ϵ - Sai số thống kê liên quan đến giá trị trung bình.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xác định lực cản khí động học phân tích FEA

Kết quả mô phỏng với vận tốc trong khoảng khảo sát từ (30 ÷ 50 km/h) của mô hình thân vỏ xe điện ta được kết quả phân bố dòng khí và áp suất như Hình 4.



Hình 4. Phân bố dòng khí và áp suất tác dụng lên vỏ xe ô tô điện

Từ kết quả Hình 4 dựa vào sự phân bố màu sắc quang phổ thể hiện độ lớn về áp suất có sự thay đổi màu sắc từ xanh lá cây đến màu đỏ tại nhiều vùng khác nhau trên vỏ xe ô tô điện. Tại khu vực đầu xe và vùng tiếp nối giữa nắp capo với kính chắn phía trước là vùng có áp suất lớn nhất. Phần gầm xe và đuôi xe áp suất nhỏ, hầu như ít ảnh hưởng. Như vậy tại phần đầu xe và vùng tiếp nối giữa nắp capo với kính chắn phía trước là những vùng tiếp xúc trực tiếp với dòng khí luôn có áp suất lớn hơn so với những vị trí

khác. Do có sự khác nhau về áp suất xung quanh xe là nguyên nhân tạo lên lực cản khí động học khác nhau giữa các vị trí trên xe khi xe chuyển động. Lực cản phụ thuộc rất lớn vào diện tích tiếp xúc (kích thước hình học), khi lực cản lớn làm cho xe tiêu tốn nhiều nguồn năng lượng hơn.

Kết quả khảo sát khi thay đổi góc nghiêng của kính chắn phía trước X_2 với góc nghiêng của nắp capo X_3 ta được kết quả phân tích về lực cản khí động học theo Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích về lực cản khí động học F_d

TT	Vận tốc xe	Góc nghiêng kính trước	Góc nghiêng nắp capo	Lực cản F_d (N)
	X_1 (km/h)	X_2 (độ)	X_3 (độ)	
1	40	15	10	191,966
2	50	15	5	215,642
3	30	10	10	169,003
4	40	10	5	196,365
5	30	15	5	77,954
6	30	20	10	106,753
7	40	20	5	138,949
8	40	15	10	191,966
9	40	15	10	191,966
10	50	15	15	187,775
11	40	20	15	137,261
12	30	15	15	78,940
13	50	10	10	302,992
14	50	20	10	296,983
15	40	10	15	143,795

Qua kết quả phân tích FEA ta thấy vận tốc càng lớn, các góc nghiêng cũng lớn thì lực cản F_d cũng rất cao. Điều này có thể dễ hiểu là diện tích bề mặt tiếp xúc với luồng khí tác động vào vỏ thân xe là lớn nên lực cản tăng lên.

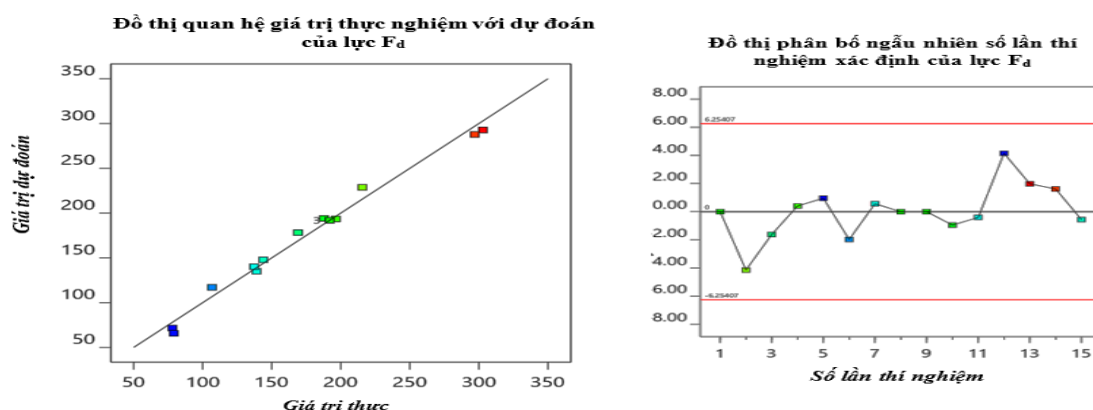
3.2. Phân tích hồi quy mô hình RSM

$$F_d = 218,374 - 0,8219 X_1 - 44,2305 X_2 + 42,8012 X_3 + 0,1281 X_1 X_2 - 0,1442 X_1 X_3 + 0,5088 X_2 X_3 + 0,0647 X_1^2 + 0,1819 X_2^2 - 2,3345 X_3^2 \quad (3)$$

Kết quả chạy ra được đồ thị Hình 5 quan hệ tương quan giữa thực nghiệm và dự đoán, cho thấy hai mô hình có tương thích tốt các điểm tập

Từ kết quả trên Bảng 1 nghiên cứu sử dụng phương pháp RSM xây dựng ra mô hình dự đoán các thông số X_1, X_2, X_3 ảnh hưởng đến lực F_d ta được phương trình tương qua hồi quy như phương trình (3) với độ tin cậy giá trị $R^2 = 0,9862$.

trung thao dạng tuyến tính bậc nhất, phân bố các điểm thí nghiệm là đảm bảo tính ngẫu nhiên.



Hình 5. Đồ thị quan hệ giá trị thực nghiệm và dự đoán với số lần phân bố ngẫu nhiên khi xác định lực F_d

Sau khi đảm bảo tính tương thích và hồi quy nghiên cứu tiến hành phân tích ANOVA để xác

định thông số nào có ảnh hưởng lớn đến lực cản nhiều nhất, kết quả cho như Bảng 3.

Bảng 3. Phân tích ANOVA cho mô hình hồi quy F_d

Thông số	Bậc tự do (DF)	Tổng các bình phương (SS)	Mức độ ảnh hưởng	Tổng bình phương điều chỉnh	Trung bình điều chỉnh MS	Giá trị của F	Giá trị của P
Model	9	60582,2	98,62%	60582,2	6731,4	39,57	0,000
X_1	1	40718,3	66,28%	40718,3	40718,3	239,35	0,000
X_2	1	2184,9	3,56%	2184,9	2184,9	12,84	0,016
X_3	1	822,9	1,34%	822,9	822,9	4,84	0,079
$X_1 X_1$	1	314,7	0,51%	154,9	154,9	0,91	0,384
$X_2 X_2$	1	2317,8	3,77%	1550,3	1550,3	9,11	0,029
$X_3 X_3$	1	12577,4	20,47%	12577,4	12577,4	73,93	0,000
$X_1 X_2$	1	790,8	1,29%	790,8	790,8	4,65	0,084
$X_1 X_3$	1	208,1	0,34%	208,1	208,1	1,22	0,319
$X_2 X_3$	1	647,2	1,05%	647,2	647,2	3,80	0,109
Sai số	5	850,6	1,38%	850,6	170,1		
LOF	3	850,6	1,38%	850,6	283,5	*	*
Sai số thuần	2	0,0	0%	0,0	0,0		
Tổng	14	61432,8	100%				

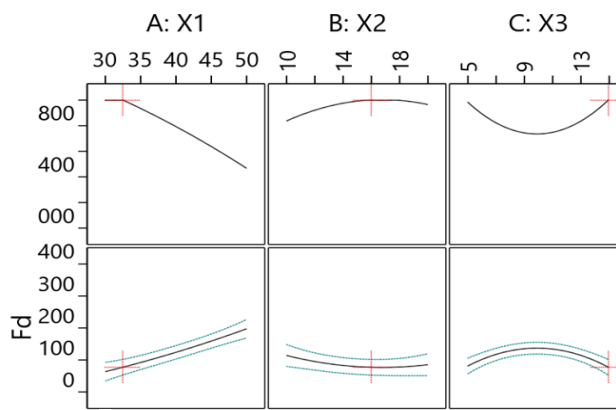
Qua kết quả phân tích ta thấy giá trị P nhận được của phương trình hồi quy là nhỏ. Trong ba thông số nghiên cứu thì thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản F_d là X_1 (66,28%), còn thông số X_2 (3,56%), X_3 (1,34%) có sức ảnh hưởng rất ít.

3.3. Tính toán tối ưu RSM

Để xác định được thông số tối ưu nhằm đảm bảo được lực F_d là nhỏ nhất nghiên cứu tiến hành thực hiện tính toán tối ưu, với 3 thông số đầu vào X_1, X_2, X_3 với hàm mục tiêu F_{dmin} , với điều biên của hàm mục tiêu cho trong Bảng 4.

Bảng 4. Thông số đầu vào và hàm mục tiêu F_d

Thông số	Giới hạn dưới	Giới hạn trên	Trọng số	Mức	Mục tiêu
X_1 (km/h)	30	50	1	3	Khoảng
X_2 (độ)	10	20	1	3	Khoảng
X_3 (độ)	5	15	1	3	Khoảng
F_d (N)	77,954	302,992	1	3	Min



Hình 6. Đồ thị xác định thông số tối ưu

Kết quả tối ưu bằng RSM được giới thiệu như trên đồ thị như hình 6. Từ đồ thị ta thấy tại các giá trị $X_1 = 32,456$ (km/h), $X_2 = 15,99$ (độ), $X_3 = 14,97$ (độ) thì khi đó hàm F_d đạt giá trị nhỏ nhất F_d (min) = 77, 426 (N).

Sau khi có kết quả tính toán tối ưu ra được các thông số về cấu tạo X_2, X_3 , thông số về vận tốc X_1 thì nghiên cứu tiến hành vẽ thiết kế lại và chạy lại phân tích FEA với cùng một điều kiện. Kết quả chạy ra được $F_{d2} = 78, 696$ (N) có sự chênh lệch vì trong quá trình chạy phần mềm có nhiều thông số ảnh hưởng khác, nhưng kết quả sai lệch không đáng kể. Vậy với thông số tìm được $X_1 = 32,456$ (km/h), $X_2 = 15,99$ (độ), $X_3 = 14,97$ (độ) thì ta đạt được lực cản khí động học là nhỏ nhất.

Vì thông số kỹ thuật cũng như chế tạo ta có thể làm tròn số $X_1 = 32,5$ (km/h), $X_2 = 16$ (độ),

$X_3 = 15$ (độ) để thuận tiện cho chế tạo thực tế, kết quả không ảnh hưởng nhiều đến giá trị mong muốn.

4. KẾT LUẬN

Kết quả của nghiên cứu đã sử dụng phương pháp FEA để xác định lực cản khí động học F_d với 3 thông số ảnh hưởng là vận tốc X_1 , độ nghiêng kính chắn trước X_2 và góc nghiêng nắp capo X_3 , xác định được miền giới hạn lực F_d . Nghiên cứu tiếp tục sử dụng phương pháp RSM để tính toán tìm ra được thông số tối ưu nhằm đạt được mục tiêu là F_d nhỏ nhất. Kết quả phân tích cho ta được thông số $X_1 = 32,456$ (km/h), $X_2 = 15,99$ (độ), $X_3 = 14,97$ (độ) giá trị lực cản F_d (min) = 77, 426 (N). Sau khi có thông số nghiên cứu phân tích lại bằng phương pháp FEA, kết quả chạy ra được $F_{d2} = 78, 696$ (N) có sự chênh 1,613% nhỏ nên đảm bảo độ tin cậy của các

thông số. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để đưa ra được thông số cấu tạo tối ưu đảm bảo lực cản nhỏ nhất, giảm mức tiêu hao năng lượng nhất cho xe điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Wolf-Heinrich Hucho (1990). Aerodynamics of Road Vehicles, Butterworth and Co. Publishing, Boston, MA.
- [2]. Joseph Katz (1995). Race car aerodynamics: designing for speed. Bentley Publishers, Philadelphia, PA.
- [3]. Halil Sadettin Hamut, Rami S El-Emam, Murat Aydin & Ibrahim Dincer (2014). Effects of rear spoilers on ground vehicle aerodynamic drag. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow. 24(3): 627-642.
- [4]. Tien Phuc Dang, Zhengqi Gu & Zhen Chen (2015). Numerical simulation of flow field around the race car in case: stationary wheel and rotating wheels, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow. (8): 1896-1911.
- [5]. Angelina I Heft, Thomas Indinger & Nikolaus A Adams (2012). Introduction of a new realistic generic car model for aerodynamic investigations, SAE Technical Paper. DOI: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0168>.
- [6]. M. Desai, S. A. Channiwala & H. J. Nagarsheth (2008). A comparative assessment of two experimental methods for aerodynamic performance evaluation of a car. Journal of scientific. (67): 518-522.
- [7]. C. Rajsinh B. & T. K. Raj R (2012). Numerical Investigation of External Flow around the Ahmed Reference Body Using Computational Fluid Dynamics. Research Journal of Recent Sciences. (9): 1-5.
- [8]. Lê Hồng Quân Nguyễn Anh Ngọc, Trần Phúc Hòa, Hoàng Quang Tuấn & Chu Đức Hùng (2019). Nghiên cứu cải thiện hình dáng khí động học của thân vỏ xe điện HAUI-EV2. Tạp chí khoa học & Công nghệ Đại học Công nghiệp Hà Nội. 55: 91-94.
- [9]. Trần Phúc Hòa, Nguyễn Anh Ngọc & Vũ Hải Quân (2020). Nghiên cứu thiết kế ống khí động học để đánh giá ảnh hưởng của lực cản không khí lên vỏ xe ô tô điện HaUI-EV2. Tạp chí Khoa học và Công nghệ. 56(5): 84-87.
- [10]. Tô Hoàng Tùng (2016). Nghiên cứu cải thiện dạng khí động học vỏ xe khách lắp ráp tại Việt Nam. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [11]. Đặng Tiến Phúc, Nguyễn Tuấn Nghĩa, Nguyễn Hữu Mạnh, Nguyễn Minh Thái, Võ Văn Lộc & Nguyễn Xuân Ngọc (2018). Mô phỏng đặc tính khí động lực học mô hình xe buýt lắp ráp tại Việt Nam. Hội nghị KH&CN toàn quốc về cơ khí lần thứ 5.
- [12]. Nguyễn Đình Cường & Lê Đức Thắng (2020). Nghiên cứu tính toán hệ số khí động học trên xe ô tô tải. Tạp chí Nghiên cứu Khoa học - Đại học Sao Đỏ. 3(70): 51-56.
- [13]. Nguyễn Lương Căn, Đỗ Tiến Quyết & Lê Đức Thắng (2021). Nghiên cứu xác định các hệ số lực khí động của xe du lịch. Tạp chí Nghiên cứu Khoa học - Đại học sao đỏ. 3(74): 45-48.
- [14]. Đỗ Tiến Quyết (2023). Nghiên cứu ảnh hưởng của lực khí động đến sự ổn định chuyển động của ô tô khách cỡ lớn. Luận án tiến sĩ cơ khí động lực, Đại Học Bách khoa Hà Nội.
- [15]. Hoàng Sơn (2023). Nghiên cứu thiết kế, chế tạo ô tô điện phục vụ đào tạo và trải nghiệm tại Trường Đại học Lâm nghiệp. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ đặt hàng cấp cơ sở, Trường Đại học Lâm nghiệp.