



## Effect of Deflector on the Ahmed Model

---

Duy Phạm, Hùng Trần and Anh Lê

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

May 29, 2024

## Ảnh hưởng của tám điều khiển dòng lên mô hình xe Ahmed

Phạm Văn Duy<sup>1\*</sup>, Trần Thế Hùng<sup>2</sup>, Lê Đình Anh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Khoa Hàng không Vũ trụ, Học viện Kỹ thuật Quân sự

<sup>3</sup>Viện Công nghệ Hàng không Vũ trụ, Đại học Công nghệ, ĐHQGHN

\*Email: phamvanduy2k@gmail.com

**Tóm tắt:** Bài báo khảo sát ảnh hưởng của tám điều khiển dòng tới lực cản khí động của phương tiện bằng phương pháp mô phỏng số với mô hình rối GEKO  $k-\omega$  trên phần mềm Ansys Fluent 2023R1. Mô phỏng này áp dụng trên mô hình xe Ahmed 75% Scale và được thiết lập thêm tám điều khiển dòng. Qua đó, đặc tính khí động quanh mô hình xe Ahmed được phân tích cụ thể bao gồm: Hệ số lực cản, phân bố hệ số áp suất, vận tốc, ma sát bề mặt. Kết quả của nghiên cứu có ý nghĩa thiết thực trong nghiên cứu hệ thống cân bằng lực, giảm lực cản cải thiện hiệu suất cho các phương tiện trong tương lai.

*Từ khóa:* Mô phỏng số, tách dòng, lực cản, mặt vát, GEKO  $k-\omega$ .

### 1. Mở đầu

Năng lượng đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, khoa học công nghệ, việc làm chủ nguồn năng lượng là vấn đề của mọi quốc gia. Hiện nay, nhiều quốc gia phần lớn đều sử dụng nguồn năng lượng hóa thạch như dầu mỏ, than đá, ... Đây là nguyên nhân chính dẫn đến biến đổi khí hậu và chúng đang dần cạn kiệt. Phần lớn việc sử dụng nhiên liệu và xả khí thải đến từ các phương tiện giao thông, đặc biệt là các động cơ đốt trong. Các phương tiện điện mới với nhiều đặc điểm được cải tiến về cả mẫu mã và mức độ tiêu thụ nhiên liệu không chỉ là mục tiêu của các hãng xe mà còn là đề tài nghiên cứu của các trường, các viện nghiên cứu.

Các thành phần lực cản xảy ra xung quanh phương tiện, đặc biệt là phía sau của vật thể, các dòng xoáy ảnh hưởng chính tới việc tạo ra tiếng ồn, độ ổn định của phương tiện. Hiểu về hành vi khí động lực học của một mô hình rất quan trọng để lựa chọn được mô hình phù hợp từ đó đưa ra được chiến lược kiểm soát lực cản. Ahmed body [1] đã được chú ý và lựa chọn rất nhiều khi nghiên cứu về xe. Tuy đây là mô hình đơn giản nhưng mang đầy đủ tính chất của dòng chảy với góc vát có thể thay đổi. Tại góc vát khoảng  $12,5^\circ$ , xuất hiện vùng chảy ngược và hai xoáy dọc trên đuôi vát. Cấu trúc này có xu hướng mở rộng và tăng dần khi góc vát tăng, làm tăng đáng kể lực cản của mô hình. Tại góc vát từ  $25 - 30^\circ$ , cấu trúc xoáy đạt cực đại. Khi góc vát tiếp tục tăng, vùng xoáy ngược và hai dải xoáy dọc bị phá vỡ, lực cản của mô hình giảm. Nghiên cứu dòng chảy quanh đuôi cho mô hình có góc vát  $25^\circ$  và phương pháp giảm lực cản được thực hiện bởi nhiều nhà nghiên cứu [2] – [7]. Trong nghiên cứu này điều tra tác động của bộ điều khiển dòng được gắn tại mép trên của mặt vát nghiêng sau mô hình xe Ahmed và bộ điều khiển này có thể thay đổi góc hợp bởi tám điều khiển và mặt vát nghiêng.

Kỹ thuật được sử dụng trong nghiên cứu này là phương pháp mô phỏng số. Trong phương pháp này, các phương trình động lực học chất lỏng cơ bản được giải bằng cách rời rạc hóa và sử dụng các thuật toán sai phân hoặc thể tích hữu hạn. Các chương trình máy tính có khả năng tính toán chính xác thời gian không ổn định bằng cách sử dụng phương trình Navier-Stokes. Trong đó công cụ Ansys Fluent có khả năng tính toán trường dòng cơ sở cho các trường hợp góc hợp bởi tám điều khiển và mô hình Ahmed body bằng kỹ thuật tính toán Navier-Stock từ đó đã giúp giải quyết được bài toán liên quan đến khí động học vật thể.

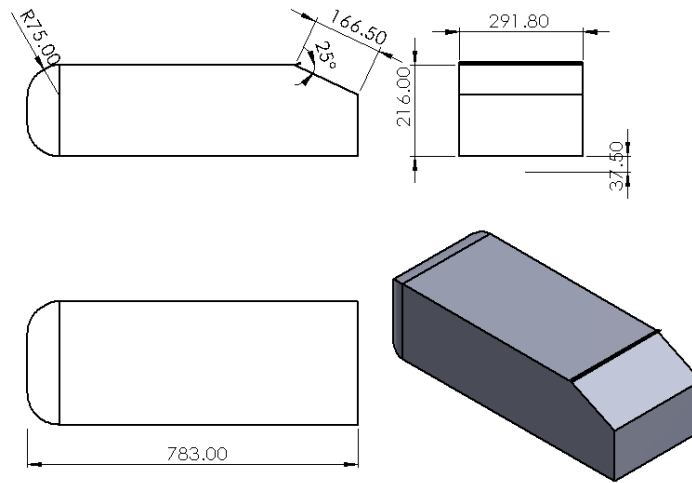
Trong nghiên cứu này, hệ số cản của mô hình Ahmed body 75% được mô phỏng bằng phần mềm Ansys Fluent tại số reynold  $2.8 \times 10^5$ . Góc vát của Ahmed body là  $25^\circ$  và góc hợp bởi tám điều khiển

dòng và mặt vát của mô hình trong khoảng từ  $0^\circ$  đến  $50^\circ$ . Việc phân tích các hệ số lực cản khí động, áp suất và trường dòng chảy cần được tiến hành. Các kết quả của việc nghiên cứu sẽ đưa ra cái nhìn sâu sắc về chiến lược tối ưu phương tiện.

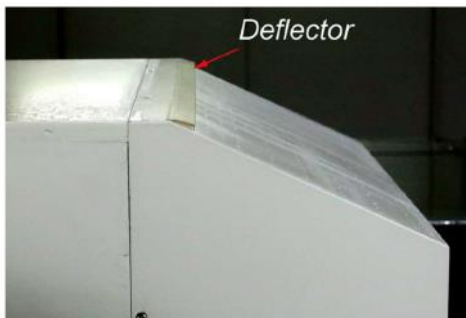
## 2. Mô hình bài toán và phương pháp giải

### 2.1. Mô hình bài toán

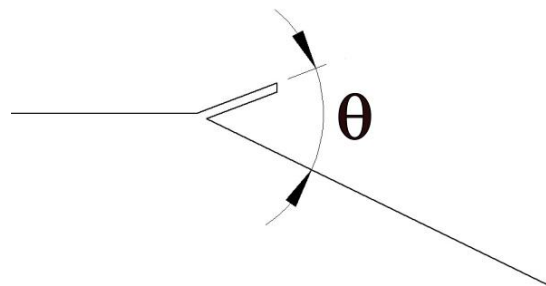
Mô hình được sử dụng trong nghiên cứu này là 75% scale Ahmed body, nó được gắn với tấm điều khiển dòng tương tự với nghiên cứu thực nghiệm của Trần Thế Hùng và cộng sự [8]. Các nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng RANS cổ điển chưa đưa ra được kết quả trường ma sát bề mặt chính xác, tại đây sử dụng phương pháp nghiên cứu mới được phát triển bởi Ansys đã cho được các kết quả mà phương pháp trong quá khứ không thể hiện được. Vì thế việc sử dụng mô hình đã có công bố thực nghiệm rất có hữu ích cho việc xác thực và so sánh kết quả. Mặc dù, kích thước của mô hình nhỏ hơn so với vật thể tiêu chuẩn nhưng đặc tính dòng chảy tương tự đối với số Reynold là  $2.8 \times 10^5$ . Kích thước vật thể được thể hiện như hình 1, tấm điều khiển được thiết lập với chiều dài bằng 0.9% chiều dài mặt vát.



a) Kích thước 2D của mô hình



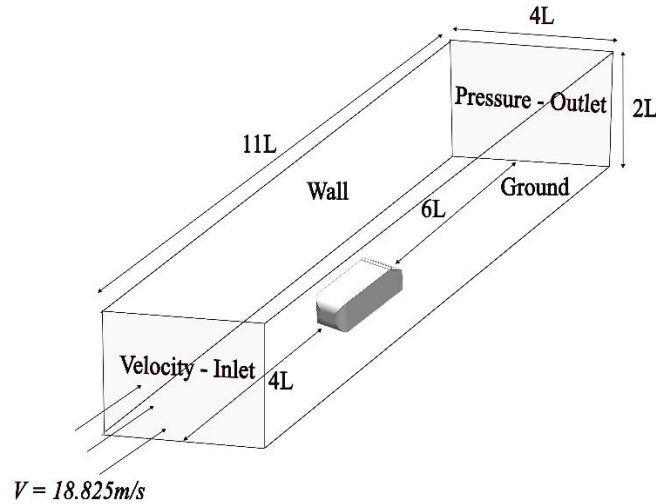
b) Tấm điều khiển được gắn vào mặt vát [8]



c) Góc lệch của tấm điều khiển

Hình 1. Kích thước mô hình

Miền tính toán có kích thước đủ lớn để thu được các cấu trúc dòng chảy chi tiết xung quanh mô hình thể hiện như hình 2. Tổng cộng 9 trường hợp góc hợp bởi tấm điều khiển và mặt vát để hiểu về xu hướng cản và hành vi của dòng chảy xung quanh mô hình. Đầu vào được thiết lập là Velocity- Inlet, đầu ra được thiết lập là Pressure-Outlet. Vì vận tốc thấp nên mật độ không khí và độ nhớt được coi như không thay đổi.

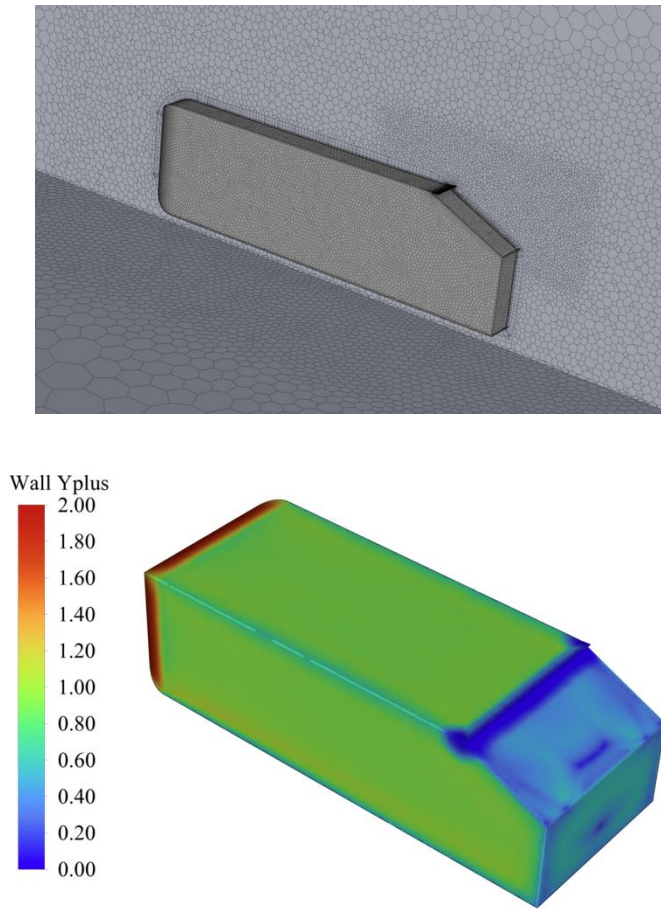


Hình 2. Vùng tính toán

### 2.3. Lưới tính toán

Lưới dạng poly-hexcore được sử dụng cho tính toán. Đặc điểm của loại lưới này cho phép tận dụng được tối đa tính chính xác của lưới cấu trúc trong vùng dòng khí lớn và không phức tạp; trong khi đó, lưới phi cấu trúc được sử dụng tại các vùng sát mô hình để tạo dựng chính xác cấu trúc phức tạp của mô hình. Lưới kết hợp poly-hexcore đã được chứng minh có thể cung cấp kết quả mô phỏng chính xác và giảm thời gian tính toán [9]. Bên cạnh đó, để đảm bảo tính chính xác mô phỏng các vị trí gần bề mặt vật thể, 10 lớp lưới đã được xây dựng với chiều dày lớp lưới đầu tiên là  $3.4^{-5}m$ , tương ứng với giá trị  $y^+ = 2$ . Bên cạnh đó một vùng lưới đậm được chia dày tại khu vực tấm điều khiển nhằm mục đích nắm bắt chi tiết trường dòng chảy trên mặt vát và ảnh hưởng của tấm điều khiển. Lưới sau đó được kiểm tra chất lượng lưới với kết quả đo Orthogonal quality là 0.07 đã đạt chất lượng lưới tốt và đảm bảo đạt yêu cầu để tiến hành chạy mô phỏng. Cấu trúc lưới trên, xung quanh mô hình và sự phân bố  $y^+$  được thể hiện như trên Hình 3.





Hình 3. Phân bố của lưới và  $y^+$

## 2.2. Phương pháp tính toán

Phương pháp trung bình Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) - phương pháp này dựa trên trung bình phương trình Navier-Stokes và bỏ qua ảnh hưởng của thời gian lên đặc tính của dòng chảy. Mặc dù hạn chế trong phân tích cụ thể đặc tính không dừng của dòng chảy, mô hình RANS được biết cho kết quả tương đối chính xác đối với dòng chảy trung bình, đồng thời giúp giảm thời gian tính toán và được sử dụng phổ biến trong công nghiệp. Phương pháp này dựa trên trung bình hóa phương trình Navier-stokes được viết như sau:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho u_i'' u_j'') \end{cases} \quad (1)$$

Để xét đến ảnh hưởng của rối, mô hình GEKO (Generalized  $k-\omega$ ) được sử dụng, đây là một mô hình mới trong Ansys Fluent cho phép người dùng điều chỉnh các tham số để phù hợp với các hiệu ứng vật lý hoặc dữ liệu thực nghiệm nhờ đó cải thiện kết quả tính toán CFD. Công thức của mô hình rối GEKO  $k-\omega$  [10] được thể hiện như sau:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j k)}{\partial x_j} = P_k - C_\mu \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j \omega)}{\partial x_j} = C_{\omega 1} F_1 \frac{\omega}{k} P_k - C_{\omega 2} F_2 \rho \omega^2 + \rho F_3 CD + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

$$\mu_t = \rho \nu_t = \rho \frac{k}{\max(\omega, S / C_{Realize})} \quad (4)$$

$$P_k = -\tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (5)$$

$$\tau_{ij}^{EV} = -\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t 2S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (6)$$

$$CD = \frac{2}{\sigma_\omega} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (7)$$

$$\tau_{i,j} = \tau_{ij}^{EV} - C_{CORNER} \frac{1.2 \mu_t}{\max(0.3 \omega \sqrt{0.5(S^2 + \Omega^2)})} (S_{ij} \Omega_{kj} - \Omega_{ik} S_{kj}) \quad (8)$$

Trong đó:

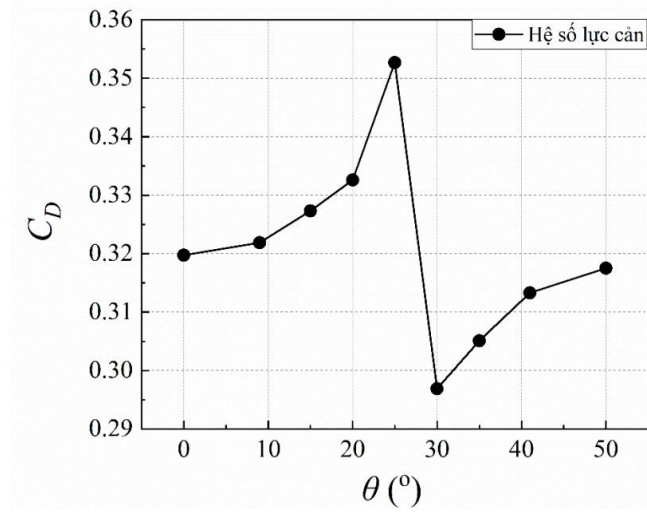
$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right); \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right); \quad S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}; \quad \Omega = \sqrt{2\Omega_{ij}\Omega_{ij}}$$

Các hệ số tự do của mô hình GEKO được triển khai thông qua các hàm ( $F_1, F_2, F_3$ ) mà người dùng có thể điều chỉnh để đạt được các mục tiêu khác nhau. Đối với nghiên cứu này, tham số  $C_{SEP}$  được thay đổi phù hợp với chức năng chính để điều chỉnh dự đoán phân tách cho lớp biên.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả lực cản khí động

Các kết quả của bài toán được tính toán dựa trên diện tích mặt cắt ngang của mô hình Ahmed 75% scale ban đầu. Quan sát Hình 4 thấy được hệ số lực cản tăng khi tấm điều khiển hợp với mặt vát góc từ  $0^\circ$  đến  $25^\circ$ , sau đó hệ số lực cản giảm tại góc hợp  $30^\circ$ , kết quả cho thấy rằng khi thêm tấm điều khiển hệ số cản giảm tối đa 7.14%. Xu hướng của hệ số lực cản tương tự với nghiên cứu của Fourrie và cộng sự [11] từ đó cho thấy rằng phương pháp mô phỏng được lựa chọn phù hợp để mô tả đặc tính khí động mô hình. Giải thích cho sự thay đổi lực cản là do sự phá vỡ cấu trúc dòng chảy được nêu chi tiết ở mục 3.2.

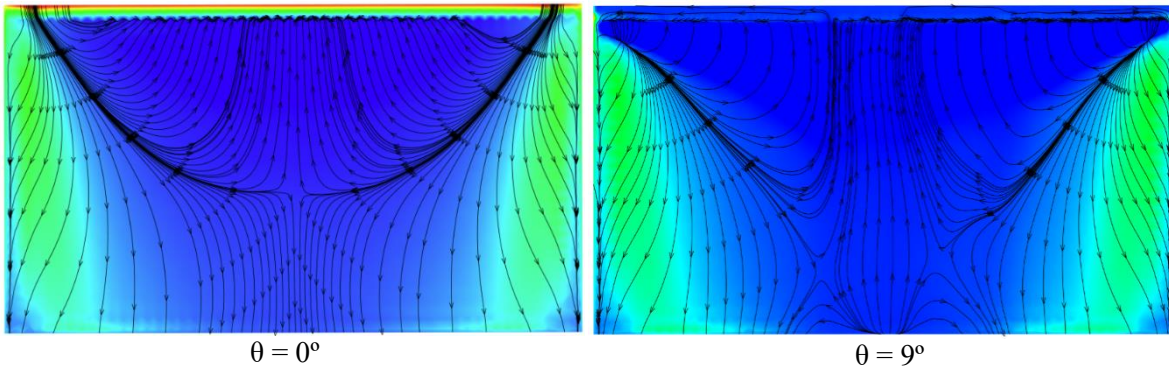


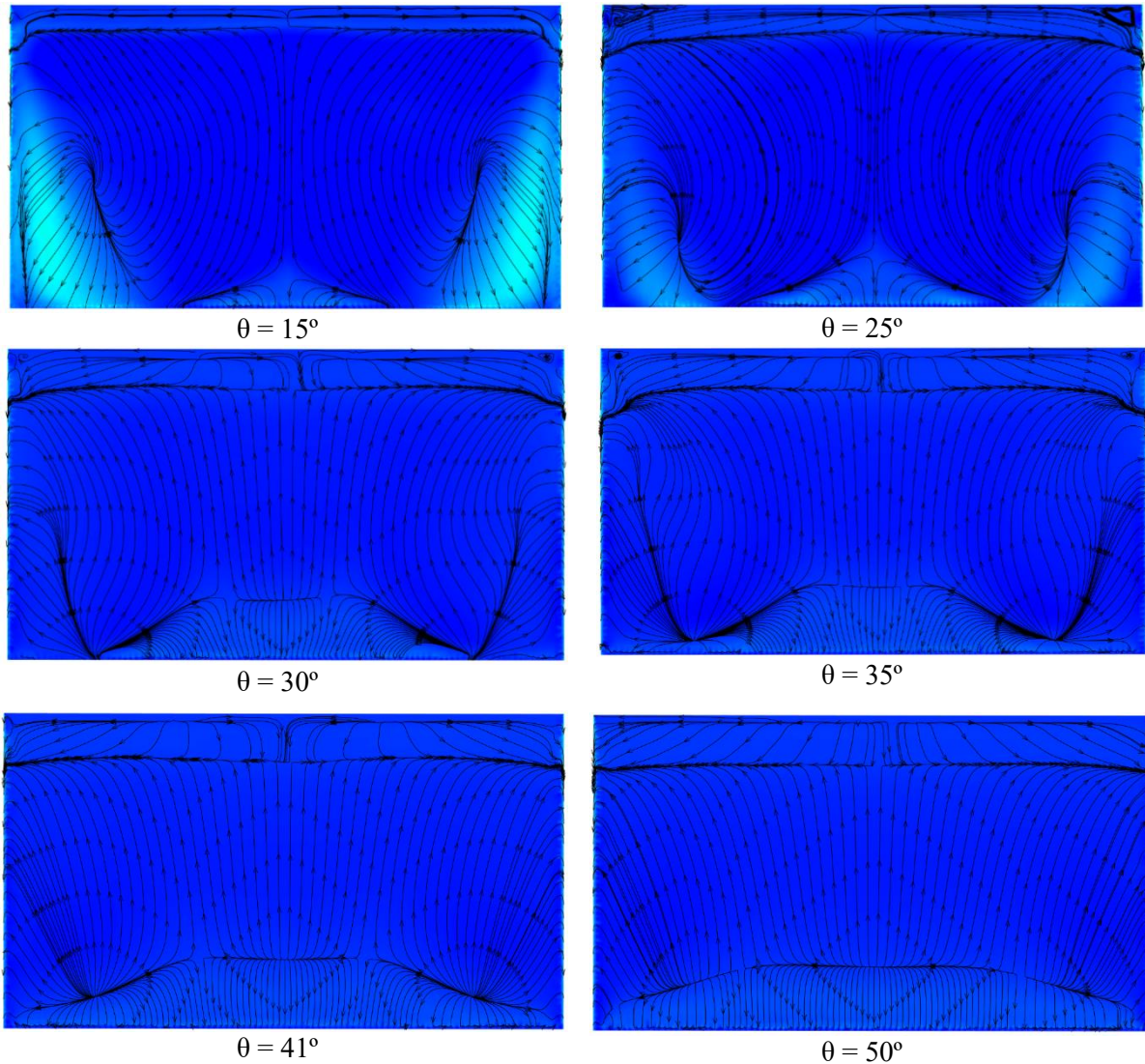
Hình 4. Hệ số lực cản tại các góc hợp bởi tấm điều khiển và mặt vát khác nhau

### 3.2. Phân bố ma sát bề mặt và áp suất

Hình 5 thể hiện trường dòng chảy bề mặt trên mặt vát của mô hình. Quan sát thấy rằng đối với góc  $0^{\circ}$  dòng chảy có tính đối xứng cao trên đường  $y = 0$  với một xoáy tách dòng lớn trên bề mặt. Cấu trúc và chiều dài của xoáy này tương tự như kết quả thực nghiệm thu được của Trần Thế Hùng [8] và các nghiên cứu trước đây. Bằng kết quả mô phỏng số cũng khẳng định dòng chảy được tách ra ở phía sau của mép trên của mặt vát tương tự với dữ liệu thực nghiệm. Mô hình rối GEKO  $k-\omega$  với tính linh hoạt khi điều chỉnh mô hình theo các ứng xử khác nhau của dòng chảy từ đó GEKO là lựa chọn tốt khi đưa ra được kết quả như mong muốn.

Các góc hợp bởi tấm điều khiển với mặt vát khác nhau thì ứng xử của dòng chảy cũng khác nhau. Xoáy tách dòng phát triển rộng ra tại các góc lệch âm từ  $0^{\circ}$  đến  $25^{\circ}$ . Tại góc  $30^{\circ}$  dòng chảy trên bề mặt vát đã thay đổi hoàn toàn không còn các xoáy dọc điều này dẫn đến hệ số lực cản giảm. Các góc lệch càng tăng sau góc  $30^{\circ}$  thì dòng chảy ngược từ mép dưới của mặt vát tăng lên lực cản tăng dần. Đáng chú ý đối với góc lệch cao dòng chảy chuyển sang trạng thái tách dòng hoàn toàn trạng thái này có đặc điểm tương tự góc vát  $35^{\circ}$  mô hình Ahmed không nguyên bản tuy nhiên cấu trúc dòng chảy có phần phức tạp hơn đối với trường hợp góc vát nghiêng cao hơn.

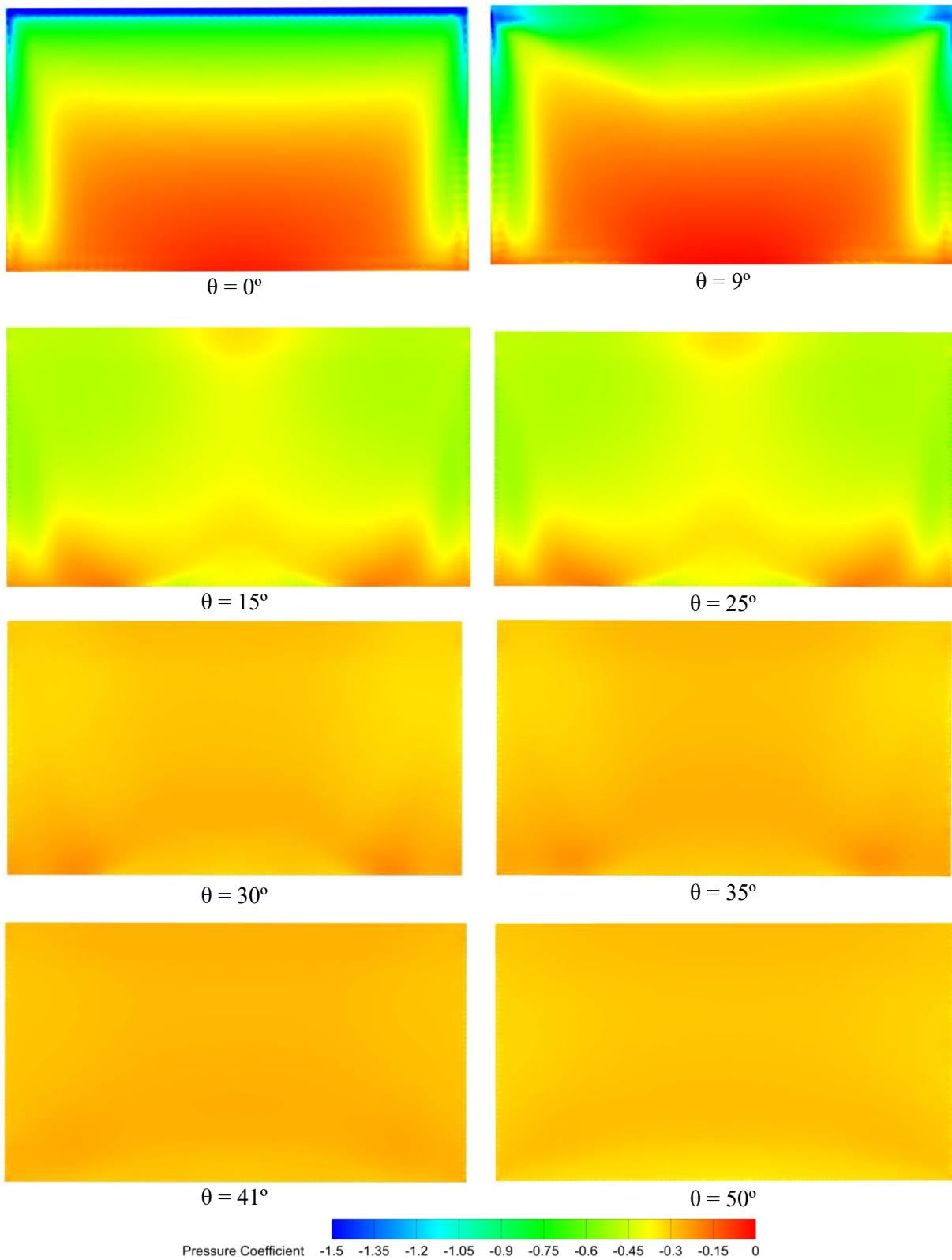




Hình 5. Phân bố hệ số áp suất và dòng chảy trên mặt vát mô hình

Hình 6 thể hiện trường phân bố áp suất trên bề mặt, qua cách hiển thị trên có thể hiểu rõ hơn về mối quan hệ giữa trường ma sát bề mặt và trường phân bố áp suất. Sự sụt giảm áp suất có thể quan sát dễ dàng nhất tại 2 mép trên của mặt vát do có sự tồn tại của vùng chảy ngược tại đó, vùng áp suất thấp được hình thành dọc theo hai mép nghiêng của mặt vát. Áp suất tăng dần khi tiến vào đường thẳng trung tâm của mặt vát. Sự tồn tại của áp suất xung quanh mép trước và mép bên của mặt nghiêng phù hợp với các nghiên cứu trước đây. Điều đáng chú ý là sự phân bố áp suất tương tự nhau từ góc lệch  $5^\circ$  đến  $25^\circ$  tuy nhiên áp suất thấp tăng lên và vùng áp suất thấp đó trải rộng hơn khi góc lệch tăng.

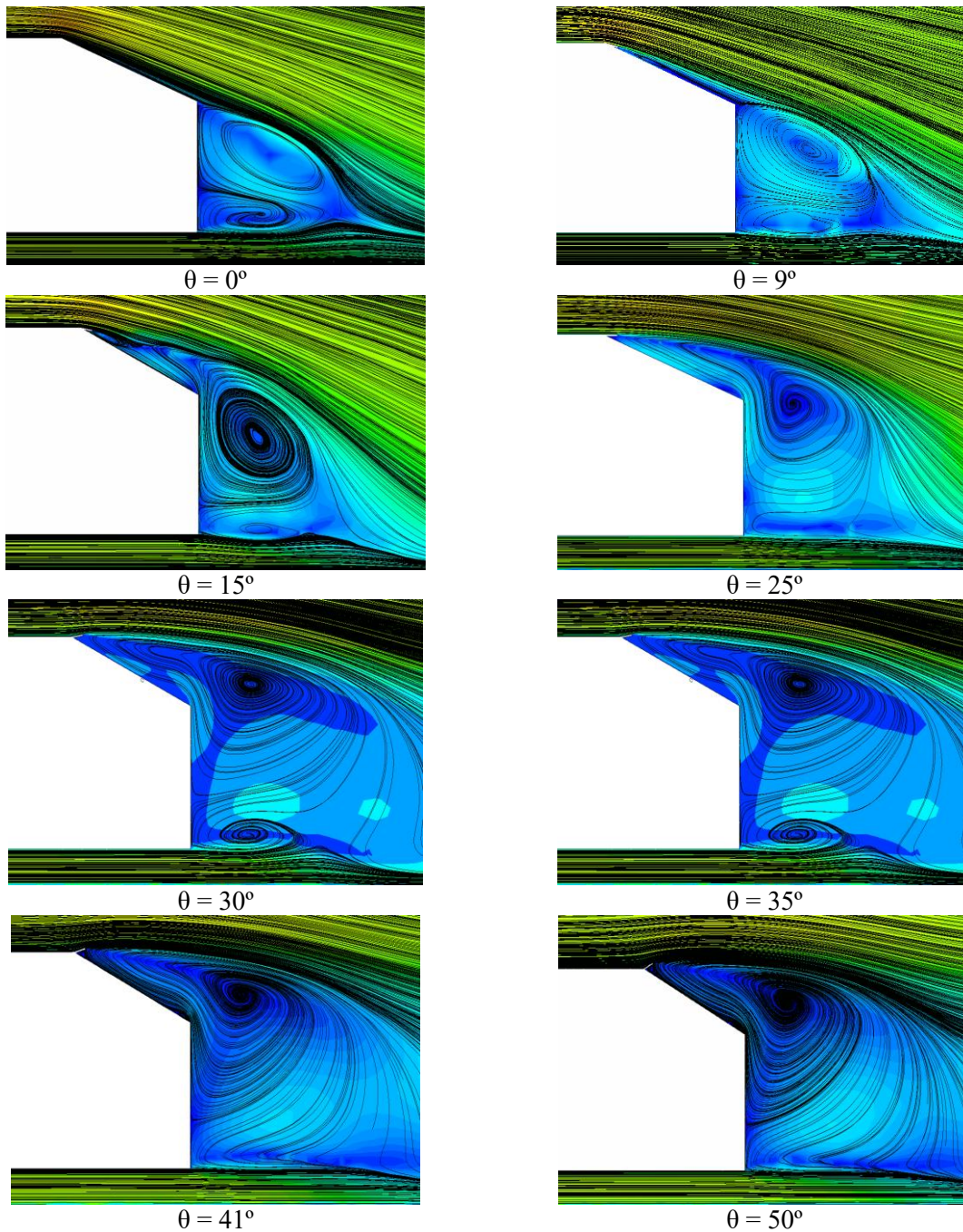




Hình 6. Phân bố hệ số áp suất trên bề mặt vật mô hình

### 2.3. Trường phân bố vận tốc

Hình 7 hiển thị các trường vận tốc trên mặt phẳng cắt ngang để chỉ ra dòng chảy xung quanh mô hình với tấm điều khiển. Quan sát thấy rằng với góc lệch  $0^\circ$  và  $9^\circ$  xuất hiện xoáy tách dòng tương tự như các phân tích phía trên, vùng tách dòng tăng mạnh khi góc lệch lên tới  $15^\circ$ . Đối với mô hình có góc lệch  $25^\circ$  bộ lệch hướng làm nhiễu loạn dòng chảy gần bề mặt dẫn đến dòng chảy bị tách ra hoàn toàn tại đó. Mô hình có góc lệch  $30^\circ$  dòng phân tách trộn lẫn với dòng chảy phía đuôi tạo thành một dòng chảy đảo ngược lớn ở phía sau bề mặt. Điều này dẫn đến lực cản của mô hình giảm xuống.



Hình 7. Phân bố dòng chảy trên bề mặt cắt ngang

#### 4. Kết luận

Các đặc điểm khí động được phân tích trong bài nghiên cứu về ảnh hưởng của tấm điều khiển dòng thiết lập cùng với mô hình xe Ahmed. Các góc lệch thay đổi từ  $0^\circ$  đến  $50^\circ$  để hiểu về dòng chảy và ứng dụng vào chiến lược giảm lực cản phương tiện. Mô hình rối GEKO  $k-\omega$  là mô hình rối mới được phổ biến, chưa được công bố nhiều tuy nhiên với mô hình hiện tại kết quả cho thấy với việc mô phỏng số đạt được nhiều kết quả như mong đợi và hứa hẹn đây sẽ là mô hình được phổ biến rộng rãi trong công nghiệp và nghiên cứu sau này. Các kết quả bằng mô phỏng số cho thấy rằng với tấm điều khiển được thiết lập hệ số lực cản giảm đáng kể hơn 7% đối với góc lệch  $30^\circ$ . Dòng chảy từ tách dòng dẫn đến tách dòng hoàn toàn ở góc lệch  $30^\circ$  tới  $50^\circ$ . Các trạng thái dòng chảy và áp suất cũng được phân tích. Từ những kết quả của nghiên cứu trên tạo cơ sở để nghiên cứu, tối ưu chi phí cho mục đích giảm lực cản trên các thiết bị xe hiện đại bây giờ.

#### Lời cảm ơn

Phạm Văn Duy được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2023.ThS.026

#### Tài liệu tham khảo

- [1] S. R. Ahmed, G. Ramm, G. Faltin. Some Salient Features of the Time-Averaged Ground. *SAE Trans*, **93**, (1984), pp. 473–503.
- [2] G. Vio, S. Watkins, P. Mousley, J. Watmuff, S. Prasad. Flow structures in the near-wake of the Ahmed model. *Journal of Fluids and Structures*, **20**, (May, 2005), pp. 673–695.
- [3] S. Krajnović, L. Davidson. Flow around a simplified car, part 1: Large eddy simulation. *Journal of Fluids Engineering*, **127**, (2005), pp. 907–918.
- [4] M. Miozzi, A. Capone, F. Di Felice, C. Klein, T. Liu. Global and local skin friction diagnostics from TSP surface patterns on an underwater cylinder in crossflow. *Physics of Fluids*, **28**, (December, 2016).
- [5] T. T. Hung, M. Hijikuro, M. Anyoji, T. Uchida, T. Nakashima, K. Shimizu. Deflector effect on flow behavior and drag of an Ahmed body under crosswind conditions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **231**, (2022).
- [6] T. Tunay, B. Sahin, V. Ozbolat. Effects of rear slant angles on the flow characteristics of Ahmed body. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **57**, (2014), pp. 165–176.
- [7] D. Kim, H. Lee, W. Yi, H. Choi. A bio-inspired device for drag reduction on a three-dimensional model vehicle. *Bioinspiration and Biomimetics*, **11**, (February, 2016).
- [8] T. H. Tran, M. Anyoji, T. Nakashima, K. Shimizu, A. D. Le. Experimental Study of the SkinFriction Topology Around the Ahmed Body in Cross-Wind Conditions. *Journal of Fluids Engineering*, **144**, (March, 2022).
- [9] K. Zone, B. Sasanapuri, G. Parkhi, A. Varghese. Ansys Mosaic Poly–Hexcore Mesh For High–Lift Aircraft Configuration. In *Proceeding of 21st Annual CFD Symposium*, (2019), pp. 1–11.
- [10] <https://www.ansys.com/content/dam/amp/2022/march/quick-request/Best-Practice-GEKO-Turbulence-Modeling-in-Ansys-CFD.pdf>
- [11] G. Fourrie, L. Keirsbulck, L. Labraga, P. Gillieron. Bluff-body drag reduction using a deflector. *Experiments in Fluids*, (2011), pp. 385–395.