

# ẢNH HƯỞNG CỦA KÍCH THƯỚC MIỀN TÍNH TOÁN TỚI KẾT QUẢ MÔ PHỎNG LỰC CẢN KHÍ ĐỘNG TÁC DỤNG LÊN ĐẦU ĐẠN ỔN ĐỊNH BẰNG QUAY NHANH

EFFECT OF COMPUTATIONAL DOMAIN SIZE ON AERODYNAMIC DRAG COEFFICIENT PREDICTION  
OF A SPIN-STABILIZED PROJECTILE

Nguyễn Quang Tuấn<sup>1,\*</sup>

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.009>

## TÓM TẮT

Động lực học chất lưu tính toán ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và nghiên cứu khoa học. Một trong những yêu cầu quan trọng trong mô phỏng dòng chảy quanh vật thể là lựa chọn miền tính toán một cách hợp lý. Bài báo này tập trung khảo sát ảnh hưởng của các kích thước miền tính toán tới kết quả xác định lực cản khí động tác dụng lên đầu đạn ổn định bằng quay nhanh. Đối tượng được nghiên cứu là đầu đạn 7,62mm M852. Các tính toán được thực hiện trên phần mềm Ansys Fluent sử dụng phương pháp trung bình theo Reynolds. Mô hình rối được sử dụng trong bài báo là mô hình SST k- $\omega$ . Kết quả mô phỏng được so sánh với số liệu thực nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của kích thước miền tính toán. Kết quả khảo sát cho thấy rằng, các kích thước của miền tính toán ảnh hưởng đáng kể tới kết quả mô phỏng. Tồn tại một kích thước tối hạn nhất định mà kết quả mô phỏng sẽ hầu như không thay đổi nếu tiếp tục tăng kích thước miền tính toán. Khuyến cáo sử dụng miền tính toán có kích thước 5Lx10Lx5L để đảm bảo độ chính xác cần thiết và tiết kiệm thời gian mô phỏng cũng như tài nguyên máy tính. Các kết luận trong bài báo giúp định hướng lựa chọn kích thước miền tính toán một cách hợp lý trong mô phỏng dòng chảy bao quanh đầu đạn ổn định quay nhanh để nhận được kết quả tin cậy và tiết kiệm thời gian.

**Từ khóa:** CFD, mô hình rối, miền tính toán, đầu đạn ổn định bằng quay nhanh, mô phỏng số.

## ABSTRACT

Computational Fluid Dynamics is widely used in industry applications and scientific researches. One of the most important requirements in simulating the flow around a flying object is to choose a reasonable computational domain. This paper focuses on investigating the influence of computational domain size on the simulation results of the aerodynamic drag acting on a spin-stabilized projectile. The research object is the 7.62mm M852 projectile. The computations were performed on Ansys Fluent software using the Reynolds averaging method. The turbulence model SST k- $\omega$  is employed in the current study. The simulation results were compared with experimental data to evaluate the influence of computational domain size. The research results have shown that the dimensions of the computational domain significantly affect the simulation outcome. There exists a certain critical domain size at which the simulation results will remain almost unchanged if the computational domain size continues to increase. It is recommended to employ the computational domain with dimensions of 5Lx10Lx5L to ensure reasonable accuracy and saving calculation time and computer resources. The conclusions obtained in the present study serve as the guidance to select an appropriate computational domain size in the simulation of the flow around a spin-stabilized projectile to save computation time as well as to obtain accurate results.

**Keywords:** CFD, turbulence model, computational domain, spin-stabilized projectile, numerical simulation.

<sup>1</sup>Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

\*Email: [tuannghienmta28@gmail.com](mailto:tuannghienmta28@gmail.com)

Ngày nhận bài: 02/10/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 07/01/2025

Ngày chấp nhận đăng: 26/01/2025

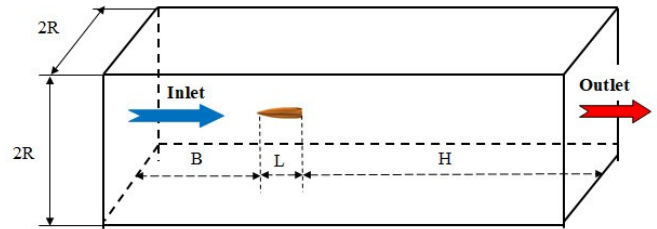
## 1. GIỚI THIỆU

Các hiện tượng xảy ra trong dòng chảy bao quanh một vật thể nói chung rất phức tạp và được nghiên cứu bởi Động lực học chất lưu trên cơ sở hệ phương trình Navier-Stokes. Hệ phương trình Navier-Stokes có thể mô tả đầy đủ các hiện tượng xảy ra trong dòng chảy. Tuy nhiên, hệ phương trình này có chứa các phương trình đạo hàm riêng không có lời giải giải tích. Hiện nay, trong các ứng dụng công nghiệp và nghiên cứu kỹ thuật phương pháp trung bình theo Reynolds (RANS) thường được sử dụng để giải hệ phương trình Navier-Stokes một cách gần đúng.

Trong lĩnh vực thiết kế đạn dược, việc xác định hệ số lực cản chính diện có vai trò đặc biệt quan trọng để tính toán quỹ đạo bay của đầu đạn [1]. Có ba phương pháp phổ biến để xác định hệ số lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn là: Phương pháp thực nghiệm, phương pháp bán thực nghiệm và phương pháp mô phỏng số (CFD). Phương pháp thực nghiệm cho kết quả chính xác nhất nhưng lại tốn kém và mất nhiều thời gian chuẩn bị và tiến hành nên chỉ được sử dụng trong giai đoạn cuối cùng của quá trình thiết kế. Phương pháp bán thực nghiệm tuy cho kết quả một cách nhanh chóng nhưng lại bị giới hạn trong cơ sở dữ liệu các mẫu hình dạng vật thể cho trước. Ngày nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ máy tính và phương pháp số, phương pháp mô phỏng số ngày càng được sử dụng rộng rãi để xác định hệ số lực cản chính diện của đầu đạn trong quá trình thiết kế cũng như nghiên cứu khoa học. Phương pháp này có nhiều ưu điểm nổi bật như tiết kiệm nguồn lực, áp dụng được cho các vật thể có hình dạng phức tạp cũng như có thể thay đổi linh hoạt các tham số hình dạng và tham số dòng chảy [2]. Tuy nhiên, trong quá trình xác định hệ số lực cản bằng phương pháp mô phỏng số, một trong những yêu cầu quan trọng là lựa chọn một cách hợp lý kích thước miền tính toán. Một mặt, miền tính toán phải đủ lớn để kết quả mô phỏng không bị ảnh hưởng bởi biên miền tính toán. Mặt khác, nếu miền tính toán quá lớn sẽ làm tăng thời gian tính toán và lãng phí tài nguyên máy tính. Do đó, việc lựa chọn kích thước miền tính toán một cách hợp lý vừa đảm bảo nhận được kết quả mô phỏng với độ chính xác chấp nhận được vừa tối ưu thời gian tính toán và tài nguyên máy tính có ý nghĩa rất quan trọng, đặc biệt đối với những bài toán cần xác định hệ số lực cản chính diện ở nhiều tốc độ khác nhau.

Trong mô phỏng xác định lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn ổn định bằng quay nhanh, các tác giả thường sử dụng miền tính toán dạng hình hộp chữ nhật với đầu đạn được đặt trên trục dọc của hình hộp. Trục đầu đạn

cách các cạnh bên của hình hộp một khoảng  $R$ , mũi đầu đạn cách biên đầu vào Inlet một khoảng  $B$ , đáy đầu đạn cách biên đầu ra Outlet một khoảng  $H$  như mô tả trên hình 1.



Hình 1. Các kích thước của miền tính toán

Các đại lượng  $B$ ,  $H$  và  $R$  thường được tính theo bội số của chiều dài đầu đạn ( $L$ ). Khi thay đổi các đại lượng  $B$ ,  $H$  và  $R$  thì kích thước của miền tính toán cũng thay đổi. Sự thay đổi này ảnh hưởng tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện và thời gian tính toán. Việc lựa chọn các đại lượng  $B$ ,  $H$  và  $R$ , nghĩa là lựa chọn kích thước miền tính toán, là dựa trên các đặc trưng của dòng chảy cũng như kinh nghiệm của các tác giả. Hao và các đồng tác giả lựa chọn miền tính toán với kích thước  $B \times H \times 2R$  là  $2L \times 10L \times 5L$  để nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng mũi đạn đến hệ số lực cản [3]. Ntantis sử dụng miền tính toán với kích thước  $1L \times 6L \times 4L$  để khảo sát dòng chảy trên âm quanh đầu đạn [4]. Wessam và Chen tạo miền tính toán với kích thước  $1L \times 7L \times 3L$  trong phân tích các đặc trưng khí động của đầu đạn pháo 155mm M107 [5]. Trong khi đó, cũng để xác định hệ số lực cản chính diện cho đầu đạn pháo 155mm thì Ferfour và các đồng tác giả lựa chọn miền tính toán với kích thước  $7L \times 12L \times 8L$  [6], còn Sertkaya và các đồng nghiệp lại sử dụng kích thước miền tính toán là  $5L \times 9L \times 5L$  [7]. Như vậy, các tác giả sử dụng miền tính toán với kích thước khác nhau rất đáng kể, thậm chí cho cùng một loại đầu đạn. Đặc điểm chung có thể nhận thấy là đại lượng  $B$  có giá trị nhỏ nhất, dao động từ  $1L$  tới  $7L$ , đại lượng  $H$  có giá trị lớn nhất trong các kích thước của miền tính toán, dao động từ  $6L$  tới  $12L$ , còn đại lượng  $2R$  có giá trị từ  $3L$  tới  $8L$ . Có thể thấy rằng, các kích thước này thay đổi trong khoảng rất rộng. Hệ quả là số lượng phần tử của lưới tính toán cũng chênh lệch lớn, kéo theo thời gian tính toán và yêu cầu tài nguyên bộ nhớ của máy tính sẽ khác nhau đáng kể. Do đó, nghiên cứu ảnh hưởng của các kích thước miền tính toán tới kết quả mô phỏng để lựa chọn kích thước tối ưu cho miền tính toán khi xác định hệ số lực cản khí động tác dụng lên đầu đạn là rất cần thiết.

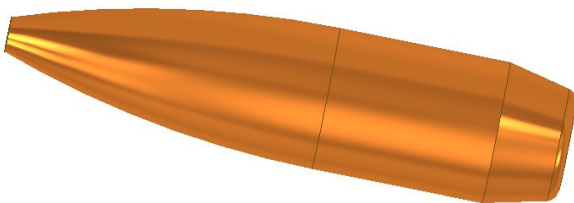
Trong bài báo này, tác giả tiến hành khảo sát ảnh hưởng của các kích thước miền tính toán tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn ổn

định bằng quay nhanh nhằm đưa ra những định hướng lựa chọn kích thước miền tính toán một cách hợp lý sao cho vừa đảm bảo độ chính xác cần thiết trong kết quả mô phỏng vừa tiết kiệm thời gian tính toán cũng như tài nguyên bộ nhớ của máy tính. Mô phỏng số được thực hiện trên phần mềm Ansys Fluent sử dụng phương pháp RANS với mô hình rối SST k- $\omega$ .

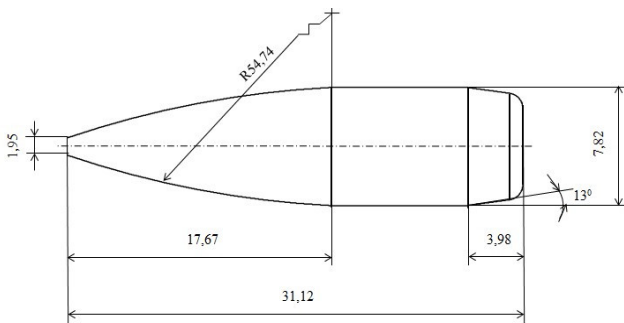
## 2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Mô hình hình học của đầu đạn

Đầu đạn 7,62x51mm M852 được sử dụng rộng rãi trong các lực lượng vũ trang của nhiều nước trên thế giới. Hệ số lực cản khí động của đầu đạn M852 đã được xác định thông qua bắn thực nghiệm [8] nên đầu đạn này sẽ được sử dụng trong bài báo làm đối tượng nghiên cứu để có căn cứ kiểm tra độ chính xác mô phỏng số. Mô hình 3D (hình 2) của đầu đạn được xây dựng trên phần mềm CAD Inventor Professional 2021 và được lưu ở định dạng file IGS để nhập vào phần mềm Ansys Fluent phục vụ quá trình nghiên cứu tiếp theo. Trong đó, các kích thước của đầu đạn M852 được lấy từ [8] và được thể hiện trên hình 3.



Hình 2. Mô hình 3D của đầu đạn M852



Hình 3. Các kích thước của đầu đạn M852

Đầu đạn gồm phần mũi hình cung nhọn dài 17,67mm có bán kính 54,74mm, phần trụ dẫn có đường kính 7,82mm và phần đuôi vát côn góc 13° dài 3,98mm.

### 2.2. Mô hình rối SST k- $\omega$

Mô hình rối SST k- $\omega$  được Menter phát triển và giới thiệu vào năm 1994 [9]. Đây là mô hình rối hai phương trình được ứng dụng để giải quyết nhiều bài toán khí động lực học khác nhau. Bản chất của mô hình SST k- $\omega$  là kết hợp mô hình k- $\epsilon$  tiêu chuẩn và mô hình k- $\omega$  tiêu chuẩn thông qua thủ tục trộn các hàm tính của hai mô hình nói trên.

Bằng cách này, mô hình SST k- $\omega$  đã kết hợp được những ưu điểm của mô hình k- $\epsilon$  tiêu chuẩn và mô hình k- $\omega$  tiêu chuẩn. Động năng rối (k) và tốc độ tiêu tán rối ( $\omega$ ) của mô hình SST k- $\omega$  được mô tả bởi hai phương trình sau [10]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (2)$$

Trong đó,  $G_k$  là động năng rối từ gradient tốc độ trung bình;  $G_\omega$  là đại lượng thể hiện sự hình thành của  $\omega$ ;  $\Gamma_k$  và  $\Gamma_\omega$  tương ứng là độ khuếch tán hiệu dụng của các đại lượng k và  $\omega$ ;  $Y_k$  và  $Y_\omega$  lần lượt là các đại lượng thể hiện độ tiêu tán của k và  $\omega$  do hiện tượng chảy rối;  $D_\omega$  là đại lượng thể hiện sự khuếch tán chéo.

Trong mô hình SST k- $\omega$ , độ nhớt rối  $\mu_t$  được xác định qua biểu thức:

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max[\alpha_1 \omega, S_{F_2}]} \quad (3)$$

Các số Prandtl  $\sigma_k$  và  $\sigma_\omega$  được tính toán như sau:

$$\sigma_k = \frac{1}{\frac{F_1}{\sigma_{k,1}} + \frac{1-F_1}{\sigma_{k,2}}}, \quad \sigma_\omega = \frac{1}{\frac{F_1}{\sigma_{\omega,1}} + \frac{1-F_1}{\sigma_{\omega,2}}} \quad (4)$$

trong đó,  $F_1$  và  $F_2$  là các hàm trộn.

Các tham số  $G_k$  và  $G_\omega$  được định nghĩa như sau:

$$G_k = \min(G_k, 10\rho\beta^*kw), \quad G_\omega = \frac{\alpha}{u_t} G_k \quad (5)$$

Đại lượng thể hiện sự khuếch tán chéo  $D_\omega$  được xác định như sau:

$$D_\omega = 2(1-F_1)\rho\sigma_{\omega,2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (6)$$

Các hằng số trong mô hình SST k- $\omega$  được cho như sau:  $\sigma_{k,1} = 1,176$ ;  $\sigma_{\omega,1} = 2,0$ ;  $\sigma_{k,2} = 1,0$ ;  $\sigma_{\omega,2} = 1,168$ ;  $a_1 = 0,31$ ;  $\beta^* = 0,09$ ;  $\beta_{i,1} = 0,075$ ;  $\beta_{i,2} = 0,0828$ ;  $k = 0,41$ .

### 2.3. Thiết lập bộ giải và điều kiện biên

Trong nghiên cứu này, các tính toán mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Ansys Fluent. Bộ giải Pressure-based với thuật toán Coupled được sử dụng để nhận được kết quả hội tụ nhanh và ổn định, cũng như để giảm sai số do giải đồng thời các phương trình liên tục và động lượng. Mô hình không khí được sử dụng là khí lý tưởng (Ideal gas). Mô hình nhớt được chọn là mô hình Sutherland ba hệ số. Các tham số của dòng chảy tự do là

$p_{\infty} = 101325\text{Pa}$  và  $T_{\infty} = 300\text{K}$ . Các điều kiện biên cho mô hình mô phỏng được trình bày trong bảng 1. Mô phỏng được coi là hội tụ nếu các phần dư (Residuals) đạt giá trị nhỏ hơn  $10^{-3}$  [11].

Bảng 1. Các điều kiện biên của mô hình mô phỏng

| TT | Tham số        | Giá trị            |
|----|----------------|--------------------|
| 1  | Inlet          | Pressure-far-field |
| 2  | Outlet         | Pressure Outlet    |
| 3  | Biên tự do     | No slip wall       |
| 4  | Biên thành đạn | No slip wall       |

## 2.4. Phương pháp nghiên cứu

Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của các đại lượng B, H và 2R tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản khí động tác dụng lên đầu đạn. Các tính toán được thực hiện với số Mach bằng 1,4. Theo kết quả đo đạc và xử lý số liệu thực nghiệm, hệ số lực cản chính diện ( $C_d$ ) của đầu đạn M852 là 0,415 với số Mach bằng 1,4 [8]. Các đại lượng B, H và 2R tương ứng thay đổi trong khoảng giá trị từ 1L tới 10L, 5L tới 20L và 3L tới 10L. Trong bài báo này, chiều dài L của đầu đạn là 31,12mm. Trước tiên, mô phỏng được tiến hành với miền tính toán lớn nhất là 10Lx20Lx10L để tìm được cấu hình kích thước lưới phù hợp. Các tính toán khảo sát ảnh hưởng sau đó sẽ được thực hiện với cấu trúc lưới này. Ảnh hưởng của các đại lượng B, H và 2R được khảo sát một cách độc lập. Khi khảo sát ảnh hưởng của một đại lượng nào đó thì hai đại lượng còn lại giữ nguyên không đổi và nhận giá trị lớn nhất trong khoảng giá trị nghiên cứu.

## 3. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

### 3.1. Khảo sát cấu hình lưới tính toán

Tiến hành mô phỏng xác định hệ số lực cản khí động tác dụng lên đầu đạn M852 ở tốc độ dòng chảy có số Mach bằng 1,4 với miền tính toán 10Lx20Lx10L. Kích thước của các phần tử lưới trên bề mặt đầu đạn và vùng xung quanh đầu đạn được thay đổi để khởi tạo các lưới tính toán có số lượng phần tử khác nhau. Kết quả mô phỏng và số lượng phần tử của các lưới được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Sự phụ thuộc của kết quả mô phỏng vào kích thước lưới tính toán

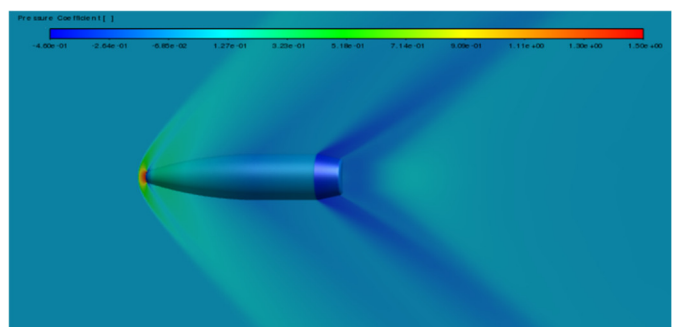
| Thứ tự lưới tính toán | Kích thước lưới (triệu điểm) | $C_d$ | Độ chênh lệch $C_d$ so với lưới trước (%) |
|-----------------------|------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 1                     | 0,371                        | 0,439 | -                                         |
| 2                     | 3,525                        | 0,424 | 3,41                                      |
| 3                     | 5,477                        | 0,420 | 0,94                                      |
| 4                     | 7,726                        | 0,416 | 0,71                                      |
| 5                     | 11,955                       | 0,416 | 0,00                                      |

Có thể thấy rằng, kể từ lưới thứ 4 thì việc tăng kích thước lưới không làm thay đổi kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện  $C_d$ . Do đó, để vừa đảm bảo độ chính xác vừa tiết kiệm thời gian tính toán và tài nguyên máy tính, cấu hình kích thước lưới thứ 4 sẽ được chọn để tiến hành các bước nghiên cứu tiếp theo. Ngoài ra, với cấu hình và kích thước lưới được chọn thì hệ số lực cản chính diện nhận được là 0,416, trong khi đó, giá trị tương ứng nhận được bằng thực nghiệm là 0,415, độ chênh lệch giữa các giá trị hệ số lực cản chính diện nhận được bằng phương pháp mô phỏng và phương pháp thực nghiệm chỉ là 0,24%. Mức độ chênh lệch nhỏ này khẳng định độ tin cậy của mô hình mô phỏng. Ở cấu hình lưới thứ 4, lưới trên bề mặt thành đầu đạn được chia mịn nhất với các phần tử có kích thước lớn nhất là 0,12mm, các phần tử lưới vùng tính toán được chia thô hơn với kích thước tăng dần theo tỷ lệ 1,15 từ vùng lân cận đầu đạn ra tới vùng biên tự do với kích thước lớn nhất là 6mm (hình 4).



Hình 4. Lưới trên bề mặt thành đầu đạn và trong vùng tính toán

Một cách trực quan, có thể quan sát trường phân bố áp suất và trường phân bố tốc độ dòng chảy quanh đầu đạn M852 chuyển động với tốc độ Mach 1,4 trên hình 5. Vùng không gian phía trước mũi đạn có áp suất cao, áp suất ngay trước mũi đạn có giá trị lớn nhất và được gọi là áp suất hãm, vùng không gian phía sau đuôi đạn có áp suất thấp. Sự chênh lệch áp suất giữa hai vùng này tạo ra lực cản áp suất làm giảm dần tốc độ của đầu đạn. Ngoài ra, do đầu đạn chuyển động với tốc độ trên âm nên có thể nhận thấy các sóng xung kích hình thành tại mũi đầu đạn và khu vực đuôi đạn.



Hình 5. Trường phân bố áp suất quanh đầu đạn M852

Tiếp theo, cấu hình lưới được lựa chọn sẽ được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của các kích thước vùng tính toán, cụ thể là các đại lượng B, H và 2R tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện của đầu đạn M852.

### 3.2. Ảnh hưởng của đại lượng B

Để đánh giá ảnh hưởng của đại lượng B (khoảng cách từ mũi đầu đạn tới biên Inlet), bài báo tiến hành mô phỏng xác định hệ số lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn M852 ở tốc độ Mach bằng 1,4 với B nhận các giá trị là 5L, 3L và 1L. Các đại lượng H và 2R tương ứng là 20L và 10L và không đổi trong quá trình khảo sát. Kết quả mô phỏng xác định hệ số lực cản chính diện  $C_d$  được thể hiện trong bảng 3. Để nhận thấy rằng, khi đại lượng B giảm từ 10L tới 1L thì hệ số lực cản chính diện nhận được tăng từ 0,416 tới 0,419. Độ chênh lệch lớn nhất là 0,72%. Tuy nhiên, khi B nhỏ hơn hoặc bằng 3L thì độ chênh lệch giữa hệ số lực cản chính diện nhận được bằng phương pháp mô phỏng số và hệ số lực cản chính diện nhận được bằng thực nghiệm là xấp xỉ 1%. Do đó, để đảm bảo độ chính xác cần thiết trong mô phỏng thì B cần nhận giá trị từ 5L trở lên.

Bảng 3. Ảnh hưởng của đại lượng B tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện

| TT | Đại lượng B | Hệ số lực cản chính diện $C_d$ | Chênh lệch $C_d$ so với lưới ban đầu (%) | Chênh lệch $C_d$ so với thực nghiệm (%) |
|----|-------------|--------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1  | 10L         | 0,416                          | -                                        | 0,24                                    |
| 2  | 5L          | 0,418                          | 0,48                                     | 0,72                                    |
| 3  | 3L          | 0,419                          | 0,72                                     | 0,96                                    |
| 4  | 1L          | 0,419                          | 0,72                                     | 0,96                                    |

### 3.3. Ảnh hưởng của đại lượng H

Bảng 4. Ảnh hưởng của đại lượng H tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện

| TT | Đại lượng H | Hệ số lực cản chính diện $C_d$ | Chênh lệch $C_d$ so với lưới ban đầu (%) | Chênh lệch $C_d$ so với thực nghiệm (%) |
|----|-------------|--------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1  | 20L         | 0,416                          | -                                        | 0,24                                    |
| 2  | 15L         | 0,417                          | 0,24                                     | 0,48                                    |
| 3  | 10L         | 0,418                          | 0,48                                     | 0,72                                    |
| 4  | 5L          | 0,420                          | 0,96                                     | 1,20                                    |

Tiếp theo, để khảo sát ảnh hưởng của đại lượng H (khoảng cách từ đáy đầu đạn tới biên Outlet của vùng tính toán), đã thực hiện mô phỏng số xác định hệ số lực cản chính diện của đầu đạn M852 ở tốc độ Mach bằng 1,4 với H nhận các giá trị là 15L, 10L và 5L. Các đại lượng B và 2R nhận giá trị bằng 10L và không thay đổi trong quá

trình tính toán. Kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện  $C_d$  được thể hiện trong bảng 4. Khi H giảm dần từ 20L tới 5L thì hệ số lực cản chính diện  $C_d$  tăng dần từ 0,416 tới 0,420. Khi H bằng 5L thì độ sai lệch giữa hệ số lực cản chính diện  $C_d$  nhận được bằng phương pháp mô phỏng và phương pháp thực nghiệm là 1,20%. Do đó, có thể đưa ra khuyến cáo rằng để đảm bảo độ chính xác cần thiết trong mô phỏng thì H cần nhận giá trị từ 10L trở lên.

### 3.4. Ảnh hưởng của đại lượng 2R

Trong phần này, để nghiên cứu ảnh hưởng của đại lượng 2R tới kết quả xác định hệ số lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn, đã tiến hành mô phỏng dòng chảy với tốc độ Mach bằng 1,4 quanh đầu đạn M852 trên phần mềm Ansys Fluent. Đại lượng 2R nhận các giá trị 5L và 3L. Các đại lượng B và H lần lượt là 10L và 20L và không thay đổi trong quá trình mô phỏng. Kết quả mô phỏng xác định hệ số lực cản chính diện  $C_d$  được trình bày trong bảng 5. Có thể thấy rằng, khi 2R giảm từ 10L tới 3L thì hệ số lực cản chính diện  $C_d$  tăng từ 0,416 tới 0,421. Với 2R nhận giá trị 5L thì độ chênh lệch hệ số lực cản chính diện nhận được bằng phương pháp mô phỏng và phương pháp thực nghiệm là 0,72%, với 2R nhận giá trị 3L thì độ chênh lệch hệ số lực cản chính diện nhận được bằng phương pháp mô phỏng và phương pháp thực nghiệm là 1,44%. Do đó, có thể khuyến cáo rằng đại lượng 2R cần nhận giá trị từ 5L trở nên để đảm bảo độ chính xác cần thiết trong mô phỏng.

Bảng 5. Ảnh hưởng của đại lượng 2R tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản chính diện

| TT | Đại lượng 2R | Hệ số lực cản chính diện $C_d$ | Chênh lệch $C_d$ so với lưới ban đầu (%) | Chênh lệch $C_d$ so với thực nghiệm (%) |
|----|--------------|--------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1  | 10L          | 0,416                          | -                                        | 0,24                                    |
| 2  | 5L           | 0,418                          | 0,48                                     | 0,72                                    |
| 3  | 3L           | 0,421                          | 1,20                                     | 1,44                                    |

Từ kết quả khảo sát trong bảng 5 có thể đưa ra khuyến cáo rằng các đại lượng B, H và 2R có thể nhận giá trị tương ứng là 5L, 10L và 5L để vừa đảm bảo độ chính xác chấp nhận được vừa tiết kiệm thời gian tính toán và tài nguyên máy tính, điều này đặc biệt quan trọng khi phải thực hiện nhiều mô phỏng ở các tốc độ khác nhau. Tuy nhiên, khi khảo sát ảnh hưởng độc lập của từng đại lượng thì hai đại lượng còn lại được giữ nguyên và nhận giá trị lớn nhất trong dải giá trị được khảo sát. Để đánh giá khả năng ảnh hưởng lẫn nhau của ba đại lượng khi cùng nhận giá trị khuyến cáo, bài báo đã tiến hành mô phỏng xác định hệ số lực cản chính diện  $C_d$  với vùng tính toán nhận các kích

thước khuyến cáo là 5Lx10Lx5L. Kết quả mô phỏng cho thấy giá trị hệ số lực cản chính diện  $C_d$  nhận được là 0,418, chênh lệch so với giá trị thực nghiệm là 0,72%. Như vậy, không có sự ảnh hưởng lẫn nhau đáng kể khi cả ba đại lượng cùng nhận giá trị khuyến cáo.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của các kích thước miền tính toán tới kết quả mô phỏng lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn ổn định bằng quay nhanh. Kết quả khảo sát cho thấy rằng, kích thước miền tính toán ảnh hưởng đáng kể tới kết quả mô phỏng hệ số lực cản tác dụng lên đầu đạn. Kích thước miền tính toán không đủ lớn có thể dẫn tới độ sai lệch đáng kể trong kết quả mô phỏng. Vùng tính toán có thể nhận kích thước 5Lx10Lx5L để vừa đảm bảo độ chính xác chấp nhận được và vừa tiết kiệm thời gian tính toán cũng như tài nguyên máy tính. Các kết quả và kết luận trong bài báo giúp định hướng lựa chọn kích thước miền tính toán một cách hợp lý khi mô phỏng xác định hệ số lực cản chính diện tác dụng lên đầu đạn ổn định bằng quay nhanh sử dụng phần mềm Ansys Fluent.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. McCoy R., *Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles*, 2nd edition. Schiffer Military History, 2009.
- [2]. Albisser M., *Identification of aerodynamic coefficients from free flight data*. PhD Thesis, University of Lorraine, 2015.
- [3]. Hao B., Q. Jiang, C. Xu, L. Liu, "Aerodynamic characterization of bullet heads with different arcuate curves," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 17(5), 1015-1026, 2024.
- [4]. Ntantis E., et al., "Numerical study on a supersonic flow around a bullet," *WSEAS transactions on fluid mechanics*, 18, 2023.
- [5]. Wessam M.E., Z.H. Chen, "Flow Field Investigations and Aerodynamic Characteristics of Artillery Projectile," in *International Conference of Electrical, Automation and Mechanical Engineering*, 2015.
- [6]. Ferfour A., T. Allouche, D. Jerkovic, N. Hristov, M. Vuckovic, A. Benmeddah, "Prediction of drag aerodynamic coefficient of the 155 mm projectile under axisymmetric flow using different approaches," *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 17(2), 69-86, 2023.
- [7]. Sertkaya A.A., C. Caliskan, S. Neseli, "Comparison of real and simulation aerodynamic coefficients for 155mm ammunition using open-source code SU2 software," *Journal of Polytechnic*, 25(4), 1835-1845, 2022.
- [8]. McCoy R., *The aerodynamic characteristics of 7.62mm match bullets*. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Maryland, 1988.

[9]. Menter F.R., "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *AIAA Journal*, 32(8), 1598-1605, 1994.

[10]. Ansys Fluent 12.1 in Workbench User's Guide, ANSYS, Inc., 2009.

[11]. Salunke S., S. Shinde, T. Gholap, D. Sahoo, "Comparative computational analysis of NATO 5.56mm, APM2 7.62mm and AK-47 7.82mm bullet moving at Mach 2.0 in close vicinity to the wall," *FME Transactions*, 51, 81-89, 2023.

[12]. Hung N. V., Doan D. V., Minh P. V., D. V. Thom, "Analysis of the Force Components Exerted on the Mount of the Amphibious Rifle When Operating in the Air," *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 12, 8083-8092, 2024.

[13]. Hung N. V., Minh P. V., Thom D. V., N. V. Dung, "Effect of Barrel Rifling Twist on the Driving Force and the Spin Movement of the Rotation Band," *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 12 (4), 6763-6776, 2024.

[14]. Hung N. V., Dung N. V., Minh P. V., Ke T. V., D. V. Thom, "Vibration behavior analysis of the ammunition belt of the gas-operated machine gun," *Vibration Engineering & Technologies*, 12 (2), 1563-1575, 2024.

[15]. Anh T. T., Thom D. V., Dat P. T., N. D. Duc, "The effects of strength models in numerical study of metal plate destruction by contact explosive charge," *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 26 (8), 661-670, 2019.

#### AUTHOR INFORMATION

**Nguyen Quang Tuan**

Le Quy Don Technical University, Vietnam