

# Xây dựng mô hình lưới để khảo sát luồng gió xung quanh dầm cầu trong thí nghiệm hầm gió số

## ■ TS. TRẦN NGỌC AN

*Trường Đại học Phenikaa*

## ■ PGS. TS. LÊ THỊ HƯƠNG GIANG

*Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*

**TÓM TẮT:** Để xác định vận tốc gió flutter tới hạn, thông thường người ta tiến hành thực nghiệm đối với mô hình mặt cắt dầm cầu trong hầm gió. Tuy nhiên, chi phí cho việc thực nghiệm là rất lớn. Hiện nay, cùng với sự phát triển của mô phỏng CFD, một hướng đi khác là xây dựng mô hình hầm gió số trong các phần mềm chuyên dụng về khí và thủy động lực học. Bài báo trình bày việc chọn mô hình lưới phù hợp để tính toán bài toán động trong mô hình hầm gió số.

**TỪ KHÓA:** Mô hình lưới, luồng gió, hầm gió số, ANSYS ACADEMIC [14].

**ABSTRACT:** To determine the critical flutter wind velocity, it is common to experiment with the model of the bridge deck section in the wind tunnel. However, the cost for experimentation are very high. Currently, with the development of Computational Fluid Dynamics (CFD), another direction is to build digital wind tunnel models in specialized software for aerodynamics.

This paper presents the selection of a suitable FEM mesh to calculate the dynamic problem in the digital wind tunnel.

**KEYWORDS:** FEM mesh, airflow, digital wind tunnel, ANSYS ACADEMIC [14].

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, các kết cấu cầu hệ dây (dây văng và dây võng) được xây dựng ngày càng nhiều với khả năng vượt nhịp lớn cùng với những ưu điểm về mặt kiến trúc mỹ quan. Tuy nhiên, do có dạng kết cấu thanh mảnh nên các công trình cầu dây văng, dây võng rất nhạy cảm với tác động của gió bão. Theo tiêu chuẩn của Trung Quốc, các cầu dây văng, dây võng có khẩu độ trên 150 m cần phải thực hiện thiết kế ổn định khí động cầu. Dạng mất ổn định nguy hiểm nhất là mất ổn định khí động học uốn xoắn kết hợp (hiện tượng flutter). Trong thực tế, trường hợp nổi tiếng nhất là trường hợp cây cầu Tacoma Narrows cũ, bị phá hủy vào năm 1940 dưới tác dụng của gió không quá lớn.

Nghiên cứu khí động học cầu nhịp lớn đang phát triển theo hai hướng chính. Cách thứ nhất là xây dựng mô hình thử nghiệm trong các hầm gió chuyên dụng [9,10,11], tuy

nhiên, chi phí cho việc thực nghiệm xác định vận tốc gió flutter tới hạn trong các hầm gió chuyên dụng vẫn là rất lớn. Hiện nay, cùng với sự phát triển của mô phỏng CFD (Computational Fluid Dynamics - Tính toán động lực học chất lưu), thì hướng thứ hai là xây dựng mô hình hầm gió số trong các gói phần mềm chuyên dụng về khí và thủy động lực học [2,6,7,8] là một hướng đi khả thi với các ưu điểm nổi trội về giá thành, sự chính xác và thời gian thực hiện.

Mô hình hầm gió số là sự mô phỏng tương tác của dầm cầu với luồng gió thổi qua hoàn toàn trên phần mềm chuyên dụng để xác định các hiện tượng khí động học phát sinh, trong đó có xác định vận tốc gió flutter tới hạn. Quá trình mô phỏng này được gọi là mô phỏng FSI (Fluid-structure interaction - Tương tác kết cấu - chất lỏng). Mô phỏng FSI trong trường hợp này được hiểu là sự kết hợp giữa mô phỏng CFD (mô phỏng chuyển động của luồng gió thổi qua dầm cầu) và mô hình phần tử hữu hạn FEM mô phỏng chuyển động của dầm cầu.

ANSYS là một phần mềm toàn diện và bao quát hầu hết các lĩnh vực vật lý, giúp can thiệp vào thế giới mô hình ảo và phân tích kỹ thuật cho các giai đoạn thiết kế. Phần mềm phân tích mạnh này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng các vấn đề kỹ thuật. Các tài liệu [6,7,8] đã sử dụng phần mềm ANSYS ACADEMIC [14] để mô phỏng tính toán hiện tượng flutter của dầm cầu. Theo tài liệu [8], các kết quả tính toán mô phỏng bằng phần mềm ANSYS phù hợp tốt với kết quả thực nghiệm trong hầm gió.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HẦM GIÓ SỐ VỚI THỂ TÍCH VÀ KÍCH THƯỚC LƯỚI TƯƠNG THÍCH VỚI PHẦN ĐOẠN DẦM CẦU

### 2.1. Yêu cầu chọn mô hình lưới

*\* Thời gian:*

Nếu thời gian cho phép là lớn thì có thể tiến hành tạo lưới lớn, số phần tử nhiều để tính toán. Tuy nhiên, nếu thời gian bị hạn chế thì chỉ nên tạo các lưới có kích cỡ và số phần tử nhỏ.

*\* Chi phí tính toán:*

Các lưới lớn đòi hỏi cấu hình tính toán mạnh. Trong trường hợp kích thước lưới là quá lớn so với khả năng tính toán có thể sẽ dẫn đến không tính toán được.

*\* Sự hội tụ:*

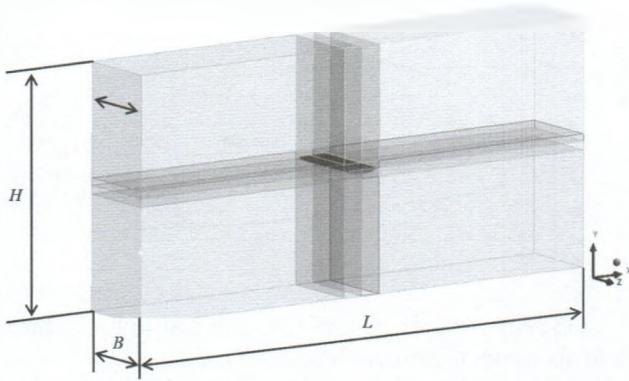
Mỗi mô hình tính toán phải đảm bảo tính hội tụ. Tiêu chuẩn hội tụ được đánh giá thông qua một đại lượng gọi là

chất lượng lưới. Chất lượng lưới được đánh giá thông qua các điều kiện:

- Mật độ lưới;
- Độ mượt của lưới;
- Hình dạng lưới.

### 2.2. Xây dựng mô hình

Dựa trên kích thước mô hình 3D của phân đoạn dầm xây dựng mô hình 3D hầm gió với các kích thước L, B, H được lựa chọn tối ưu để không ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng dòng khí khi đi qua phân đoạn dầm cầu như Hình 2.1. Các tham số được lựa chọn để khảo sát ảnh hưởng của kích thước miền là hệ số lực nâng và hệ số lực cản trong bài toán tính (phân đoạn dầm cầu cố định).



Hình 2.1: Mô hình 3D của hầm gió số

### 2.3. Xây dựng mô hình lưới

Việc sử dụng kiểu lưới hexa không có cấu trúc được ưu tiên lựa chọn để chia lưới hình học vì với cấu trúc liên kết lưới này đảm bảo chất lượng kết quả tốt hơn, nhanh hơn. Tuy nhiên, việc sử dụng lưới loại này sẽ khó khăn hơn với những mô hình vật thể có hình dáng phức tạp. Do đó, việc lựa chọn một lưới không có cấu trúc với phần lớn là các phần tử lục diện dường như là phù hợp cho cả hai tiêu chí gồm: chất lượng kết quả và chi phí thực hiện việc chia lưới.

### 2.4. Các điều kiện đầu vào

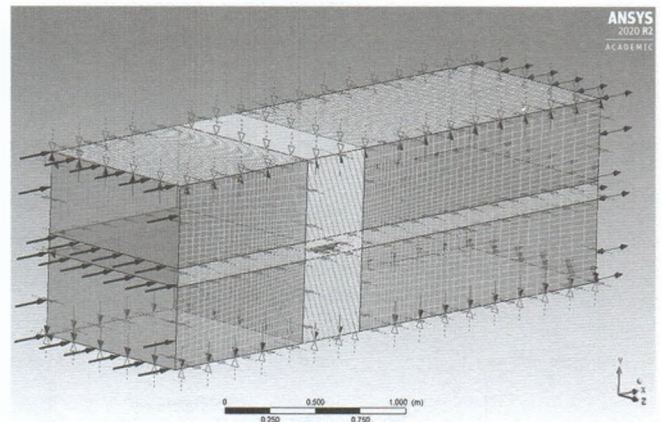
- Vận tốc gió đầu vào (m/s), giá trị này được tham số hóa để có thể thay đổi giá trị vận tốc bất kỳ hoặc thay biến đổi từ 1 - 2m/s.

Flow Regime	Option	Subsonic
Mesh Motion	Option	Stationary
Mass And Momentum	Option	Normal Speed
Normal Speed		10 [m s <sup>-1</sup> ]
Turbulence	Option	Medium (Intensity = 5%)
Heat Transfer	Option	Total Temperature
Total Temperature		300 [K]

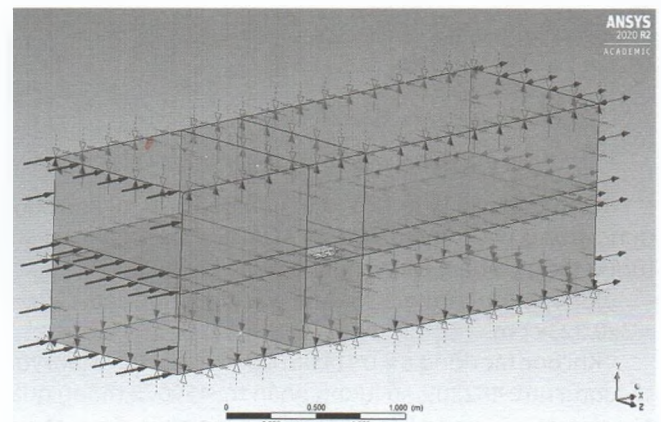
- Điều kiện biên tại đầu ra của hầm gió số:

Flow Regime	Option	Subsonic
Mesh Motion	Option	Stationary
Mass And Momentum	Option	Opening Pres. and Dirn
Relative Pressure		0 [Pa]
Flow Direction	Option	Normal to Boundary Condition
<input type="checkbox"/> Loss Coefficient		
Turbulence	Option	Medium (Intensity = 5%)
Heat Transfer	Option	Static Temperature
Static Temperature		25 [C]

- Điều kiện biên trên, biên dưới và hai vách của của hầm gió số được thiết lập là mặt đối xứng.



- Điều kiện biên tại vùng diện tích bao xung quanh vật thể.



**2.5. Khảo sát dòng chảy xung quanh vật thể**

Như đã trình bày ở trên, tiêu chí chính để lựa chọn các thông số lưới tốt nhất là các hệ số lực cản và lực nâng trong bài toán tĩnh.

Các hệ số lực cản và lực nâng được xác định như sau [9,10,11].

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 B}$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 B}$$

Trong đó:

$C_D$  - Hệ số lực cản;

$C_L$  - Hệ số lực nâng;

$F_D$  - Lực cản;

$F_L$  - Lực nâng (N);

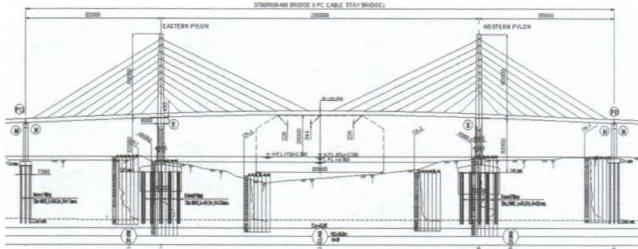
$U$  - Vận tốc của luồng gió (m/s);

$r$  - Khối lượng riêng của dòng khí (kg/m<sup>3</sup>);

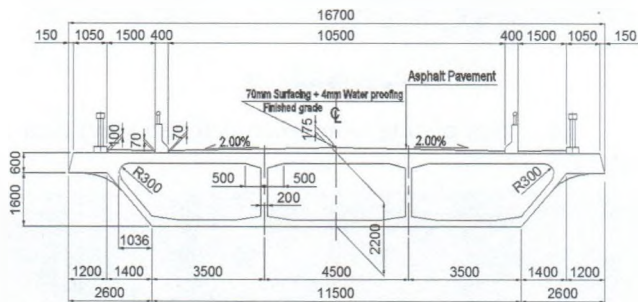
$B$  - Chiều rộng vùng diện tích chắn gió (m).

**3. ÁP DỤNG TÍNH TOÁN CHO MẶT CẮT CẦU KIẾN**

Cầu Kiến là một cây cầu tại Hải Phòng, bắc qua sông Cấm, nằm trên QL10, nối giữa huyện Thủy Nguyên và huyện An Dương.



Hình 3.1: Bố trí chung nhịp chính (phần cầu dây văng) của cầu Kiến - Hải Phòng

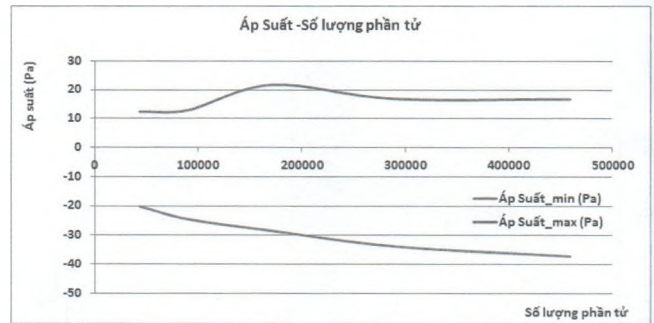
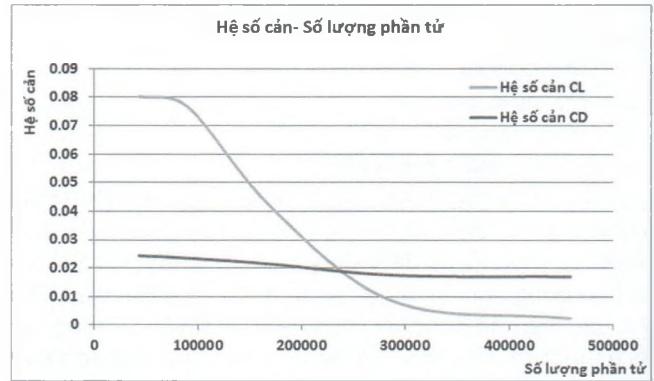


Hình 3.2: Mặt cắt ngang tại giữa nhịp cầu Kiến

Tính toán với tỷ lệ 1:75, mô hình phân đoạn được xây dựng trong phần mềm ANSYS ACADEMIC mô phỏng sự tương tác giữa dầm cầu và luồng gió.

Kích thước hầm gió số được xác định như sau:  $L \times B \times H = 3 \times 0,223 \times 1$  m.

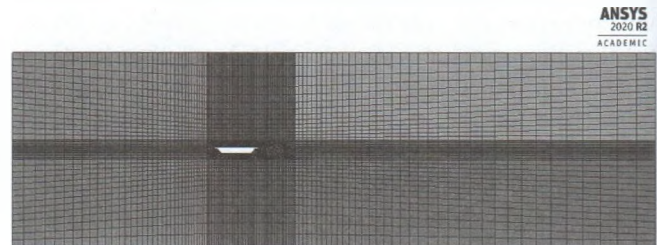
Khi góc tác động  $\alpha = 0^\circ$ , ta tìm được sự hội tụ về lưới với số lượng nút: 482209, số lượng phần tử: 459072 thông qua các giá trị  $C_L$ ,  $C_D$  và áp lực gió tác dụng lên phân đoạn cầu.



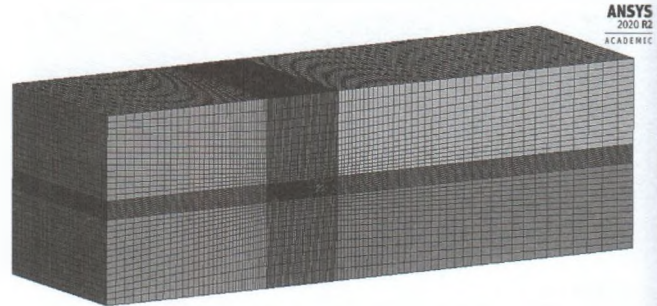
Mô hình lưới tối ưu của hầm gió sau tính các bước đánh giá sự hội tụ như các Hình 3.3, 3.4, 3.5:



Hình 3.3: Mô hình lưới của luồng gió với kích thước lưới nhỏ nhất: 3 mm



Hình 3.4: Mô hình lưới của luồng gió với kích thước lưới lớn nhất: 300 mm



Hình 3.5: Mô hình lưới tổng thể của luồng gió

**4. KẾT LUẬN**

CFD chỉ là thuật toán để giải các bài toán dựa trên lưới có sẵn chứ bản thân chương trình CFD không thể tạo lưới và trong CFD cũng không bao gồm thuật toán tạo lưới.