

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

MAI XUÂN QUANG

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG
CỦA DẦM MÀNG MỎNG THỎI PHÒNG
BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Chuyên ngành:
Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp
Mã số:60.58.02.08

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

Đà Nẵng – Năm 2016

Công trình được hoàn thành tại
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

Người hướng dẫn khoa học: GV.TS. NGUYỄN QUANG TÙNG

Phản biện 1: PGS. TS. Nguyễn Xuân Toản

Phản biện 2: TS. Phạm Mỹ

Luận văn đã được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ Kỹ thuật họp tại Đại học Đà Nẵng vào ngày 6 tháng 8 năm 2016.

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Trung tâm Thông tin-Học liệu, Đại học Đà Nẵng

MỞ ĐẦU

1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

❖ Tổng quan về kết cấu thối phòng

Hiện nay, phần lớn những công trình xây dựng trên thế giới làm từ vật liệu cổ điển là: gạch, đá, bê tông và đặc biệt là bê tông cốt thép và thép. Ưu điểm chung của các loại vật liệu này là khả năng chịu lực lớn, tuổi thọ công trình cao.

Tuy nhiên, nhược điểm của những vật liệu cổ điển này là trọng lượng bản thân lớn, việc xây dựng và tháo dỡ khi không dùng đến tốn nhiều chi phí. Vì vậy, một loại vật liệu mới nhẹ hơn đang được nghiên cứu và đưa vào sử dụng là vật liệu vải kỹ thuật.

Các tấm vải kỹ thuật này thường được tạo hình thành những ống kín, được thổi khí vào để có thể chịu được tải trọng bản thân cũng như chịu các tải trọng khác gọi là các ống thổi phòng. Các ống thổi phòng này được liên kết với nhau để tạo nên khung chịu lực chính trong rất nhiều công trình xây dựng trên thế giới như mái vòm phục vụ sự kiện, nhà vòm phục vụ hội nghị, các kết cấu đỡ mái nhà dân dụng, các cầu tạm... Dạng kết cấu này được gọi chung là kết cấu thổi phòng.

Ưu điểm của dạng kết cấu mới này là quá trình xây dựng nhanh, có thể tháo dỡ và chuyển đến nơi khác một cách nhanh chóng, tiện lợi. Tải trọng bản thân của kết cấu nhỏ nên sẽ giảm thiểu trọng lượng bản thân công trình...

Với tầm quan trọng như vậy, nhưng đến nay, vẫn chưa có nhiều kết quả nghiên cứu được đưa ra, không có nhiều bài báo khoa học đề cập đến việc nghiên cứu ứng xử của loại kết cấu mới này.



Nhà vòm phục vụ hội nghị



Kết cấu dầm đỡ mái nhà để xe



Mái vòm phục vụ sự kiện



Kết cấu đỡ mái nhà dân dụng

❖ Thực trạng nghiên cứu về kết cấu thối phồng

Có nhiều nhóm nghiên cứu đã xây dựng nên các lý thuyết giải tích để tính toán cho loại kết cấu này: đầu tiên là Comer and Levy, sau đó Douglas và Webber **Error! Reference source not found....**

Năm 2013, nhóm nghiên cứu Nguyen và Levan đã đề xuất phương pháp tính dầm màng mỏng thối phồng, ứng dụng lý thuyết dầm Timoshenko và cũng đã thành lập được các công thức tính độ võng cũng như góc xoay của tiết diện dầm, dựa vào các dữ liệu đầu vào là tính năng cơ lý của vật liệu, áp suất thối phồng và tải trọng tác dụng. Ưu điểm của lý thuyết tính toán này là áp suất thối phồng đã được bổ sung vào công thức tính, mang lại tính chính xác cao hơn và thực tế hơn các công thức được viết ra trước đó.

Các công thức giải tích này thường được ứng dụng để nghiên cứu ứng xử của các cấu kiện đơn giản. Để có thể tính toán cũng như thiết kế được các công trình phức tạp hơn, cần phải xây dựng mô hình phần tử hữu hạn. Tuy nhiên, hiện chưa có nhiều nghiên cứu về phần tử hữu hạn của bài toán dầm màng mỏng thối phòng, gây khó khăn cho việc tính toán cũng như thiết kế kết cấu thối phòng.

Do đó, đề tài “*Nghiên cứu ứng xử của dầm màng mỏng thối phòng bằng phương pháp phần tử hữu hạn*” là cần thiết và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

Mục tiêu đặt ra là xây dựng được mô hình phần tử hữu hạn cho dầm màng mỏng thối phòng. Cụ thể là viết được ma trận độ cứng cho phần tử dầm màng mỏng và ứng dụng giải các bài toán liên quan để nghiên cứu ứng xử của dầm màng mỏng thối phòng.

3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài bước đầu được giới hạn trong các cấu kiện thối phòng cơ bản như là ống hoặc dầm thối phòng.

4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu lý thuyết tính toán để xây dựng mô hình theo phương pháp phần tử hữu hạn

Chạy chương trình mô phỏng, so sánh với kết quả để hợp thức hóa mô hình tính toán.

5. BỐ CỤC LUẬN VĂN

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan về kết cấu màng mỏng thối phòng

Chương 2: Tóm tắt lý thuyết tính toán dầm màng mỏng thối phòng

Chương 3: Phương pháp phân tử hữu hạn cho dầm thối phòng

Chương 4: Bài toán áp dụng

Kết luận và kiến nghị

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ KẾT CẤU MÀNG MỎNG THỐI PHÒNG

1.1. KẾT CẤU MÀNG MỎNG THỐI PHÒNG

1.2. NHỮNG LĨNH VỰC ÁP DỤNG KẾT CẤU MÀNG MỎNG THỐI PHÒNG

1.2.1. Lĩnh vực không gian

a. Vệ tinh thối phòng

b. Ăng ten và kính phản xạ thối phòng

c. Trạm không gian thối phòng

d. Kinh khí cầu khoa học bay ở độ cao lớn

1.2.2. Trong lĩnh vực kỹ thuật xây dựng

1.2.3. Một số lĩnh vực khác

1.3. NHỮNG ƯU ĐIỂM VÀ NHƯỢC ĐIỂM CỦA KẾT CẤU MÀNG MỎNG THỐI PHÒNG

1.3.1. Ưu điểm của kết cấu màng mỏng thối phòng

1.3.2. Một vài nhược điểm của kết cấu màng mỏng thối phòng

a. Kết cấu có thể bị xì hơi

b. Những khó khăn để có được hình dạng phẳng

c. Khả năng vận hành còn nhiều hạn chế

1.4. MỘT SỐ CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRÊN THẾ GIỚI

1.4.1. Về quy luật ứng xử của các loại vải kỹ thuật:

1.4.2. Về sự làm việc của kết cấu thối phòng:

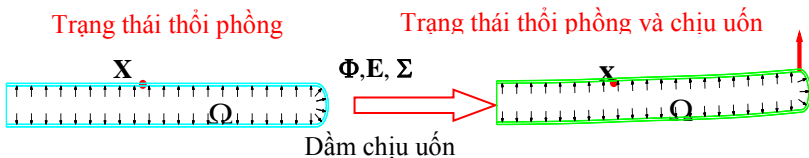
1.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG

Từ việc nghiên cứu tài liệu trong chương này, tác giả nhận thấy rằng cho dù các kết cấu màng mỏng thời phòng không phải là lĩnh vực vừa mới được phát hiện, tuy nhiên, cho đến nay, vẫn không có nhiều nghiên cứu được dành riêng cho loại kết cấu này. Có nhiều nghiên cứu về ứng xử của vật liệu được thực hiện, cho phép xác định các tính chất cơ lý. Các nghiên cứu này có mang tính chất quan trọng, góp phần xây dựng nên lý thuyết tính toán kết cấu thời phòng. Khá nhiều lý thuyết tính toán dầm màng mỏng thời phòng được thực hiện. Một số cho ra các công thức giải tích để nghiên cứu ứng xử của một số cấu kiện đơn giản. Tuy nhiên, để có thể nghiên cứu ứng xử của các dạng kết cấu phức tạp hơn, cần phải xây dựng một mô hình phần tử hữu hạn dành riêng cho loại kết cấu này.

CHƯƠNG 2

TÓM TẮT LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN DẦM MÀNG MỎNG THỜI PHÒNG

2.1. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH CHO BÀI TOÁN DẦM ỐNG MÀNG MỎNG THỜI PHÒNG CHỊU UỐN



Hình 2.1. Sự biến đổi trong quá trình uốn ngang dầm thời phòng

Các phương trình cân bằng được suy ra từ nguyên lý công suất ảo như dưới đây:

Với mọi trường chuyển vị ảo V^* :

$$-\int_{\Omega_0} (\mathbf{F}\Sigma)^T : \mathbf{grad}V^* d\Omega_0 + \int_{\Omega_0} \rho_0 \mathbf{f}_0 V^* d\Omega_0 + \int_{\partial\Omega_0} \mathbf{T}V^* dS_0 = 0 \quad (2.1)$$

2.1.1. Chuyển động

2.1.2. Chuyển động ảo

2.1.3. Công suất ảo của nội ứng suất

2.1.4. Công ảo của tải trọng ngoài

a. Tải trọng tĩnh

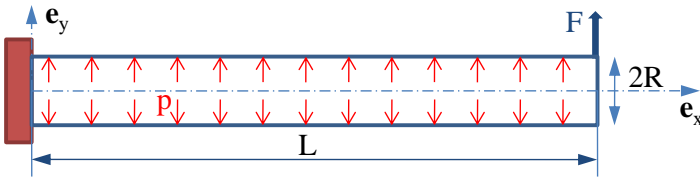
b. Tải trọng động

2.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG PHI TUYẾN

2.3. TUYẾN TÍNH HOÁ BÀI TOÁN

2.4. BÀI TOÁN ÁP DỤNG

2.4.1. Áp dụng đối với bài toán uốn ngang một dầm công-xôn thối phồng



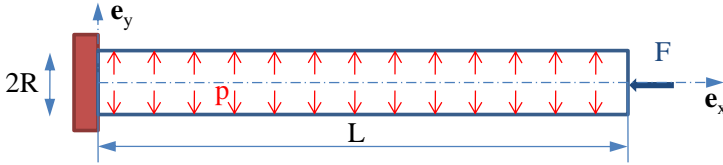
Hình 2.5. Công-xôn thối phồng chịu tải trọng ngang

Chuyển vị và góc xoay của mặt cắt:

$$V(X) = \frac{F}{\left(E_t + \frac{P}{S_0}\right)I_0} \left(\frac{LX^2}{2} - \frac{X^3}{6}\right) + \frac{FX}{P + kG_{tt}S_0}; \quad (2.29)$$

$$\theta(X) = \frac{F}{\left(E_t + \frac{P}{S_0}\right)I_0} \left(LX - \frac{X^2}{2}\right)$$

2.4.2. Áp dụng đối với bài toán uốn dọc một dầm công-xôn thổi phồng



Hình 2.6. Công-xôn thổi phồng chịu tải trọng dọc trục

Lực tới hạn trong bài toán uốn dọc này là:

$$F_{cr} = \frac{\Omega^2 \left(E_t + \frac{P}{S_0} \right) I_0}{1 + \frac{\Omega^2 I_0}{S_0} + \frac{\Omega^2 \left(E_t + \frac{P}{S_0} \right) I_0}{P + kG_{tt} S_0}} \quad (2.30)$$

2.5. KẾT LUẬN CHƯƠNG

Trong chương này, tác giả đã tóm tắt lại việc xây dựng lý thuyết tính toán dầm màng mỏng thổi phồng của nhóm nghiên cứu Nguyen và Levan.

Trạng thái quy chiếu được sử dụng để đặt và giải quyết bài toán dầm màng mỏng là lúc dầm đã được thổi phồng bởi một áp suất không khí cho trước. Bài toán được thiết lập với mô hình dầm Timoshenko, trong khuôn khổ chuyển vị lớn và biến dạng lớn. Ảnh hưởng của lực cắt và áp suất thổi phồng được kể đến trong các phép biến đổi của bài toán. Sau khi phát triển bài toán, một hệ phương trình phi tuyến được rút ra. Hệ này sau đó được tuyến tính hóa xung quanh trạng thái cân bằng giới hạn để chuyển thành một hệ phương trình tuyến tính, dễ giải hơn. Áp dụng lý thuyết tính toán vừa được xây dựng, nhóm nghiên cứu Nguyen và Levan đã áp dụng để giải hai

bài toán cơ bản: dầm công-xôn chịu uốn ngang và uốn dọc và đưa ra các công thức tính độ võng, góc xoay của tiết diện cũng như lực tới hạn cho bài toán ổn định.

CHƯƠNG 3

PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN CHO DẦM MÀNG MỎNG THỜI PHÒNG

3.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG RỜI RẠC CỦA BÀI TOÁN ỔNG MÀNG MỎNG THỜI PHÒNG

3.2. NỘI SUY CÁC CHUYỂN VỊ

$$\begin{aligned} U &= \langle \mathbf{N}_U \rangle \{U\}^e \\ V &= \langle \mathbf{N}_V \rangle \{V\}^e \\ \theta &= \langle \mathbf{N}_\theta \rangle \{\theta\}^e \end{aligned} \quad (3.2)$$

Trong đó các vec-tơ hàng $\langle \mathbf{N}_U \rangle$, $\langle \mathbf{N}_V \rangle$, $\langle \mathbf{N}_\theta \rangle$ là các hàm nội suy cho các chuyển vị nút (U và V) và cho góc xoay của nút θ . Các vec-tơ cột $\{U\}^e$, $\{V\}^e$, $\{\theta\}^e$, chứa các chuyển vị nút và góc xoay nút của phần tử e.

Vec-tơ chuyển vị nút phần tử $\{Ue\}$ có thể được trích xuất từ vec-tơ chuyển vị của kết cấu $\{U\}$:

$$\{U\}^e = [\mathbf{\Lambda}]^e \{U\} \quad (3.4)$$

3.3. RỜI RẠC HÓA CÔNG THỨC TÍNH CÔNG SUẤT ẢO CỦA NỘI ỨNG SUẤT

3.4. RỜI RẠC HÓA CÔNG THỨC TÍNH CÔNG ẢO CỦA NGOẠI LỰC

3.4.1. Tải trọng tĩnh

3.4.2. Tải trọng động

3.4.3. Phương trình cân bằng rời rạc

3.5. MA TRẬN ĐỘ CỨNG TIẾP TUYẾN

3.5.1. Ma trận độ cứng do nội lực gây ra

3.5.2. Ma trận độ cứng do áp suất thổi phồng gây ra

3.6. TUYẾN TÍNH HÓA BÀI TOÁN

3.6.1. Phương trình cân bằng rời rạc tuyến tính

3.6.2. Ma trận độ cứng tuyến tính hóa

$$[\mathbf{K}]^e = \int_0^L \begin{bmatrix} (E_t S_0 + N_0) \{N_{v,x}\} < N_{v,x} > & 0 & 0 \\ 0 & (kG_t S_0 + N_0) \{N_{v,x}\} < N_{v,x} > & -(kG_t S_0 + P) \{N_{v,x}\} < \frac{N_\theta}{L} > \\ 0 & -(kG_t S_0 + P) \{N_{v,x}\} < \frac{N_\theta}{L} > & \frac{1}{(L')^2} (E_t + \frac{N_\theta}{S_0}) I_0 \{N_{\theta,x}\} < N_{\theta,x} > \\ & & & +(kG_t S_0 + P) \{ \frac{N_\theta}{L'} > < \frac{N_\theta}{L'} > \end{bmatrix} dX$$

Trong biểu thức này, chúng ta thấy ảnh hưởng của áp suất thổi phồng thông qua đại lượng P. Độ cứng chống uốn và độ cứng chống cắt của ống xuất hiện thông qua các đại lượng $E_t I_0$ và $kG_t S_0$.

3.7. KẾT LUẬN CHƯƠNG

Chương này được dành riêng để xây dựng phần tử hữu hạn cho dầm màng mỏng thổi phồng. Sử dụng lý thuyết tính toán đã được nhóm nghiên cứu Nguyen và Levan phát triển, tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích bài toán và đã viết được ma trận độ cứng phần tử cho dầm màng mỏng thổi phồng. Ma trận này sẽ được dùng để nghiên cứu ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng, được trình bày trong chương tiếp theo.

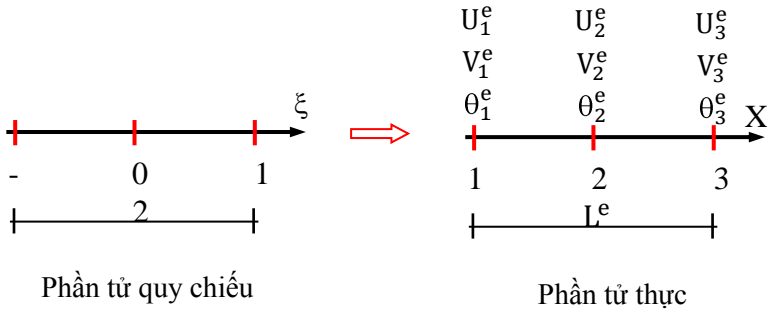
CHƯƠNG 4

BÀI TOÁN ÁP DỤNG

4.1. LỰA CHỌN PHẦN TỬ

4.1.1. Phần tử thanh 2 nút

4.1.2. Phần tử thanh 3 nút



Hình 4.1. Phần tử hữu hạn trong hệ tọa độ quy chiếu và hệ tọa độ tổng thể

4.2. MA TRẬN ĐỘ CỨNG PHẦN TỬ

Ma trận độ cứng tuyến tính được viết trong hệ tọa độ quy chiếu ξ có dạng:

$$[\mathbf{K}]^e = \int_{-1}^1 \begin{bmatrix} (E_c S_0 + N_0) \{ \mathbf{N}_{U_{\xi}} \} \langle \mathbf{N}_{U_{\xi}} \rangle & 0 & 0 \\ 0 & (kG_{tt} S_0 + N_0) \{ \mathbf{N}_{V_{\xi}} \} \langle \mathbf{N}_{V_{\xi}} \rangle & -\frac{1}{2} (kG_{tt} S_0 + P) \{ \mathbf{N}_{V_{\xi}} \} \langle \mathbf{N}_{\theta} \rangle \\ 0 & -\frac{1}{2} (kG_{tt} S_0 + P) \{ \mathbf{N}_{V_{\xi}} \} \langle \mathbf{N}_{\theta} \rangle & \frac{1}{(L^e)^2} (E_c + \frac{N_0}{S_0}) J_0 \{ \mathbf{N}_{\theta_{\xi}} \} \langle \mathbf{N}_{\theta_{\xi}} \rangle \\ & & + \frac{1}{4} (kG_{tt} S_0 + P) \{ \mathbf{N}_{\theta} \} \langle \mathbf{N}_{\theta} \rangle \end{bmatrix} d\xi \quad (4.2)$$

4.3. BÀI TOÁN UỖN NGANG MỘT DÀM CÔNG-XÔN THỜI PHÒNG

Bảng 4.1. Dữ liệu đầu vào cho bài toán dầm màng mỏng thời phòng

KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC CỦA DÀM				
Chiều dài	2.5m			
Bán kính	0.1m			
ĐẶC TÍNH CỦA VẬT LIỆU				
	Màng 1	Màng 2	Màng 3	Màng 4
Mô đun Young theo phương dọc $E_t H$ (kNm)	300	300	300	600
Mô đun Young theo phương ngang $E_t H$ (kNm)	300	150	600	300
Mô đun chống cắt $G_{tt} H$ (kNm)	9.5	7.5	12.5	12.5
Hệ số Poisson ν_{tt}	0.25	0.22	0.12	0.24
Áp suất thổi phòng p (kPa)	50 - 600			

4.3.1. Lời giải với tích phân Gauss đầy đủ

a. Giải bài toán với 1 phần tử hữu hạn

$$V_2 = \frac{5FL^3}{120(E_t + \frac{P}{S_0})I_0 + 2(P + kG_{tt}S_0)L^2} + \frac{FL^3}{16(E_t + \frac{P}{S_0})I_0} + \frac{FL}{2(P + kG_{tt}S_0)}$$

$$\theta_2 = \frac{15FL^2}{120(E_t + \frac{P}{S_0})I_0 + 2(P + kG_{tt}S_0)L^2} + \frac{FL^2}{4(E_t + \frac{P}{S_0})I_0}$$

$$V_3 = \frac{5FL^3}{60(E_t + \frac{P}{S_0})I_0 + (P + kG_{tt}S_0)L^2} + \frac{FL^3}{4(E_t + \frac{P}{S_0})I_0} + \frac{FL}{(P + kG_{tt}S_0)}$$

$$\theta_3 = \frac{FL^2}{2(E_t + \frac{P}{S_0})I_0}$$

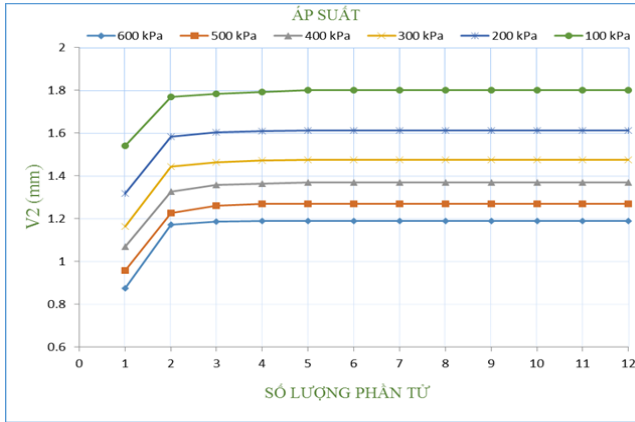
(4.5)

b. Giải bài toán với nhiều phần tử hữu hạn

Bảng 4.2. Kiểm tra sự hội tụ chuyển vị giữa công-xôn V_2

Số lượng phần tử	Áp suất thổi phòng (kPa)					
	100	200	300	400	500	600
1	1.54026	1.31756	1.16254	1.06931	0.95632	0.87524
2	1.76925	1.58213	1.44236	1.32565	1.22584	1.17136
3	1.78356	1.60156	1.46238	1.35862	1.25947	1.18564
4	1.79188	1.60935	1.47231	1.36256	1.26823	1.18782
5	1.79989	1.61015	1.47532	1.36753	1.26982	1.18816

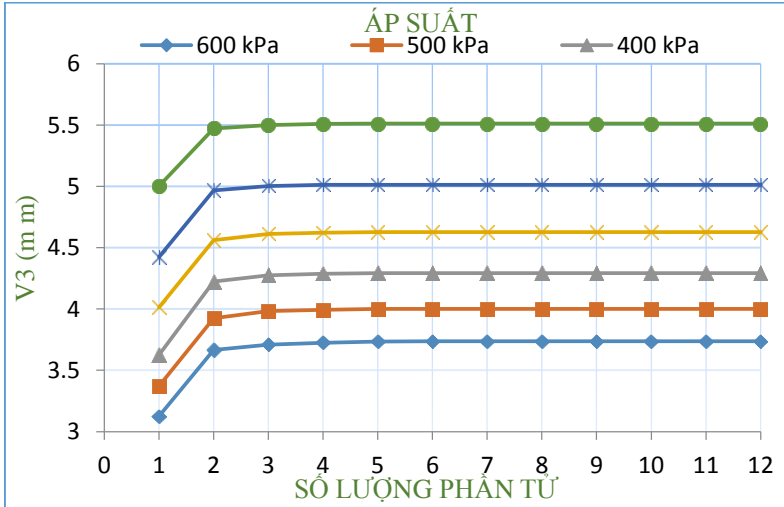
6	1.79998	1.61023	1.47539	1.36759	1.26988	1.18821
7	1.80005	1.61029	1.47545	1.36765	1.26993	1.18826
8	1.80008	1.61032	1.47548	1.36764	1.26996	1.18829
9	1.80010	1.61034	1.47549	1.36769	1.26997	1.18830
10	1.80012	1.61035	1.47551	1.36770	1.26998	1.18831
11	1.80013	1.61036	1.47551	1.36769	1.26999	1.18832
12	1.80013	1.61037	1.47552	1.36769	1.26999	1.18832



Hình 4.3. Biểu đồ thể hiện sự hội tụ của chuyển vị giữa công-xôn V_2

Bảng 4.3. kiểm tra sự hội tụ chuyển vị cuối công-xôn V_3

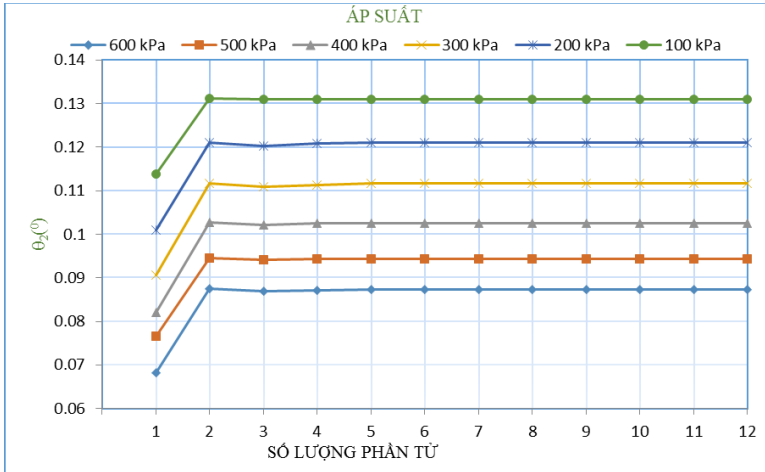
Số lượng phần tử	Áp suất thổi phòng (kPa)					
	100	200	300	400	500	600
1	5.00374	4.42398	4.01385	3.62467	3.37247	3.12527
2	5.47259	4.96853	4.56205	4.22367	3.92564	3.66578
3	5.50079	5.00376	4.61258	4.27536	3.98215	3.70989
4	5.51068	5.01298	4.62374	4.28834	3.99215	3.72564
5	5.51192	5.01375	4.62652	4.29305	4.00126	3.73568
6	5.51219	5.01400	4.62675	4.29326	4.00146	3.73586
7	5.51241	5.01420	4.62693	4.29343	4.00162	3.73601
8	5.51252	5.01430	4.62702	4.29352	4.00171	3.73609
9	5.51258	5.01435	4.62707	4.29356	4.00174	3.73612
10	5.51263	5.01439	4.62711	4.29360	4.00177	3.73616
11	5.51265	5.01442	4.62714	4.29362	4.00179	3.73618
12	5.51267	5.01443	4.62715	4.29363	4.00180	3.73619



Hình 4.4. Biểu đồ thể hiện sự hội tụ của chuyển vị cuối công-xôn V_3

Bảng 4.4. Góc xoay của tiết diện ngang giữa công-xôn θ_2

Số lượng phần tử	Áp suất thổi phồng (kPa)					
	100	200	300	400	500	600
1	0.11387	0.10099	0.09059	0.08203	0.07656	0.06815
2	0.13125	0.12098	0.11175	0.10278	0.09445	0.08753
3	0.13097	0.12022	0.11097	0.10212	0.09422	0.08687
4	0.13091	0.12093	0.11136	0.10245	0.09433	0.08720
5	0.13093	0.12096	0.11176	0.10250	0.09440	0.08727
6	0.13093	0.12097	0.11177	0.10250	0.09440	0.08727
7	0.13094	0.12097	0.11177	0.10251	0.09440	0.08728
8	0.13095	0.12097	0.11178	0.10251	0.09441	0.08728
9	0.13095	0.12097	0.11178	0.10251	0.09441	0.08728
10	0.13095	0.12098	0.11178	0.10251	0.09441	0.08728
11	0.13095	0.12098	0.11178	0.10251	0.09441	0.08728
12	0.13095	0.12098	0.11178	0.10251	0.09441	0.08728



Hình 4.5. Biểu đồ thể hiện sự hội tụ của góc xoay giữa công-xôn

θ_2 Lờ giải với tích phân có chọn lọc

4.3.2. Lờ giải với tích phân có chọn lọc

Chuyển vị và góc xoay của các điểm nút:

$$V_2 = \frac{5FL^3}{48(E_\ell + \frac{P}{S_0})I_0} + \frac{FL}{2(P + kG_{tr}S_0)}; \quad \theta_2 = \frac{3FL^2}{8(E_\ell + \frac{P}{S_0})I_0}$$

$$V_3 = \frac{FL^3}{3(E_\ell + \frac{P}{S_0})I_0} + \frac{FL}{(P + kG_{tr}S_0)}; \quad \theta_3 = \frac{FL^2}{2(E_\ell + \frac{P}{S_0})I_0} \quad (4.7)$$

Các kết quả này hoàn toàn trùng khớp với các kết quả lý thuyết được đưa ra trước đó.

4.3.3. So sánh hai phương pháp tích phân ma trận độ cứng

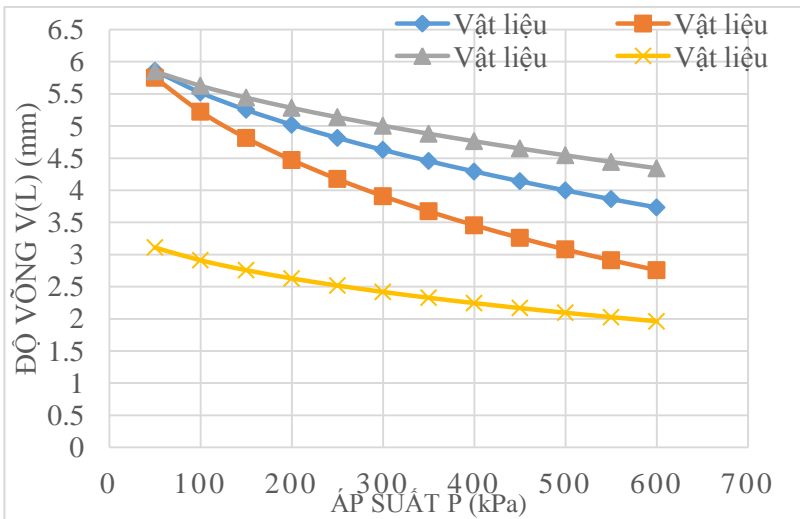
4.3.4. Phân tích ứng xử của dầm công-xôn thổi phồng chịu uốn

Các dữ liệu được sử dụng đã được trình bày ở “Bảng 4.1: Dữ liệu đầu vào cho bài toán dầm màng mỏng thổi phồng”. Các kết quả

được thể hiện trong Bảng 4.5, Bảng 4.6 và sẽ được vẽ thành biểu đồ để phân tích ứng của kết cấu (xem Hình 4.6 và Hình 4.7).

Bảng 4.5. Độ võng $V(L)$ của tiết diện ở đầu tự do

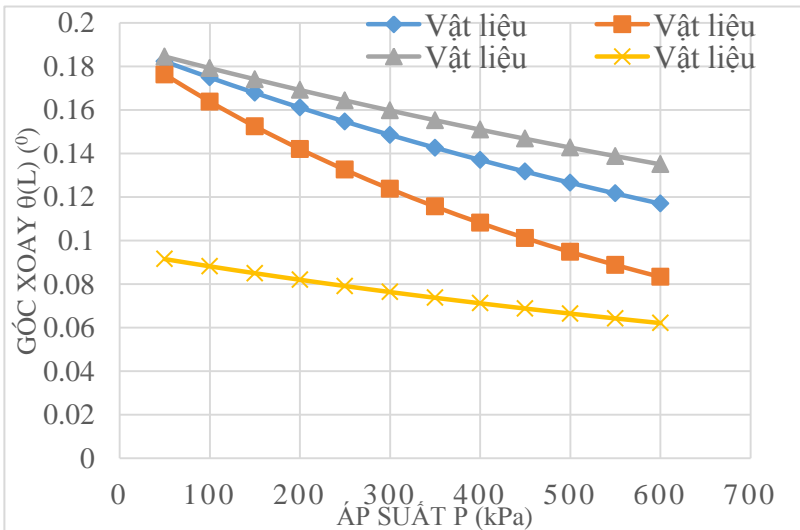
	Áp suất $p(\text{kPa})$	Vật liệu			
		Màng 1	Màng 2	Màng 3	Màng 4
Độ võng $V(L)$ (mm)	50	5.85834	5.75314	5.84997	3.10892
	100	5.51983	5.22368	5.62506	2.91094
	150	5.25124	4.81426	5.44172	2.75736
	200	5.02104	4.47189	5.2822	2.62937
	250	4.81573	4.17445	5.1382	2.51807
	300	4.62841	3.91041	5.00529	2.41863
	350	4.45513	3.67286	4.88086	2.32819
	400	4.29336	3.45719	4.76326	2.24488
	450	4.14141	3.26012	4.65138	2.16744
	500	3.99804	3.07914	4.54444	2.09497
	550	3.86231	2.91231	4.44187	2.0268
	600	3.73349	2.75805	4.34322	1.96241



Hình 4.6. Biểu đồ quan hệ Độ võng $V(L)$ – Áp suất thổi phòng

Bảng 4.6. Góc xoay θ (L) của tiết diện ở đầu tự do

	Áp suất p(kPa)	Vật liệu			
		Màng 1	Màng 2	Màng 3	Màng 4
Góc Xoay θ (L) ($^{\circ}$)	50	0.18224	0.17625	0.1845	0.0915
	100	0.17486	0.1638	0.1792	0.08818
	150	0.16782	0.15244	0.17409	0.08502
	200	0.16108	0.14205	0.16914	0.08201
	250	0.15465	0.1325	0.16436	0.07913
	300	0.14851	0.12371	0.15974	0.07638
	350	0.14264	0.11561	0.15527	0.07375
	400	0.13703	0.10811	0.15094	0.07122
	450	0.13167	0.10118	0.14676	0.0688
	500	0.12654	0.09476	0.14271	0.06648
	550	0.12164	0.08881	0.1388	0.06426
	600	0.11695	0.08329	0.13501	0.06212



Hình 4.7. Biểu đồ quan hệ Góc xoay – Áp suất thổi phòng

Theo như Hình 4.6 và Hình 4.7, ta nhận thấy rằng độ võng $V(L)$ và góc xoay $\theta(L)$ biến thiên phi tuyến theo áp suất p . Theo lý thuyết tính toán kích thước dầm màng mỏng ở trạng thái thổi phồng [23], áp suất p càng lớn thì bán kính R của dầm càng lớn, và như vậy thì các tham số như mô-men quán tính của dầm I_0 và diện tích tiết diện ngang của dầm S_0 cũng sẽ lớn. Vậy nên áp suất p càng lớn thì dầm càng được thổi phồng, và có độ cứng càng lớn. Và như thế độ võng và góc xoay của tiết diện dầm sẽ càng nhỏ đi.

Ngoài ra, dầm được cấu tạo từ 2 vật liệu màng khác nhau thì sẽ có ứng xử khác nhau.

4.3.5. Bài toán uốn dọc một dầm công-xôn thổi phồng

4.3.6. Tích phân Gauss đầy đủ

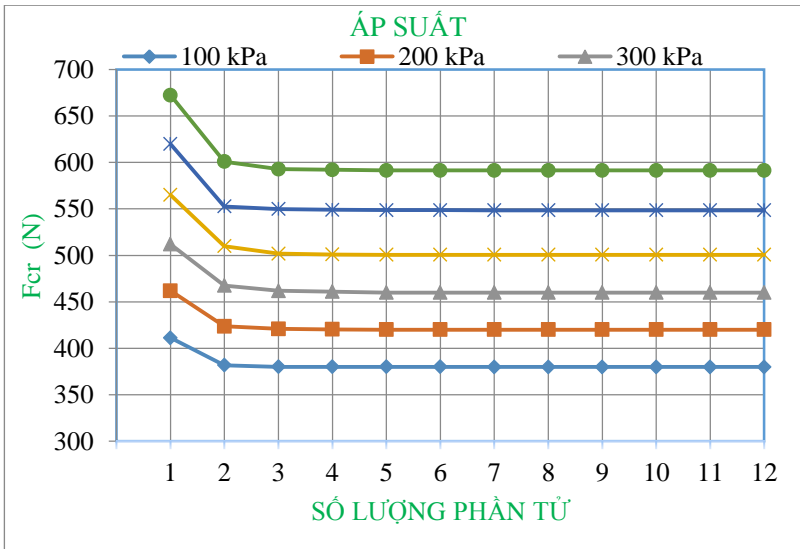
4.3.7. Tích phân có chọn lọc

4.3.8. Lực tới hạn

Để ước lượng số lượng phần tử cần thiết phải chia nhỏ công-xôn, trong bước đầu tiên, tác giả thực hiện một phép thử sự hội tụ của mô hình bằng cách thay đổi số lượng phần tử từ 1 đến 12. Các phép tính được thực hiện với ống công-xôn có chiều dài $L = 2.5\text{m}$, bán kính $R = 0.1\text{m}$, vật liệu “Màng 1”. Các giá trị của lực dọc tới hạn được vẽ biểu đồ, phụ thuộc vào số lượng phần tử được chia của mô hình, (xem Hình 4.9 và Hình 4.10).

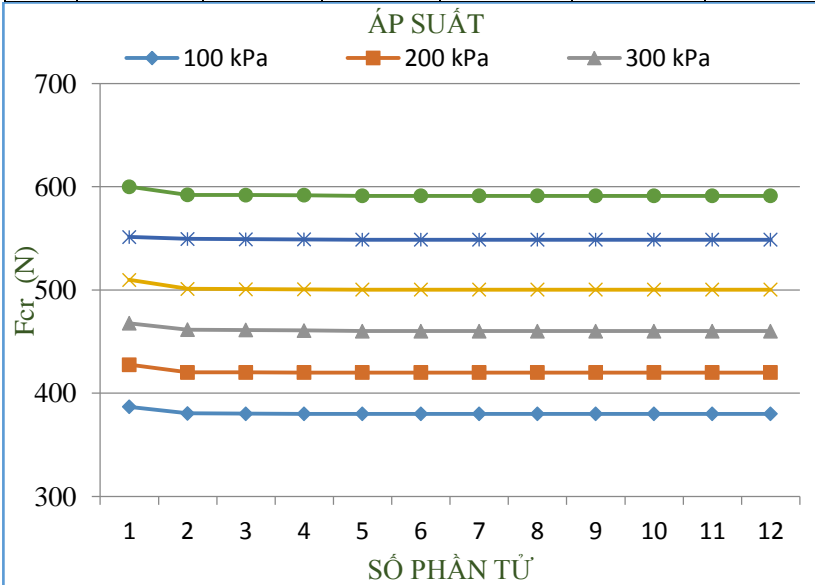
Bảng 4.7. F_{cr} với tích phân Gauss đầy đủ

Số phần tử	Áp suất thổi phòng (kPa)					
	100	200	300	400	500	600
1	411.3425	461.9872	511.9356	564.9673	619.7874	672.2389
2	381.7956	423.6578	467.6534	509.9834	552.5623	600.9315
3	380.1965	420.9567	461.8792	501.7845	549.8645	592.7893
4	380.0937	420.3425	460.9672	500.9867	548.9752	591.9834
5	380.0652	420.0568	460.0567	500.6865	548.6342	591.4589
6	380.0462	420.0358	460.0337	500.6615	548.6067	591.4293
7	380.0348	420.0232	460.0199	500.6464	548.5903	591.4116
8	380.031	420.0190	460.0153	500.6414	548.5848	591.4057
9	380.0275	420.0152	460.0112	500.6369	548.5798	591.4003
10	380.0256	420.0131	460.0089	500.6344	548.5771	591.3974
11	380.0245	420.0119	460.0075	500.6329	548.5755	591.3956
12	380.0241	420.0114	460.0070	500.6324	548.5749	591.3950

Hình 4.9. Biểu thị sự hội tụ của F_{cr} với tích phân Gauss đầy đủ

Bảng 4.8. F_{cr} với tích phân có chọn lọc

Số phần tử	Áp suất thổi phòng (kPa)					
	100	200	300	400	500	600
1	411.3425	461.9872	511.9356	564.9673	619.7874	672.2389
2	381.7956	423.6578	467.6534	509.9834	552.5623	600.9315
3	380.1965	420.9567	461.8792	501.7845	549.8645	592.7893
4	380.0937	420.3425	460.9672	500.9867	548.9752	591.9834
5	380.0652	420.0568	460.0567	500.6865	548.6342	591.4589
6	380.0462	420.0358	460.0337	500.6615	548.6067	591.4293
7	380.0348	420.0232	460.0199	500.6464	548.5903	591.4116
8	380.031	420.0190	460.0153	500.6414	548.5848	591.4057
9	380.0275	420.0152	460.0112	500.6369	548.5798	591.4003
10	380.0256	420.0131	460.0089	500.6344	548.5771	591.3974
11	380.0245	420.0119	460.0075	500.6329	548.5755	591.3956
12	380.0241	420.0114	460.0070	500.6324	548.5749	591.3950

Hình 4.10. Biểu thị sự hội tụ của F_{cr} với tích phân có chọn lọc

Như vậy, tác giả đã chọn thực hiện các phép mô phỏng số với mô hình với 12 phần tử. Các giá trị lực dọc tới hạn đạt được được thể hiện trong Bảng 4.8.

Bảng 4.9. So sánh lực dọc tới hạn có được bởi phần tử hữu hạn và kết quả giải tích

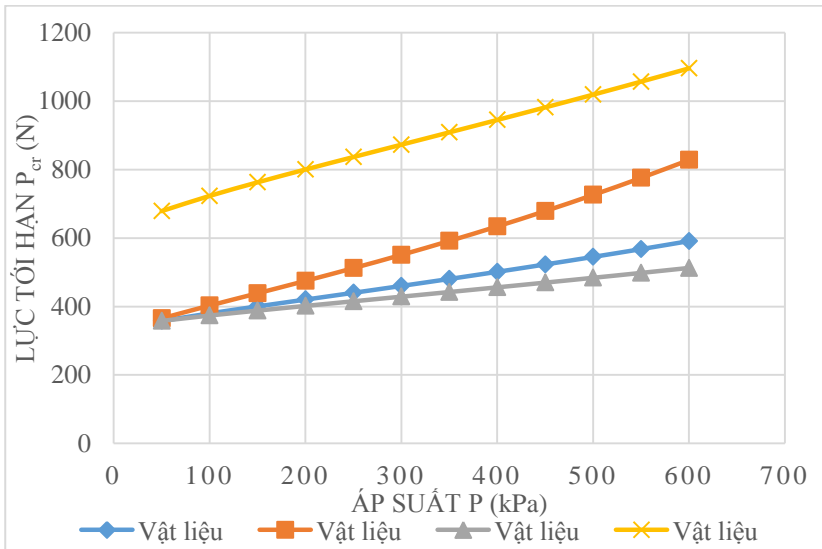
P(kPa)	Lực tới hạn $F_{cr}(N)$		Chênh lệch (%)
	Phương pháp phần tử hữu hạn	Phương pháp giải tích	
50	357.69	357.64	<0.01
100	379.93	379.88	<0.01
150	400.39	400.35	<0.01
200	420.27	420.23	<0.01
250	440.09	440.05	<0.01
300	460.13	460.08	<0.01
350	480.54	480.50	<0.01
400	501.45	501.41	<0.01
450	522.92	522.87	<0.01
500	545.00	544.95	<0.01
550	567.75	567.70	<0.01
600	591.20	591.15	<0.01

Từ các phép so sánh, ta nhận thấy, các kết quả có được từ phương pháp phần tử hữu hạn hầu như trùng khớp so với các kết quả giải tích, vậy nên phần tử hữu hạn dầm màng mỏng thời phỏng vừa được xây dựng là có thể áp dụng được.

Tiếp tục thực hiện các phép tính khác nhau với các vật liệu được thể hiện trong “Bảng 4.1: Dữ liệu đầu vào cho bài toán dầm màng mỏng thời phỏng”, ta được một bảng so sánh và biểu đồ sau đây:

Bảng 4.10. So sánh lực dọc tới hạn P_{cr} giữa các trường hợp

	Áp suất p (kPa)	Vật liệu			
		Màng 1	Màng 2	Màng 3	Màng 4
Lực tới hạn F_{cr} (N)	50	357.64	365.31	357.95	678.81
	100	379.88	402.74	373.6	723.11
	150	400.35	438.67	387.97	762.87
	200	420.23	474.86	401.75	800.39
	250	440.05	512.12	415.3	836.83
	300	460.08	550.89	428.78	872.85
	350	480.5	591.47	442.33	908.86
	400	501.41	634.07	456	945.13
	450	522.87	678.89	469.85	981.84
	500	544.95	726.09	483.91	1019.14
	550	567.7	775.8	498.2	1057.13
	600	591.15	828.18	512.76	1095.9



Hình 4.11. Biểu đồ quan hệ Lực tới hạn – Áp suất thổi phồng

Từ số liệu trong Bảng 4.10 và biểu đồ Hình 4.11, ta nhận thấy rằng, tương tự như trong bài toán uốn ngang, áp suất thổi phồng p và

các mô-đun đàn hồi của tấm vải có ảnh hưởng lớn đến độ cứng của dầm, và do đó ảnh hưởng đến giá trị lực tới hạn.

Lực tới hạn F_{cr} biến thiên phi tuyến theo áp suất p , áp suất p càng lớn thì bán kính dầm càng lớn và các giá trị độ cứng của dầm càng lớn. Điều này cho phép tăng khả năng chịu lực của dầm. Ví dụ như trong trường hợp Màng 3, khi áp suất tăng từ 50 đến 250 kPa, giá trị lực tới hạn F_{cr} tăng 16%.

Giá trị lực tới hạn F_{cr} cũng phụ thuộc vào mô-đun đàn hồi theo phương dọc và phương ngang của tấm vải. Có thể nói, F_{cr} tỷ lệ thuận với mô-đun đàn hồi theo phương dọc E_1 của tấm vải, và tỷ lệ nghịch với mô-đun đàn hồi E_1 theo phương ngang của tấm vải.

4.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG

Trong chương này, tác giả tiến hành phân tích ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Để tìm được lời giải đơn giản mà chính xác nhất, và cũng để tránh hiện tượng “shear lock”, tác giả đã sử dụng phần tử thanh 3 nút. Áp dụng ma trận độ cứng phần tử tổng quát đã được xây dựng ở chương 3, tác giả sử dụng 2 kiểu *tích phân Gauss đầy đủ* và *tích phân có chọn lọc* để viết ma trận độ cứng phần tử cho phần tử thanh 3 nút. Bài toán áp dụng được thực hiện với dầm công-xôn thổi phồng chịu uốn ngang và uốn dọc. Các phép tính cho thấy, bằng việc sử dụng 1 phần tử hữu hạn, các kết quả tính ra từ phương pháp phần tử hữu hạn là chưa chính xác lắm so với lý thuyết. Tuy nhiên, nếu tăng số lượng phần tử lên thì kết quả từ phần tử hữu hạn ngày càng khớp so với lý thuyết.

Ngoài ra, việc sử dụng 2 phương pháp tính tích phân cho các ma trận độ cứng phần tử cũng cho thấy, việc tính toán ma trận theo

phương pháp tích phân có chọn lọc tuy “không chính thống” nhưng lại cho kết quả tốt hơn so với phương pháp tích phân đầy đủ cổ điển.

Các phép phân tích ứng xử dầm màng mỏng cho thấy, độ cứng của dầm không những phụ thuộc vào đặc trưng cơ học của vật liệu mà còn phụ thuộc nhiều vào áp suất thổi phồng. Áp suất càng tăng thì bán kính dầm tăng, làm tăng kích thước tiết diện và mô-men quán tính. Ngoài ra, chính bản thân áp suất thổi phồng p cũng tham gia vào độ cứng chống uốn và chống cắt của dầm, và do đó làm tăng khả năng chịu lực cho dầm. Đây là điểm khác biệt của kết cấu thổi phồng so với kết cấu thông thường.

Các phân tích trong chương này cũng cho thấy, khả năng chịu lực của dầm không chỉ phụ thuộc vào áp suất thổi phồng mà còn phụ thuộc một cách phức tạp vào các mô-đun đàn hồi của tấm vải. Theo nghiên cứu cho thấy, muốn tăng độ cứng của dầm thì nên tăng mô-đun đàn hồi theo phương dọc tấm vải và nên giảm mô-đun đàn hồi theo phương ngang của tấm vải.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận:

Mục đích của luận văn này là xây dựng một phần tử hữu hạn dầm dành riêng cho kết cấu màng mỏng thổi phồng, được cấu tạo từ vải kỹ thuật. Dầm thổi phồng được sử dụng trong nghiên cứu này có dạng ống trụ tròn xoay, được thổi phồng và chịu tải trọng ngang.

Để xây dựng phần tử hữu hạn, tác giả đã sử dụng mô hình dầm Timoshenko để có thể kể đến các ảnh hưởng do lực cắt và áp suất thổi phồng. Ngoài ra, các phương trình của bài toán sẽ được viết trong khuôn khổ chuyển vị và biến dạng lớn để kể đến tất cả các thành phần phi tuyến. Ma trận độ cứng phần tử sẽ là tổng của ma trận

độ cứng gây ra bởi nội lực và áp suất thổi phồng. Phép tuyến tính hóa xung quanh trạng thái cân bằng của dầm sẽ cho ta một ma trận độ cứng đơn giản hơn.

Các bài toán xác minh đã nêu ra được rằng phân tử hữu hạn dầm được xây dựng trong luận văn này cho kết quả khá chính xác và có thể được áp dụng để tính toán, và phân tích ứng xử của kết cấu thổi phồng.

Các phép mô phỏng số và phân tích ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng đã được thực hiện và chứng tỏ rằng độ cứng của dầm phụ thuộc rất lớn vào áp suất thổi phồng và các tính chất cơ lý của vải kỹ thuật.

2. Kiến nghị:

Khi tính toán thiết kế kết cấu thổi phồng, cần cân nhắc kỹ việc lựa chọn giá trị áp suất thổi phồng và loại vật liệu sử dụng.

- Áp suất thổi phồng càng tăng thì kết cấu càng cứng và do đó có khả năng chịu lực càng tốt.

- Tuy nhiên, để tăng khả năng chịu lực của kết cấu thì cần cân nhắc kỹ khi lựa chọn vật liệu vải kỹ thuật. Nếu nắm rõ ứng xử của kết cấu thì đôi khi, một tấm vải kỹ thuật có khả năng chịu lực bé hơn lại có lợi hơn cho sự làm việc của kết cấu.

- + Khả năng chịu lực của kết cấu thổi phồng phụ thuộc vào độ lớn của áp suất thổi phồng. Vì vậy, trong quá trình sử dụng phải có các biện pháp duy trì được áp lực thổi phồng như đã tính toán.

3. Phát triển luận văn:

- + Nghiên cứu ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng chịu các trường hợp tải trọng khác nhau: tải trọng phân bố, tải trọng xoắn.....