

## **TÍNH TOÁN VÀ THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ ĐỘ BỀN TẤM PANEL CHẾ TẠO BẰNG VẬT LIỆU COMPOSITE POLYESTER - SỢI THỦY TINH**

HUỲNH XUÂN KHOA, CHÂU CAO NGUYỄN KHANG

*Khoa Công nghệ Cơ khí, trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh  
huynhxuankhoa@iuh.edu.vn, chaucaonguyenkhang@gmail.com*

**Tóm tắt.** Bài báo giới thiệu nghiên cứu tính toán và thực nghiệm xác định thông số độ bền cho tấm panel làm bằng vật liệu composite Polyester- sợi thủy tinh kết cấu sandwich. Các thông số bao gồm ứng suất bền kéo ( $\sigma_k$ ), module đàn hồi (E) của các thành phần cấu tạo nên tấm panel được tính dùng mô hình toán học thực hiện trên phần mềm Mathworks MATLAB R2018a chạy trên MS Window 10 và được kiểm chứng bằng phương pháp thực nghiệm trên máy thử kéo. Kết quả cho thấy độ tương hợp cao giữa mô hình đã chọn và phương pháp thực nghiệm tạo cơ sở cho việc tính toán toàn bộ kết cấu của tấm panel.

**Từ khóa.** Thùng xe đông lạnh, vật liệu composite, cấu trúc sandwich, cơ tính panel

### **CALCULATION AND EXPERIMENT OF STRENGTH OF A POLYESTER - GLASS FIBER COMPOSITE PANEL**

**Abstract.** The work introduces the results of calculation and experiment investigating the strength of a panel made of polyester - fiberglass sandwich composite. The influenced factors including tensile stress ( $\sigma_k$ ), elastic modulus (E) were mathematically calculated base on the Mathworks MATLAB and experimentally measured. The results show that there is a good correspondence between two methods .

**Keywords.** Frozon truck body, Composite material, Sandwich structure, Mechanical panel

## **1 ĐẶT VẤN ĐỀ**

Kết cấu sandwich vật liệu composite polyester - sợi thủy tinh đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực công nghiệp ô tô và hàng không. Việc ứng dụng vật liệu composite polyester - sợi thủy tinh có kết cấu sandwich vào sản xuất thùng xe tải đông lạnh đem lại lợi ích rất lớn nhờ độ bền riêng của vật liệu này rất cao. Ngoài việc giảm khối lượng xe còn hạn chế sự tăng nhiệt bên trong nhờ vào độ dẫn nhiệt thấp của vật liệu này cùng sự kết hợp của lõi làm từ foam PU. Một số doanh nghiệp chế tạo thùng xe loại này đang tiến tới xây dựng bộ tiêu chuẩn cho sản phẩm, trên tinh thần đó Khoa Công nghệ Cơ khí trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh và Công ty Tường Huy đã hợp tác để nghiên cứu, tính toán, đo đạc các chỉ tiêu cần thiết để xây dựng bộ tiêu chuẩn. Trong công việc này chúng tôi chủ yếu tập trung vào xác định các chỉ tiêu độ bền của lớp “da” của tấm panel. Để giúp doanh nghiệp giảm chi phí đo kiểm thực nghiệm, chúng tôi xây dựng mô hình toán dùng tính toán cho lớp “da” theo công thức vật liệu hiện tại của doanh nghiệp. Để kiểm tra sự thích hợp của mô hình tính toán các mẫu “da” cắt ra từ tấm panel vách cũng được đo thực nghiệm trên máy thử độ bền tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Vật liệu Polyme và Composit, đại học Bách Khoa, đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh. Trình tự tiến hành xây dựng mô hình toán là mô hình hóa đối tượng dựa trên kết cấu của lớp composite mà doanh nghiệp đang áp dụng, sau đó áp dụng một số mô hình đã công bố, biến đổi cho thích hợp, cuối cùng thực nghiệm trên đối tượng để kiểm chứng mô hình đã đạt được.

## **2 MÔ HÌNH HOÁ ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU VÀ THỰC NGHIỆM**

Vật liệu Composite polyester – sợi thủy tinh là kết hợp giữa cốt sợi thủy tinh và nền là nhựa polyester. Tùy vào mục đích cụ thể mà tỉ lệ, sự sắp xếp của sợi sẽ khác nhau dẫn đến tính chất vật liệu composite sẽ

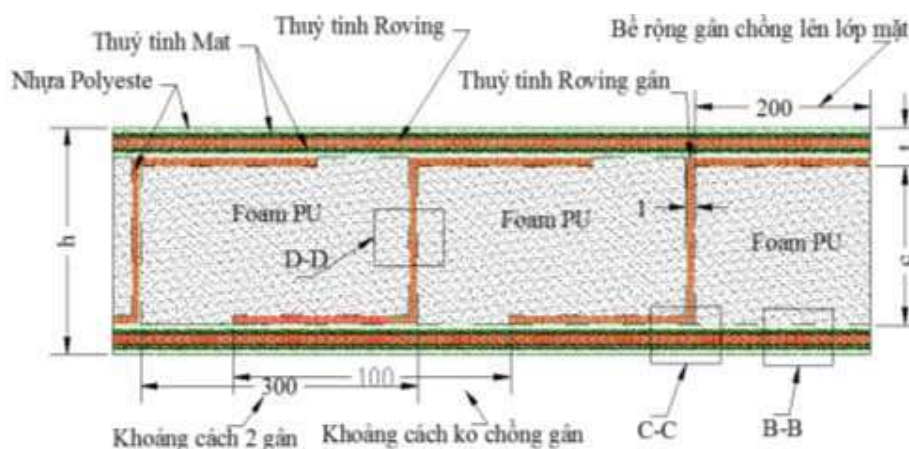
khác nhau. Trong nghiên cứu này, chúng tôi dựa vào một số mô hình tính toán trước đó để dựng nên mô hình tính toán cụ thể cho sản phẩm đang được sản xuất tại công ty Tường Huy.

## 2.1 Cấu tạo của một tấm panel

Một tấm panel (hình 1, [1]) theo thứ tự từ ngoài vào trong lần lượt là lớp mặt, lớp lõi, và lớp đáy. Để hình dung rõ hơn ta cắt một đoạn đại diện như đánh dấu trên hình 1 và mô hình lại như trên hình 2.

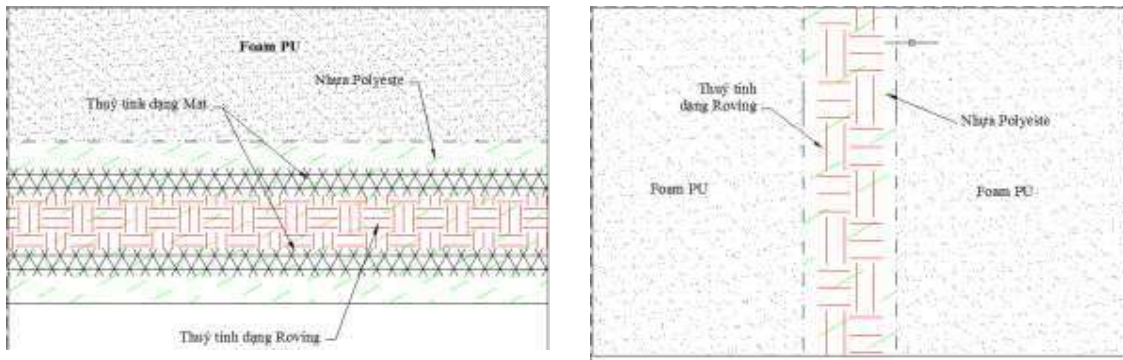


Hình 1. Tấm panel được sản xuất từ vật liệu composite Polyester, sợi thủy tinh gia cường, cấu trúc Sandwich [1]



Hình 2. Mô hình cấu tạo tấm panel và mặt cắt A-A

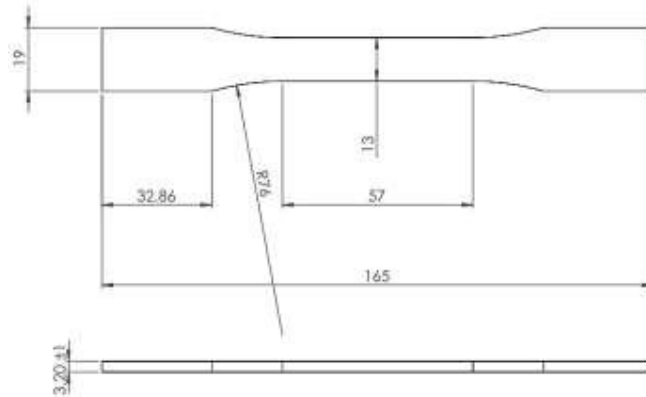
Theo đó, lớp mặt gồm một lớp vải dệt sợi thủy tinh (woven roving), hai lớp sợi thủy tinh cắt nhỏ (dạng Mat) phân bố ngẫu nhiên và được cố định trong nền nhựa polyester (hình 3). Lớp lõi (nhiệm vụ chính là giữ nhiệt) nằm ở giữa và được tạo thành từ foam PU cùng với các gân liên kết. Lớp đáy trong cùng có cấu tạo hoàn toàn giống lớp mặt, chỉ khác là lớp trong cùng được phủ một lớp sơn an toàn thực phẩm.



Hình 1. Cấu tạo chi tiết lớp mặt (mặt cắt B-B) và gân liên kết (mặt cắt C-C)

## 2.2 Thực nghiệm xác định các thông số

Để tiến hành thực nghiệm thử kéo, mẫu được cắt ngẫu nhiên từ lớp mặt (lớp da) và gân của tấm panel (hình 1). Kích thước và số lượng mẫu tuân theo tiêu chuẩn ASTM D638-type1 (hình 4).



Hình 4. Thông số hình học của mẫu thử kéo theo ASTM D638-type1 (đơn vị: mm)

Số lượng mẫu cho mỗi bộ thử theo tiêu chuẩn là 08 mẫu. Mẫu được thử trên máy thử kéo Lloyd LR 30K.

## 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Xây dựng công thức tính toán bền kéo cho các thành phần tấm vách thùng xe

Một tấm vách thùng xe được cấu tạo từ lớp mặt, lớp lõi và lớp đáy như trình bày ở hình 2. Từ cấu trúc đó, để tính toán được các yếu tố ảnh hưởng: ứng suất bền kéo ( $\sigma_k$ ), ứng suất bền nén ( $\sigma_n$ ), mô đun đàn hồi ( $E$ ) ta phải tính dựa vào thành phần cấu tạo để tìm ra cơ tính từng lớp.

#### 3.1.1 Mô hình tính toán dành cho lớp mặt

Gọi  $a_1$ ,  $a_2$  và  $a_3$  lần lượt là khối lượng riêng của sợi thủy tinh dạng Mat, sợi thủy tinh dạng Woven roving và tỉ lệ nhựa Polyester theo khối lượng sợi thủy tinh trên một đơn vị diện tích một mét vuông. Với  $b$  là bề rộng mẫu thử,  $S$  là chiều dài mẫu thử.

Khối lượng sợi thủy tinh trong một đơn vị tính có trong lớp mặt [2, 6].

$$m_{fb.fc} = 2.a_1 \times b \times S \times 10^{-6} + a_2 \times b \times S \times 10^{-6} \text{ (kg)} \quad (1)$$

Khối lượng Polyester trong một đơn vị tính có trong lớp mặt.

$$m_{po.fc} = m_{fb.fc} \times a_3, \text{ (kg)} \quad (2)$$

Tổng khối lượng của lớp mặt là:

$$m_{fc} = m_{po.fc} + m_{fb.fc}, \text{ (kg)}$$

Thành phần phần trăm khối lượng của sợi không liên tục dạng Mat trong lớp mặt là:

$$V_{fb\_ma.fc} = \frac{2 \times a_1 \times b \times S \times 10^{-6}}{m_{fc}} \quad (3)$$

Thành phần phần trăm khối lượng của sợi đan dạng Woven roving trong lớp mặt là:

$$V_{fb\_rv.fc} = \frac{a_2 \times b \times S \times 10^{-6}}{m_{fc}} \quad (4)$$

Thành phần phần trăm khối lượng của Polyester trong lớp mặt là:

$$V_{po\_fc} = (V_{fb\_ma.fc} + V_{fb\_rv.fc}) \times a_3 \quad (5)$$

#### 3.1.1.1 Mô đun đàn hồi kéo của lớp mặt

Ta có công thức tính mô đun đàn hồi kéo như sau [2].

$$E_{fc} = (E_{ma} \times V_{fb\_ma.fc}) + (E_{po} \times V_{po\_fc}) + (E_{rv} \times V_{fb\_rv.fc}), \text{ (MPa)} \quad (6)$$

Trong đó:

$E_{fc}$ : Mô đun đàn hồi kéo cho lớp mặt.

$V_{fb\_ma.fc}$ : Thành phần phần trăm sợi thủy tinh dạng Mat

$E_{ma}$ : Mô đun đàn hồi sợi thủy tinh dạng Mat

$V_{po\_fc}$ : Thành phần phần trăm chất Polyester

$E_{po}$ : Mô đun đàn hồi chất Polyester.

$V_{fb\_rv.fc}$ : Thành phần phần trăm sợi thủy tinh dạng Woven roving

$E_{rv}$ : Mô đun đàn hồi sợi thủy tinh dạng Woven roving.

#### 3.1.1.2 Độ bền kéo của lớp mặt

Nếu gọi  $\sigma_{fc\_keo}$  là độ bền kéo cho lớp mặt, thì độ bền kéo của tấm composite lớp mặt như sau [2]:

$$\sigma_{fc\_keo} = (\sigma_{ma} \times V_{fb\_ma.fc}) + (V_{fb\_rv.fc} \times \sigma_{rv}) + \left( \frac{\sigma_{ma}}{E_{ma}} + \frac{\sigma_{rv}}{E_{rv}} \right) \times (E_{po} \times V_{po\_fc}), \text{ (MPa)} \quad (7)$$

$\sigma_{ma}$ : Độ bền kéo sợi thủy tinh dạng Mat

$\sigma_{po}$ : Độ bền kéo chất Polyester

$\sigma_{rv}$ : Độ bền kéo sợi thủy tinh dạng Woven roving.

Như vậy, độ bền kéo của tấm composite sẽ nhỏ hơn bền kéo của sợi thủy tinh nhưng lớn hơn độ bền kéo của polyester. Ngoài ra, qua công thức (7) chúng ta có thể thấy rằng, độ bền kéo của tấm composite phụ thuộc vào thành phần phần trăm các chất thành phần.

### 3.1.2 Mô hình tính toán dành cho lớp lõi

Tương tự như lớp mặt lớp lõi được cấu tạo từ ba vật liệu khác nhau. Gồm một lớp gân chữ Z được tạo nên bởi sự kết hợp giữa sợi thủy tinh dạng Woven roving và nhựa polyester. Bề dày của gân là 1mm. Gọi n là số gân Z, n là số nguyên dương, b là bề rộng tấm panel.

Tổng khối lượng của lớp lõi trong một đơn vị diện tích là  $m_{ga}$  và được tính như sau [5]:

$$m_{ga} = \frac{(n \times c \times S \times a_2)}{10^6} + \frac{(n \times c \times S \times a_2)}{10^6} \times a_3, \text{ (kg)} \quad (8)$$

Thành phần phần trăm khối lượng của sợi đan dạng Woven roving có trong lớp gân liên kết là:

$$V_{fb\_rv.ga} = \frac{1}{m_{ga}} \times \frac{(n \times c \times S \times a_2)}{10^6} \quad (11)$$

Thành phần phần trăm khối lượng Polyester có trong lớp gân liên kết là:

$$V_{po\_ga} = V_{fb\_rv\_ga} \times a_3 \quad (12)$$

Thành phần phần trăm khối lượng của foam PU có trong lớp lõi (core) là:

$$V_{fo} = \frac{m_{fo}}{m_{ga} + m_{fo}} \quad (13)$$

với  $m_{fo}$  là khối lượng foam PU, có trong một mét vuông của tấm panel.

$$\text{Tức } m_{fo} = (b - 1.n) \times c \times S \times d_{fo}, \text{ (kg)} \quad (14)$$

### 3.1.2.1 Mô đun đàn hồi của lớp lõi

Vì lõi gồm gân liên kết và foam PU tạo thành, nên để tìm được mô đun đàn hồi của lớp lõi chung thì phải tìm mô đun đàn hồi các lớp thành phần. Mô đun đàn hồi nén trong gân liên kết [2, 5] xác định theo công thức sau:

$$E_{ga\_nen} = \frac{E_{po} \times E_{rv}}{E_{po} \times V_{fb\_rv\_ga} + E_{rv} \times V_{po\_ga}}, \text{ (MPa)} \quad (15)$$

Đơn giản hơn, mô đun đàn hồi kéo được tính như sau:

$$E_{ga} = E_{po} \times V_{po\_ga} + E_{rv} \times V_{fb\_rv\_ga}, \text{ (MPa)} \quad (16)$$

Sau khi đã có mô đun đàn hồi của lớp gân liên kết, mô đun đàn hồi của lõi dễ dàng xác định dựa vào thành phần phần trăm các chất tham gia. Cụ thể như sau:

Mô đun đàn hồi nén chung giữa foam và gân liên kết tạo nên lõi là:

$$E_{cr\_nen} = (1 - V_{fo}) \times E_{ga\_nen} + \sigma_{fos} \times V_{fo}, \text{ (MPa)} \quad (17)$$

Mô đun đàn hồi kéo chung giữa foam và gân liên kết tạo nên lõi là:

$$E_{cr} = (1 - V_{fo}) \times E_{ga} + E_{fo} \times V_{fo}, \text{ (MPa)} \quad (18)$$

### 3.1.2.2 Hệ số Poisson của lớp lõi

Khác với lớp mặt, gân liên kết chỉ có hai vật liệu tạo nên. Và hệ số Poisson của gân liên kết là:

$$v_{ga} = v_{rv} \times V_{fb\_rv\_ga} + v_{po} \times V_{po\_ga} \quad (19)$$

### 3.1.2.3 Độ bền kéo lớn nhất của lớp lõi

Khả năng chịu kéo lớn nhất của gân liên kết có vai trò quan trọng trong độ bền của cả tấm panel. Khả năng chịu kéo lớn nhất trong gân liên kết được tính như sau:

$$\sigma_{ga\_keo} = \left( \sigma_{rv} \times V_{fb\_rv\_ga} + \frac{\sigma_{rv}}{E_{rv}} \times E_{po} \times V_{po\_ga} \right), \text{ (MPa)} \quad (20)$$

Với  $\sigma_{ga\_keo}$  là ứng suất bền kéo gân liên kết.

Độ bền kéo lớn nhất chung tạo nên từ foam và gân liên kết của lõi là:

$$\sigma_{cr\_keo} = \sigma_{ga\_keo} (1 - V_{fo}) + V_{fo} \times \frac{\sigma_{ga\_keo}}{E_{ga}} \times E_{fo} \times V_{fo}, \text{ (MPa)} \quad (21)$$

Để tính độ bền nén, trước hết ta tính tỉ số đường kính và khoảng cách của xơ sợi theo công thức sau:

$$\frac{d}{s} = \sqrt{\frac{4 \times V_{fb\_rv\_ga}}{\pi}} \quad (22)$$

Trong đó,  $d/s$  là tỉ số giữa đường kính sợi thủy tinh so với khoảng cách của xơ sợi.

Hệ số nén tối hạn của nhựa Polyester là:

$$\varepsilon_{po\_nen} = \frac{\sigma_{po\_nen}}{E_{po}} \quad (23)$$

Trong đó,  $\varepsilon_{po\_nen}$  là hệ số nén tới hạn của Polyester,  $\sigma_{po\_nen}$  là ứng suất bền nén của Polyester.

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{d}{s} \times \frac{E_{po}}{E_{rv}} + \left(1 - \frac{d}{s}\right)\right) \varepsilon_{po\_nen} \quad (24)$$

Trong đó,  $\varepsilon_2$  là hệ số nén tới hạn chung.

Sau khi có các hệ số từ (22) tới (24) ta tìm được độ bền nén của lõi tấm panel theo công thức sau:

$$\sigma_{cr\_nen} = E_{cr\_nen} \times \varepsilon_2, \text{ (MPa)} \quad (25)$$

#### 3.1.2.4 Mô đun đàn hồi của nơi tiếp giáp lớp gân- lớp mặt

Vì lớp mặt lúc này có thêm một lớp gân liên kết với bề rộng bằng 200mm chồng thêm. Khi chồng thêm một lớp gân thì tỉ lệ phần trăm các chất thành phần bị thay đổi làm thay đổi mô đun đàn hồi.

Đoạn 1 là đoạn từ gân thứ nhất tới phần liên kết của gân kế tiếp sẽ có bề rộng là  $300 - 200 = 100\text{mm}$ . Khoảng này sẽ có mô đun đàn hồi là  $E_{fc}$ .

Đoạn 2 là đoạn có gân liên kết rộng 200mm sẽ có mô đun đàn hồi là  $E_{fc\_ga}$  và được tính như sau:

+ Với bề rộng  $b < 200$

$$E_{fc\_ga} = E_{fc} \left( \frac{m_{fc} \times \frac{1}{2}}{m_{fc} \times \frac{1}{2} + m_{ga} \times \frac{b}{2c}} \right) + E_{ga} \left( \frac{m_{ga} \times \frac{b}{2c}}{m_{fc} \times \frac{1}{2} + m_{ga} \times \frac{b}{2c}} \right), \text{ (MPa)} \quad (26)$$

+ Với bề rộng  $b > 200$

$$E_{fc\_ga} = E_{fc} \left( \frac{m_{fc} \times \frac{200}{305}}{m_{fc} \times \frac{200}{305} + m_{ga} \times \frac{200}{c}} \right) + E_{ga} \left( \frac{m_{ga} \times \frac{200}{c}}{m_{fc} \times \frac{200}{305} + m_{ga} \times \frac{200}{c}} \right), \text{ (MPa)} \quad (27)$$

#### 3.1.2.5 Độ bền kéo của nơi tiếp giáp lớp gân- lớp mặt

Với bề rộng  $b < 200$  tính như sau:

$$\sigma_{fc\_ga} = \sigma_{fc} \left( \frac{m_{fc} \times \frac{1}{2}}{m_{fc} \times \frac{1}{2} + m_{ga} \times \frac{b}{2c}} \right) + \frac{\sigma_{fc} \times E_{ga}}{E_{fc}} \left( \frac{m_{ga} \times \frac{b}{2c}}{m_{fc} \times \frac{1}{2} + m_{ga} \times \frac{b}{2c}} \right), \text{ (MPa)} \quad (28)$$

Còn với bề rộng  $b > 200$

$$\sigma_{fc\_ga} = \sigma_{fc} \left( \frac{m_{fc} \times \frac{200}{300}}{m_{fc} \times \frac{200}{300} + m_{ga} \times \frac{200}{c}} \right) + \frac{\sigma_{fc} \times E_{ga}}{E_{fc}} \left( \frac{m_{ga} \times \frac{200}{c}}{m_{fc} \times \frac{200}{300} \times 0.4 + m_{ga} \times \frac{200}{c}} \right), \text{ (MPa)} \quad (29)$$

### 3.2 Kết quả tính toán

Áp dụng các mô hình toán đã phân tích ở mục 3.1, trong mục này sẽ triển khai tính toán cho từng bộ phận cụ thể của vách thùng xe.

Căn cứ kết quả công bố từ nhà sản xuất (công ty Taishan fiberglass Inc đơn vị cung cấp vật tư sản xuất cho công ty Trường Huy) thì cơ tính của từng thành phần theo bảng sau:

Bảng 1. Tính chất cơ lý vật liệu [4]

Tính chất	Ký hiệu	Đơn vị	Sợi thủy tinh Mat	Sợi thủy tinh Woven roving	Polyester	Foam PU
Tỉ trọng	d	kg/mm <sup>3</sup>	$2,58.10^{-6}$	$2,58.10^{-6}$	$1,19.10^{-6}$	$0,04.10^{-6}$
Bền kéo	$\sigma_k$	MPa	39,58	344,5	60	-
Bền nén	$\sigma_n$	MPa	-	-	140	-
Mô đun đàn hồi	E	MPa	1800,0	7235,0	380,0	32
Mô đun đàn hồi cắt	G	MPa	32,8	-	140,0	-
Bền nén dọc	$\sigma_n$	MPa	-	-	-	0,23
Bền nén ngang	$\sigma_n$	MPa	-	-	-	0,19
Hệ số Poisson	v	-	0,3	0,2	0,4	0,4

Căn cứ vào thông số kỹ thuật từ nhà sản xuất, ta xét một tấm panel dày 85mm có cấu trúc cụ thể, với các kích thước trong hình 2, được liệt kê theo bảng sau:

Bảng 2. Thông số hình học và thành phần khối lượng

Các thông số	Ký hiệu	Lớp Mặt	Lớp Foam	Lớp Đáy	Gân liên kết
Dày lớp mặt (mm)	t	3	-	3	-
Dày lớp lõi (mm)	c	-	79	-	-
Rộng mẫu (mm)	b	75	74	75	1
Dài mẫu (mm)	S	560	560	560	560
Khối lượng sợi Mat/m <sup>2</sup>	a <sub>1</sub>	0,3×2	-	0,3×2	-
Khối lượng sợi Woven roving (kg)	a <sub>2</sub>	0,5	-	0,5	0,5
Tỷ lệ Polyester	a <sub>3</sub>	$1,8 \times a_1 \times a_2$	-	$1,8 \times a_1 \times a_2$	$1,8 \times a_2$
Khối lượng Foam (kg/m <sup>3</sup> )	m <sub>fo</sub> /m <sup>3</sup>	-	42	-	-
Bề rộng liên kết Z (mm)	-	-	-	-	200

Từ các số liệu bảng 1 và bảng 2. Kết hợp các công thức (6), (7) và (8) đối với lớp mặt, (16), (19) và (20) đối với lớp lõi và (26), (27), (28) và (29) đối với lớp gân-mặt có trong mục 3.1 ta có kết quả tính toán và được trình bày trong bảng 3 như sau:

Bảng 3. Kết quả tính toán cho vách thùng xe đông lạnh, cấu trúc sandwich

Đối tượng	Các thông số	Công thức	Kết quả
Lớp mặt và đáy	Mô đun đàn hồi	$E_{fc} = (E_{ma} \times V_{fb\_ma.fc}) + (E_{po} \times V_{po\_fc}) + (E_{rv} \times V_{fb\_rv.fc})$	2769,4
	Ứng suất kéo	$\sigma_{fc\_keo} = (\sigma_{ma} \times V_{fb\_ma.fc}) + (V_{fb\_rv.fc} \times \sigma_{rv}) + (\sigma_{ma}/E_{ma} + \sigma_{rv}/E_{rv}) \times (E_{po} \times V_{po\_fc})$	80,64
	Hệ số poisson	$\nu_{fc} = (\nu_{ma} \times V_{fb\_ma.fc}) + (\nu_{po} \times V_{po\_fc}) + (V_{fb\_rv.fc} \times \nu_{rv})$	0,3481
Gân	Mô đun đàn hồi	$E_{ga} = E_{po} \times V_{po\_ga} + E_{rv} \times V_{fb\_rv.ga}$	2828,2
	Ứng suất kéo	$\sigma_{ga\_keo} = k_{ga} \times (\sigma_{rv} \times V_{fb\_rv.ga} + \frac{\sigma_{rv}}{E_{rv}} \times E_{po} \times V_{po\_ga})$	134,67
	Hệ số poisson	$\nu_{ga} = \nu_{rv} \times V_{fb\_rv.ga} + \nu_{po} \times V_{po\_ga}$	0,3286

Phần lớp mặt – chồng gân	Mô đun đàn hồi	$E_{fc-ga} = E_{fc} \left( \frac{m_{fc} \times \frac{b}{2b}}{m_{fc} \times \frac{b}{2b} + m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}} \right) + E_{ga} \left( \frac{m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}}{m_{fc} \times \frac{b}{2b} + m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}} \right)$	2700,3
	Ứng suất kéo	$\sigma_{fc-ga} = \sigma_{fc} \left( \frac{m_{fc} \times \frac{b}{2b}}{m_{fc} \times \frac{b}{2b} + m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}} \right) + \sigma_{ga} \left( \frac{m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}}{m_{fc} \times \frac{b}{2b} + m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}} \right)$	95,72
	Hệ số poission	$\nu_{fc-ga} = \nu_{fc} \times \left( \frac{\frac{m_{fc}}{2}}{\frac{m_{fc}}{2} + m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}} \right) + \nu_{ga} \times \left( \frac{m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}}{\frac{m_{fc}}{2} + m_{ga} \times \frac{b}{2 \times c}} \right)$	0,3420

### 3.3 Kết quả đo thực nghiệm

Các kết quả đo kiểm thực nghiệm được tổng hợp và trình bày theo bảng 4 sau. Bảng gồm ba loại mẫu đã thử là lớp mặt, lớp mặt có chồng gân và lớp gân. Trong loại lớp mặt, có ba bộ mẫu, mỗi bộ gồm 5 mẫu được cắt ngẫu nhiên từ tấm thành phẩm và đo theo tiêu chuẩn [4] . Trong lớp mặt có chồng gân cũng tương tự. Riêng lớp gân thì chỉ có một bộ mẫu đo.

Bảng 4. Kết quả đo các thành phần cấu tạo tấm panel

Tên mẫu	STT	Dày (mm)	Rộng (mm)	Max Load (N)	Slope (N/mm)	Strength (Mpa)	Modulus (MPa)	TB Strength (MPa)	TB Modulus (MPa)
Lớp mặt	MTN-1	2,3	13,4	3695,0	1810,0	118,9	2911,1	100,43	2808,11
	MTN-2	2,4	13,7	3623,0	2898,0	108,8	4350,6		
	MTN-3	2,3	13,3	3417,0	1877,0	110,6	3037,0		
	MTN-4	2,3	13,5	3456,0	1968,0	112,4	3201,5		
	MTN-5	2,3	13,4	3424,0	1835,0	110,1	2949,1		
	MTL-4	2,1	12,7	3333,0	1152,0	125,2	2163,1		
	MTL-1	2,3	12,7	3061,0	1709,0	105,7	2951,0		
	MTL-3	2,3	12,9	3945,0	2213,0	132,8	3723,6		
	MTL-5	2,4	13,0	3118,0	1877,0	99,8	3003,4		
	MTL-2	2,5	13,1	3396,0	1801,0	105,5	2797,2		
	MTL-6	2,5	13,4	2637,0	2003,0	78,3	2974,7		
	MTL-9	3,2	12,9	3845,0	2197,0	93,1	2661,1		
	MTL-11	3,2	13,3	2880,0	1688,0	67,1	1967,8		
	MTL-10	3,4	12,9	3428,0	2203,0	77,5	2491,9		
	MTL-12	3,6	13,4	2879,0	2106,0	59,9	2192,2		
	MTL-7	3,6	12,7	4138,0	1757,0	90,0	1910,1		
	MTL-8	3,9	12,9	5681,0	2495,0	111,7	2452,6		
Lớp mặt - gân liên kết	MXL-1	2,4	12,8	3002,0	1907,0	98,5	3129,9	88,67	2621,36
	MXL-2	2,8	12,6	4193,0	2415,0	118,8	3422,6		
	MXL-3	2,6	13,1	3997,0	2056,0	117,2	3013,6		
	MXL-4	2,6	13,0	5174,0	2247,0	151,4	3288,5		
	MXL-5	2,6	13,2	3080,0	1831,0	91,6	2724,0		
	MXL-6	2,7	13,1	4814,0	1987,0	136,5	2817,5		
	MXL-7	4,2	12,8	2727,0	2299,0	50,7	2138,2		
	MXL-8	3,7	12,5	2567,0	2459,0	55,0	2636,3		
	MXL-9	3,7	13,8	2547,0	1985,0	50,6	1973,3		
	MXL-10	3,6	13,7	3273,0	2352,0	66,8	2399,2		
	MXL-11	3,5	12,8	2974,0	2440,0	67,2	2755,4		
	MX-1	3,5	12,8	3735,0	2506,0	83,7	2807,8		



	MX-2	3,5	13,4	4248,0	2237,0	90,7	2388,4		
	MX-3	3,3	12,3	2904,0	1934,0	72,3	2407,7		
	MX-4	3,5	13,3	3525,0	2272,0	75,5	2433,8		
	MX-5	3,4	13,2	4110,0	1436,0	91,9	1605,6		
Lớp gân liên kết	Gan1	1,6	13,0	1795,0	1019,0	87,3	2476,7	84,43	2711,63
	Gan2	1,7	13,1	1742,0	1236,0	76,9	2729,0		
	Gan3	1,6	12,8	1765,0	1187,0	85,7	2882,2		
	Gan4	1,5	13,2	1708,0	1073,0	87,8	2758,6		
* Thiết bị đo: Lloyd LR 30K. Mẫu thử dài 50mm									

### 3.3.1 Sàng lọc số liệu

Qua quan sát từng bộ số liệu bảng 4, ta thấy các giá trị ở bộ mẫu thứ 2 gồm MXL-7, MXL-8, MXL-9, MXL-10, MXL-11 của lớp mặt có gân liên kết với các giá trị max load lần lượt là 2727; 2567; 2547; 3273; 2974.

Các giá trị này tương đối đồng đều nhưng thấp hơn hai bộ mẫu khác một cách có hệ thống. Nguyên nhân có thể là do vật liệu cấu tạo nên mẫu ít hơn hoặc kém chất lượng hơn hoặc cũng có thể do mẫu được cắt không đúng tiêu chuẩn. Cách kiểm tra mẫu đơn giản nhất là quan sát vết đứt của mẫu sau thử nghiệm.



Hình 5. Vết đứt mẫu sau thử kéo của bộ mẫu số 2 của lớp mặt có gân liên kết

Thật vậy, qua quan sát vết đứt (hình 5), ta thấy các thớ xơ sợi thủy tinh dạng Woven roving không song song với chiều dọc của mẫu thử như hình 3 trên. Điều này dẫn đến các kết quả thấp hơn so với hai bộ mẫu cùng loại. Từ đây, chúng ta có cơ sở để loại bỏ bộ mẫu này.

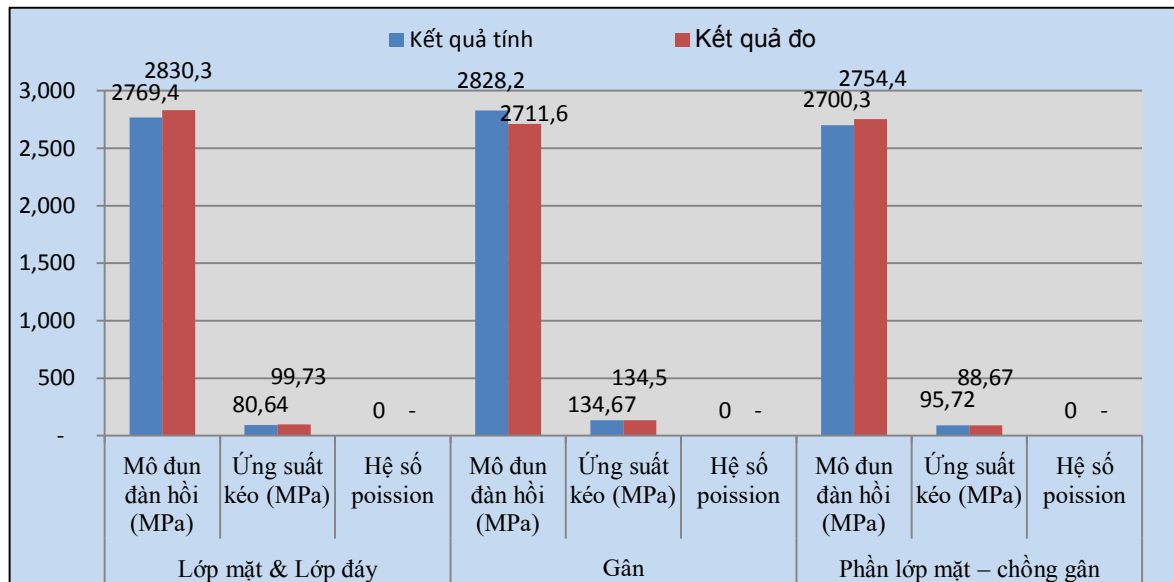
### 3.3.2 So sánh kết quả tính toán – đo đạc

Sau khi sàng lọc các kết quả thử nghiệm, ta đem kết quả đó so sánh với kết quả tính toán ở cùng một đơn vị diện tích, ta có kết quả như sau:

Bảng 5. Bảng so sánh giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm

Đối tượng	Các thông số	Kết quả tính	Kết quả đo
Lớp mặt & Lớp đáy	Mô đun đàn hồi (MPa)	2769,4	2830,3
	Ứng suất kéo (MPa)	80,64	99,73
	Hệ số poisson	0,3481	-
Gân	Mô đun đàn hồi (MPa)	2828,2	2711,6
	Ứng suất kéo (MPa)	134,67	134,5
	Hệ số poisson	0,3286	-
Phản lớp mặt – chồng gân	Mô đun đàn hồi (MPa)	2700,3	2754,4
	Ứng suất kéo (MPa)	95,72	88,67
	Hệ số poisson	0,3420	-

Để dễ dàng hơn trong so sánh giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm, biểu đồ bên dưới biểu diễn sự chênh lệch các thông số một cách sinh động.



Hình 6. Biểu đồ so sánh kết quả tính toán – kết quả thực nghiệm

Qua biểu đồ, chúng ta thấy ứng suất có kết quả tính toán thấp hơn kết quả đo kiểm. Sự khác biệt đó do nhiều nguyên nhân khác nhau. Các nguyên nhân đó như đã nêu ở trên, tức là sự phụ thuộc vào máy móc, con người, vật liệu, phương pháp, môi trường và quá trình chế tạo mẫu. Từ nguyên vật liệu cung cấp cho sản xuất, quá trình sản xuất, lấy mẫu cho tới khâu thử nghiệm đều có thể gây ra sai số. Việc tính toán dựa trên danh nghĩa nên tạo ra sự chênh lệch đó. Như trình bày ở phần 2, chỉ cần giảm thành phần Polyester xuống giới hạn nhỏ nhất so với yêu cầu một vài phần trăm thì cơ tính sẽ tăng lên rất nhiều.

#### 4 KẾT LUẬN

Đề tài đã tính toán được ứng suất bền kéo  $\sigma_k$ , mô đun đàn hồi kéo. Đồng thời cũng nêu ra được công thức tổng quát cho việc tính toán các yếu tố.

Đề tài đã tiến hành thực nghiệm để kiểm chứng là các kết quả tính toán. Kết quả cho thấy sự chênh lệch tối đa là 6,7% cho ứng suất kéo lớp mặt gồm lớp Mat + Woven roving + Mat, 6,68% cho ứng suất kéo lớp mặt gồm lớp Mat + Woven roving + Mat + Gân và 0,27% cho ứng suất kéo lớp Woven roving (gân).

Mô hình toán dùng tính toán các thông số bên trên có thể áp dụng cho việc tính toán thường xuyên khi có sự thay đổi về độ dày, thành phần nền cốt nhằm tiết kiệm thời gian và chi phí cho việc đo kiểm thực nghiệm.

Đề tài đã góp phần xây dựng mối quan hệ chắc chắn giữa Nhà trường và doanh nghiệp theo định hướng của lãnh đạo Trường đại học công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh và giúp doanh nghiệp tiến tới việc hình thành tiêu chuẩn cho vách thùng xe đông lạnh chế tạo bằng vật liệu composite nền nhựa cốt sợi thủy tinh.

### LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Công ty Trách nhiệm hữu hạn Tường Huy đã cung cấp vật liệu mẫu và hỗ trợ thực hiện đề tài này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Huy, P. H. Profile in brief. Công ty TNHH Tường Huy, 2008.
- [2] Mechanics of Composite Materials. Kaw, Autar K. Printed in the United States of America, London; New York : Taylor & Francis Group, LLC, 2006, Vol. v. 29. ISBN 0-8493-1343-0
- [3] Composite material design and applications. Gay, Daniel, Hoa, Suong V. and Tsai, Stephen W. Boca Raton; London; New York; Washington, D.C. : CRC Press LLC, 2003. ISBN 1-58716-084-6.
- [4] Trademark, Hexcel Registered. Hexweb TM honey comb sandwich design technology. Duxford : Lloyd's register quality company, December 2000. Publication No. AGU 075b.
- [5] The influence of core properties on failure of composite sandwich beams. Daniel, Isaac M. Porto, Portugal : Printed in Portugal, 6-8 May 2008. 978-972.
- [6] William D. Callister, Jr. David G. Rethwisch. Composite. Materials science and engineering. Hoboken, New York : John Wiley & Sons, Inc., October 2013, p. 637.

*Ngày nhận bài: 23/04/2019*

*Ngày chấp nhận đăng: 23/09/2019*