

## Bê tông cốt sợi tự nhiên : Các đặc tính cơ học và khả năng ứng dụng Natural fibre reinforced concrete: Mechanical properties and applied capacity in infrastructure construction

Trần Mạnh Tiến\*, Đỗ Ngọc Tú

Bộ môn Sức bền vật liệu - Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

*Từ khóa:*

Sợi tự nhiên  
Bê tông cốt sợi tự nhiên  
Cường độ nén  
Cường độ kéo uốn

TÓM TẮT

Ở Việt Nam, bê tông cốt sợi tự nhiên có thể là một giải pháp vật liệu tối ưu cho một số công trình hạ tầng ở địa phương, nếu được nghiên cứu một cách có định hướng. Bài báo này giới thiệu những kết quả nghiên cứu về bê tông cốt sợi tự nhiên, bao gồm những hiểu biết về các loại sợi tự nhiên được sử dụng, phương pháp thực nghiệm xác định các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi đay và sợi dừa, khả năng áp dụng vào xây dựng hạ tầng cơ sở ở các vùng nông thôn mới. Kết quả thu được là cường độ của các loại sợi tự nhiên được sử dụng trong xây dựng trên thế giới, cường độ nén, kéo uốn và mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi dừa và sợi đay với các hàm lượng sợi khác nhau từ 1%, 1.5% và 2% so với khối lượng của xi măng. Cường độ trung bình của bê tông là 40 MPa khi chịu nén, 8 – 12 MPa khi chịu kéo uốn, và 30 GPa mô đun đàn hồi. Từ kết quả thực nghiệm, ảnh hưởng của loại sợi và hàm lượng sợi đến cường độ của bê tông được làm rõ và phân tích, từ đó, lựa chọn được hàm lượng sợi phù hợp.

*Keywords:*

Natural fibre  
Natural fibre-reinforced cementitious matrix (N-FRCM)  
Compressive strength  
Flexural tensile strength

ABSTRACT

In Viet Nam, natural fibre-reinforced cementitious matrix (N-FRCM) can be a material solution in some situations and works if research is oriented. This paper presents research results on natural fibre-reinforced concrete material, including knowledge of natural fibres used, experimental methods to determine mechanical properties of jute and coconut fibre-reinforced concrete, and applicability to infrastructure construction. The results obtained were the strength of natural fibres commonly used in construction around the world, the compressive strength, flexural tensile strength, and Young's modulus of coconut and jute FRCM with different fibre contents ranging from 1%, 1.5%, and 2% compared to the mass of cement. From the experimental results, the influence of fibre type and fibre content on the concrete performances is extracted and analysed, from which to choose the appropriate fibre content.

\* Trần Mạnh Tiến. Bộ môn Sức bền vật liệu - Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Email: [tranmanhtien@humg.edu.vn](mailto:tranmanhtien@humg.edu.vn)

[https://www.doi.org/10.55228/JTST.13\(6\).25-37](https://www.doi.org/10.55228/JTST.13(6).25-37)

Ngày nhận bài: 30/7/2024; Ngày nhận bài sửa: 18/10/2024; Ngày chấp nhận đăng: 08/11/2024

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/11/2024

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

## 1. Giới thiệu

Bê tông cốt sợi đã được nghiên cứu và ứng dụng vào quá trình phát triển hạ tầng kỹ thuật ở Việt Nam trong gần một thập kỷ trở lại đây. Những nghiên cứu trước đây đã chỉ ra hiệu quả sử dụng đáng tin cậy của vật liệu bê tông cốt sợi trong phát triển hạ tầng kỹ thuật. Tuy nhiên, các loại sợi được sử dụng chủ yếu là sợi nhân tạo như sợi carbon, sợi thủy tinh, sợi polypropylene,... hoặc sợi thép, sợi kim loại, có cường độ cao và được bày bán như là sản phẩm thương mại trên thị trường, có giá thành tương đối cao và được sử dụng ở những công trình với tính đặc thù khi bê tông thường không thể đáp ứng được yêu cầu về cường độ. Ngoài ra, bê tông cốt sợi là một giải pháp bền vững để gia cường các loại kết cấu hạ tầng bị suy giảm độ bền theo thời gian hoặc do ăn mòn, hỏa hoạn, động đất, ... [1], [2].

Trong điều kiện yêu cầu không cao về cường độ, bê tông cốt sợi tự nhiên có thể là một giải pháp vật liệu thích hợp nếu được nghiên cứu có định hướng. Đặc biệt là các công trình hạ tầng cơ sở ở vùng sâu, vùng xa, vừa tận dụng được các vật liệu địa phương, vừa đảm bảo nhất định các yêu cầu kỹ thuật. Do đó, các loại sợi tự nhiên như sợi rơm rạ, sợi mây, cói, dừa, đay... là rất tiềm năng để thêm vào và cải thiện cường độ của bê tông.

Trên thế giới, bê tông cốt sợi tự nhiên đã được nghiên cứu tương đối đầy đủ trong khoảng mười năm gần đây. Các loại sợi được sử dụng để đưa vào trong bê tông chủ yếu là sợi lanh, sợi sisal, sợi dừa, sợi đay... [3], [4], [5], [6]. Kouta và cộng sự [4] nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng theo thể tích và chiều dài của sợi lanh trong ứng xử cơ học của bê tông cốt sợi tương ứng. Wang và Chouw [6] đã sử dụng sợi lanh và sợi dừa để chế tạo bê tông cốt sợi và polymer cốt sợi, từ đó, khảo sát cường độ của các vật liệu này để xây dựng một mô hình tính toán lý thuyết có xem xét

đến ảnh hưởng của các tham số vật liệu. Lima và cộng sự [7] đã sản xuất các tấm bê tông đúc sẵn bằng các sợi sisal dạng ngắn, kết quả cho thấy, các tấm bê tông cốt sợi này có độ bền và độ dẻo dai cao hơn so với các tấm tương tự trên thị trường.

Hầu hết các mẫu bê tông cốt sợi đều cho ra ứng xử nén phi tuyến phức tạp và biến dạng của mẫu khi phá hủy được tăng lên đáng kể so với bê tông thông thường. Hơn nữa, các nghiên cứu trên đều cho thấy những kết quả rất khả quan về việc sử dụng bê tông cốt sợi tự nhiên, cải thiện đáng kể các đặc trưng cơ học của bê tông: Cường độ kéo, cường độ nén, biến dạng khi phá hủy. Ngoài ra, ảnh hưởng của các tham số được xác định như ảnh hưởng của loại sợi sử dụng, hàm lượng sợi bổ sung, phương pháp xử lý sợi,...

Một yếu tố có ảnh hưởng lớn đến cường độ của bê tông cốt sợi được chỉ ra là cường độ liên kết giữa bê tông và cốt sợi tự nhiên. Nhờ đó, hiệu ứng cầu sợi giữa sợi tự nhiên và các sản phẩm C-S-H được hình thành trong quá trình ninh kết bê tông mới có hiệu quả, làm tăng cường độ của bê tông cốt sợi tự nhiên. Về lý thuyết, cường độ dính bám giữa bê tông và cốt sợi tự nhiên được hình thành từ ba thành phần chính: Sự bám dính cơ học (neo cơ học), sự bám dính vật lý (lực hấp phụ, liên kết thứ cấp, lực Van de Waal, liên kết tĩnh điện...) và sự bám dính hóa học (liên kết hóa học, liên kết hóa trị) [8]. Để nâng cao cường độ lực dính giữa hai loại vật liệu này, việc xử lý bề mặt sợi tự nhiên là một yếu tố quan trọng. Yếu tố này giúp bê tông cốt sợi có độ bền cao hơn và giá trị ứng suất khi xuất hiện vết nứt tốt hơn [9], [10], [11]. Ferreira và cộng sự [12], [13], [14], đã nghiên cứu một cách có hệ thống các tham số vật liệu với ảnh hưởng lớn đến cường độ lực liên kết giữa sợi tự nhiên (sợi lanh, sợi sisal, sợi đay) và bê tông xi măng như phương pháp xử lý bề mặt, tính chất của sợi, tính chất hóa học của hồ xi

măng. Nhóm tác giả cũng đã xây dựng một phương pháp đảo ngược để dự báo ứng xử kéo nhỏ của sợi tự nhiên trong khối bê tông xi măng. Kết quả chỉ ra rằng, chiều dài neo trong khối bê tông xi măng có hiệu để sợi tự nhiên không tuột ra khỏi bê tông.

Ở Việt Nam, các loại sợi tự nhiên như sợi rơm rạ, sợi mây, cói, dừa, đay... rất phổ biến, dễ khai thác và sử dụng. Tuy tiềm năng để thêm vào và cải thiện cường độ của bê tông là rất lớn nhưng trên thực tế chưa được sử dụng nhiều. Tính đến nay, có một vài nghiên cứu về bê tông cốt sợi tự nhiên [15], [16], tuy nhiên, kết quả còn hạn chế và chưa được ứng dụng vào thực tế xây dựng. Nguyên nhân là chưa quan tâm đúng mức, chưa liên kết được những kết quả nghiên cứu khoa học vào thực tế. Ở các vùng nông thôn mới, công tác phát triển các công trình hạ tầng cơ sở (đường giao thông và thủy lợi nội đồng) là hết sức quan trọng. Do đó, yêu cầu tận dụng các loại vật liệu tự nhiên, có sẵn tại địa phương nhằm xây dựng các công trình hạ tầng là cấp thiết.

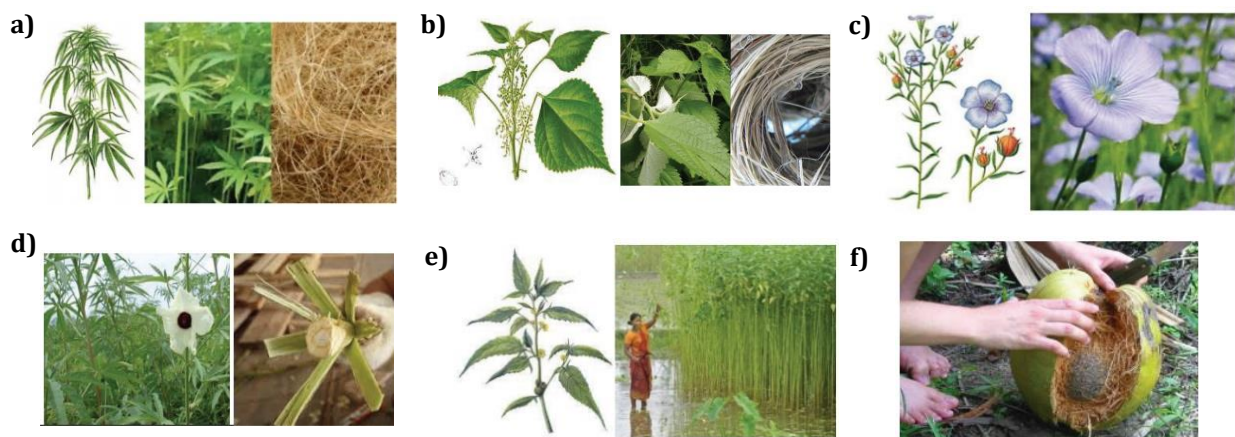
Bê tông cốt sợi tự nhiên là một loại vật liệu có thể đáp ứng các yêu cầu nói trên nếu được nghiên cứu một cách có định hướng.

Trong bài báo này, nhóm tác giả giới thiệu các kết quả nghiên cứu về bê tông cốt sợi tự nhiên từ thành phần cấu tạo sợi tự nhiên, các đặc trưng cường độ và khả năng ứng dụng vào các công trình phục vụ xây dựng nông thôn mới tại địa phương. Kết quả nghiên cứu đóng góp một phần vào ứng dụng bê tông cốt sợi tự nhiên trong công trình xây dựng.

## 2. Sợi tự nhiên

### 2.1. Các loại sợi tự nhiên được sử dụng

Sợi tự nhiên được sử dụng rất đa dạng như sợi đay, sợi lanh, sợi sisal, sợi xơ dừa, bã mía, sợi xơ chuối, sợi gai,... Tùy theo loại xơ sợi, chúng lại có tính chất cơ học khác nhau. **Bảng 1** trình bày các đặc trưng cơ học của một số loại sợi tự nhiên phổ biến nhất được nghiên cứu và sử dụng trong xây dựng so với sợi thủy tinh E.



**Hình 1.** Một số cây lấy sợi trên thế giới. (a) Cây gai dầu, (b) Cây họ gai dầu, (c) Cây lanh, (d) Một số cây họ Hibiscus cannabinus, (e) Cây đay, (f) Quả dừa.

Từ **Bảng 1**, có thể thấy rằng sợi lanh sau khi được xử lý có tính năng cơ học tốt nhất trong số các loại sợi tự nhiên và kém hơn một chút so với sợi thủy tinh E. Sau đó, đứng thứ hai và thứ ba về độ bền kéo là sợi đay và sisal. Vì vậy, ở các nước châu Âu, những sợi tự nhiên này đã được sản xuất dưới dạng sản

phẩm thương mại (ở dạng lưới, tấm, thảm) để sản xuất vật liệu composite (FRP hoặc FRCM) bằng cách sử dụng tăng cường hay gia cố kết cấu hiện có (cột, tường gạch, sàn...) [8], [17]. Mặc dù, có tính năng không sánh bằng các loại xơ sợi tự nhiên khác nhưng xơ dừa là loại sợi được nghiên cứu và ứng dụng

nhiều nhất do sẵn có, phương pháp chiết xuất sản phẩm xơ dễ dàng và giá thành rẻ. Vì vậy, hỗn hợp bê tông xơ dừa có độ bền được chấp nhận đối với các ứng dụng khác nhau trong xây dựng hạ tầng cơ sở. Sự có mặt của xơ dừa trong bê tông có những mặt tích cực như cải thiện tính dẻo, độ bền kéo và độ uốn

cũng như tính chất cách nhiệt của bê tông [18]. Tuy nhiên, với nhiều sợi xơ dừa hơn trong bê tông, khả năng làm việc (độ chảy loang) của bê tông giảm và làm tăng độ xốp của bê tông, dẫn đến giảm khả năng chịu tải của cả kết cấu bê tông xơ dừa.

**Bảng 1.** Tính chất cơ học của một số loại sợi tự nhiên so với sợi thủy tinh E [6].

Phân loại	Trọng lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Mô đun đàn hồi (Gpa)	Cường độ kéo (Mpa)	Biến dạng dài (%)
Sợi xơ dừa	1.2	4 - 6	150 - 175	15 - 40
Sợi lanh	1.53	43 - 72	900 - 1800	2.5 - 4.1
Sợi đay	1.45	20 - 30	400 - 800	1.5 - 1.9
Sợi sisal	1.40	9 - 21	610 - 720	3 - 7
Sợi gai dầu	1.56	50 - 80	500 - 1000	1.2 - 3.8
Xơ gai	1.07	35	390	1.6
Sợi thủy tinh E	2.54	72 - 73	2000 - 2400	3

## 2.2. Phương pháp xử lý sợi

Hầu hết các sợi tự nhiên đều được xử lý bằng các phương pháp khác nhau trước khi đưa vào sử dụng để sản xuất bê tông cốt sợi. Quá trình này nhằm tăng cường các tính chất cơ học của chính nó cũng như cải thiện độ bền liên kết của bề mặt sợi với vữa xi măng. Có thể kể tên một số phương pháp xử lý thường được sử dụng như phương pháp xử lý bề mặt (phương pháp vật lý hoặc hóa học) [19], [20], [21], [22], sừng hóa [19], [23], ngâm tẩm polymer [21], hoặc xử lý lai [19], [24]. Phương pháp xử lý bề mặt về cơ bản giúp tăng cường độ bám dính giữa sợi và vữa xi măng dẫn tới cường độ liên kết cao hơn.

Ferreira và cộng sự [19] đã sử dụng phương pháp xử lý kiềm bằng canxi hydroxit Ca(OH)<sub>2</sub> để xử lý bề mặt của sợi sisal và so sánh với các phương pháp xử lý khác. Kết quả là nồng độ kiềm thấp từ 0.5 đến 1%, chỉ loại bỏ được các cấu tử vô định hình, không

phân hủy sợi sisal và làm tăng độ kết tinh của nó. Do đó, phương pháp xử lý này đã cải thiện độ bền kéo và mô đun đàn hồi của sợi sisal cũng như độ bám dính bề mặt với vữa xi măng so với sợi sisal không được xử lý.

Sừng hóa là một phương pháp tốt để xử lý sợi tự nhiên bằng cách lặp lại các quá trình xử lý độ ẩm và nhiệt độ. Mục đích của quá trình này là thúc đẩy sự thay đổi cấu trúc vi sợi, dẫn đến sự ổn định về kích thước [23]. Quá trình làm nóng, làm khô và làm mát được thực hiện trên sợi tự nhiên cần thực hiện chậm rãi để tránh sốc nhiệt có thể xảy ra đối với sợi. Theo kết quả trong [19], phương pháp sừng hóa chưa thực sự thay đổi tính chất cơ học của sợi sisal và độ bền liên kết với nền gốc xi măng. Tuy nhiên, một cách xử lý lai giữa sừng hóa và ngâm tẩm polymer có tác động tích cực cao đối với sợi sisal.

## 2.3. Hàm lượng sợi tự nhiên trong bê tông cốt sợi



Hàm lượng sợi tự nhiên trong thành phần hỗn hợp bê tông cốt sợi phụ thuộc vào mục tiêu của việc bổ sung sợi tự nhiên. Để xác định giá trị tối ưu của tham số này cho từng loại xơ sợi tự nhiên, các nghiên cứu tham số đã được thực hiện bằng cách thay đổi hàm lượng sợi trong một phạm vi phù hợp. Việc lựa chọn các giá trị hàm lượng xơ sợi cho một nghiên cứu tham số phụ thuộc vào chiều dài, mặt cắt ngang và đặc tính của xơ tự nhiên. Thông thường, hàm lượng sợi có thể được tính theo phần trăm thể tích của bê tông hoặc được xác định theo phần trăm khối lượng của chất kết dính sử dụng.

Pedroso và Flores-Colen [25] đã thực hiện phân tích thống kê từ 55 nguồn dữ liệu thực nghiệm về ảnh hưởng của kích thước và hàm lượng theo thể tích của sợi tự nhiên đến khối lượng riêng, cường độ nén và độ dẫn nhiệt của bê tông cốt sợi tự nhiên.

Veigas và cộng sự [26] đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ phần trăm sợi (từ 0.8% đến 2.6%) đến các tính chất cơ học (độ bền nén, độ bền kéo đứt và độ bền uốn) của bê tông cốt sợi sisal không có và có xử lý bề mặt bằng một lớp polymer. Kết quả cho thấy, các mẫu có hàm lượng sợi 2.0% theo thể tích, thể hiện hiệu suất tốt hơn về độ bền uốn và độ bền kéo so với các mẫu khác, vì vậy, được chọn cho các nghiên cứu tiếp theo. Hiệu quả gia cường của 2.0 % theo thể tích sợi sisal nằm trong khoảng từ 1.2 đến 1.5 đối với ba loại mẫu: Không tráng phủ, phủ nhựa polyester và phủ nhựa shellac.

### 3. Nghiên cứu thực nghiệm

Trong phần này, nhóm tác giả sử dụng các loại vật liệu địa phương để làm cốt liệu cho bê tông cốt sợi tự nhiên. Với các thành phần hỗn hợp cho bê tông là các loại cát địa phương có đường kính tối đa 2.5 mm được sử dụng là cốt liệu chính, do đó, có thể coi nó

là một loại bê tông hạt mịn (BTHM). Bê tông này được bổ sung thêm một lượng theo tỷ lệ các loại sợi tự nhiên (sợi xơ dừa và sợi đay) để gia tăng các độ bền kéo của bê tông.

#### 3.1. Vật liệu sử dụng

Các vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu là vật liệu địa phương nhằm tận dụng tối đa để ứng dụng vào các công trình:

- Cát tự nhiên có đường kính  $D_{max} = 2.5$  mm (được sàng qua lỗ 2.5 mm), có thành phần cấp phối được xác định theo Tiêu chuẩn TCVN 7572-2:2006 [27], thông qua các lỗ sàng 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.315 – 0.14 mm. Kết quả lượng lọt sàng của cát tự nhiên được giới thiệu trong [Bảng 2](#);

- Xi măng PC40: Sử dụng loại xi măng poóc lăng phổ biến ở địa phương (thương hiệu Bút Sơn) được kiểm nghiệm cơ học theo Tiêu chuẩn TCVN 6260: 2009 [28];

- Thành phần hóa học và khoáng vật của xi măng PC40 được giới thiệu trong [Bảng 3](#);

- Sợi tự nhiên được sử dụng trong nghiên cứu này với hai loại là sợi xơ dừa và sợi đay. Đây là hai loại sợi tự nhiên tương đối phổ biến ở Việt Nam. Sợi tự nhiên được xử lý bằng phương pháp sùng hóa và cắt thành sợi nhỏ có chiều dài từ 2 đến 3 cm để trộn với hỗn hợp BTHM ([Hình 3](#)). Các tính chất cơ học của sợi được khảo sát và giới thiệu trong [Bảng 4](#);

- Tro bay Phả Lại loại F: Một lượng vừa đủ tro bay của nhà máy nhiệt điện Phả Lại (loại F) được bổ sung vào thành phần bê tông để tăng độ đặc chắc cho bê tông ([Hình 2](#));

- Phụ gia siêu dẻo: Được sử dụng để tăng tính công tác cho bê tông, với dạng bột giúp dễ dàng bảo quản trong điều kiện thi công thực tế, có mã sản phẩm là Polycarbonxylate R-209 ([Hình 2](#)).

**Bảng 2.** Thành phần hạt của cát tự nhiên  $D_{max} = 2.5$  mm.

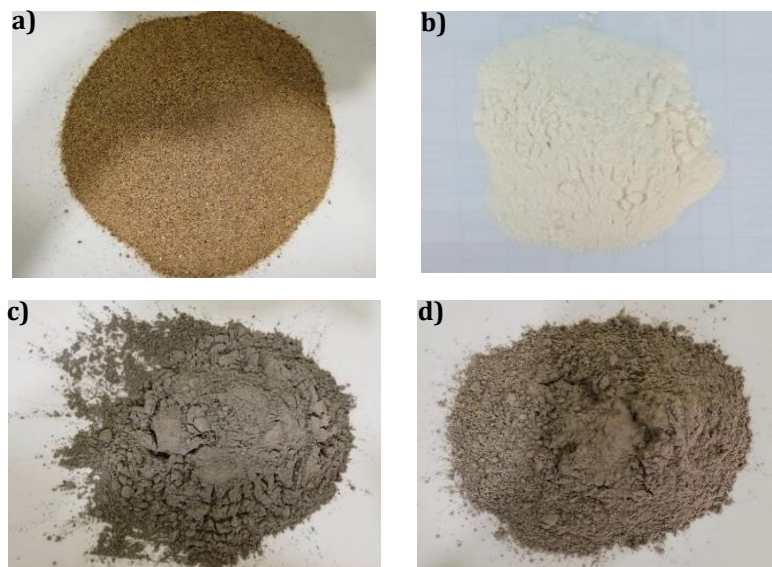
Kích thước lỗ sàng (mm)	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14	< 0.14
Lượng sót tích lũy trên sàng (% khối lượng)	0	12.36	33.25	54.17	85.79	100
Lượng lọt sàng (% khối lượng)	100	87.64	66.75	45.83	14.11	0

**Bảng 3.** Thành phần hóa học và khoáng vật của xi măng Bút Sơn PC40.

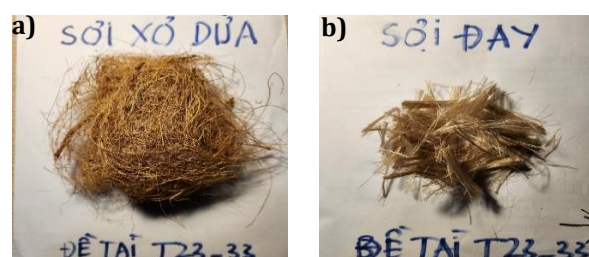
Thành phần hóa học (%)								
Silica	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO tự do
21.65	5.25	3.42	65.0	0.06	1.80	0.25	0.72	0.125
Thành phần khoáng vật (%)								
C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF		
51.74		24.20		8.16		10.35		

**Bảng 4.** Tính chất cơ học của một số loại sợi tự nhiên được sử dụng trong nghiên cứu.

Phân loại	Trọng lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Mô đun đàn hồi (GPa)	Cường độ kéo (MPa)	Biến dạng dài (%)
Sợi xơ dừa	1.2	4 – 6	150 – 175	15 – 40
Sợi đay	1.45	20 – 30	400 – 800	1.5 – 1.9



**Hình 2.** Vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu. (a) Cát sông tự nhiên, (b) Polycarbonxylate R-209, (c) Tro bay Phá lại loại F, (d) Xi măng Bút Sơn PC40.



**Hình 3.** Sợi tự nhiên được sử dụng trong nghiên cứu. (a) Sợi xơ dừa trước khi cắt, (b) Sợi đay sau khi cắt nhỏ.

### 3.2. Chế tạo mẫu bê tông cốt sợi

#### 3.2.1. Thành phần bê tông cốt sợi

Thành phần cấp phối của bê tông cốt sợi tự nhiên được thiết kế dựa trên những nghiên cứu trước đây [29], [30], đảm bảo độ đặc chắc cao nhất cho bê tông. Tỷ lệ N/X được lựa chọn là 0.35. Để đánh giá được ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi, các hàm lượng sợi theo khối lượng xi măng được sử dụng là 1%, 1.5%, và 2%. Thành phần cấp phối được giới thiệu trong **Bảng 5**.

**Bảng 5.** Thành phần cấp phối bê tông cốt sợi.

<b>Bê tông cốt sợi tự nhiên</b>	
Cát tự nhiên (kg/m <sup>3</sup> )	1676.39
Xi măng (kg/m <sup>3</sup> )	668.99
Tro bay Phả Lại loại F (kg/m <sup>3</sup> )	112
Phụ gia dẻo Sika Polycarboxylate R-209 (kg/m <sup>3</sup> )	4.34
Sợi tự nhiên đay và xơ dừa (% theo khối lượng xi măng)	1%, 1.5%, 2%
Nước (kg/m <sup>3</sup> )	234.18
Tỷ số N/X	0.35

#### 3.2.2. Chế tạo mẫu

Để tạo ra hỗn hợp bê tông hạt mịn có độ đồng nhất cao và tính công tác phù hợp với biện pháp thi công, cần thiết phải sử dụng các máy trộn cưỡng bức thông thường có bộ điều chỉnh tốc độ trộn. Trước khi tiến hành trộn cần vệ sinh máy trộn để không lẫn tạp chất. Quy trình chế tạo bê tông hạt mịn được tiến hành sau đó gồm hai pha cơ bản như sau:

(i) Pha 1: Trộn khô cốt liệu cát trong vòng 1 phút. Tiếp tục thêm hỗn hợp xi măng và trộn tiếp trong vòng 1 phút. Tiến hành làm toại mỏng các sợi tự nhiên bằng tay và rải đều lên hỗn hợp khô cùng với phụ gia siêu dẻo dạng bột và trộn trong vòng 1 phút;

(ii) Pha 2: Cho 70% lượng nước cần thiết vào hỗn hợp đã trộn ở pha 1, trộn trong 3 phút cho đến khi chuyển sang trạng thái dẻo. Bổ sung thêm 30% lượng nước một cách từ từ và quay với tốc độ nhanh trong khoảng 5 phút để hỗn hợp đạt được tính công tác theo yêu cầu. Tổng thời gian trộn khoảng 10 phút.

Thực hiện chế tạo các tổ mẫu, 03 mẫu/tổ mẫu hình lăng trụ kích thước 40 x 40 x 160 mm cho mẫu bê tông đối chứng và mỗi bê tông cốt sợi có hàm lượng sợi tự nhiên lần lượt là 1%, 1.5% và 2% khối lượng chất kết dính (xi măng) để xác định cường độ kéo uốn và cường độ chịu nén. Tiến hành chế tạo 04 tổ mẫu, 02 mẫu/tổ mẫu hình trụ tròn kích thước tiêu chuẩn 150 x 300 mm để so sánh với kết quả cường độ chịu nén thu được từ thí nghiệm đối với mẫu 40 x 40 x 160 mm và xác định mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi tự nhiên. Các mẫu thí nghiệm sau khi tháo ván khuôn được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn (t = 27+2°C) đến tuổi thí nghiệm 28 ngày.

#### 3.3. Tiến hành thí nghiệm

Thiết bị được sử dụng để tiến hành thí nghiệm là máy kéo nén vạn năng sức tải 2000 KN, bộ gối uốn và nén mẫu bê tông tại phòng thí nghiệm. Đối với các mẫu thí nghiệm kích thước 40 x 40 x 160 mm, thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn được thực hiện trước, các thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được thực hiện trên hai nửa mẫu thu được từ thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn.

Đối với mẫu hình trụ 150 x 300 mm, chọn thang lực thích hợp của máy để nén tải trọng phá hoại trong khoảng 20 – 80% tải trọng cực đại của thang lực nén đã chọn. Không nén mẫu bê tông ngoài thang lực trên. Đặt mẫu vào máy nén sao cho một mặt chịu nén đã chọn nằm đúng tâm thót dưới của máy. Vận hành máy, cho mặt trên của mẫu nhẹ nhàng tiếp cận với thót trên của máy. Tiếp đó, tăng

tải liên tục với vận tốc không đổi và bằng 6 daN/cm<sup>2</sup> trong một giây cho tới khi mẫu bị phá hoại. Dùng tốc độ gia tải nhỏ đối với các mẫu bê tông có cường độ thấp, tốc độ gia tải

lớn đối với các mẫu bê tông cường độ cao. Lực tối đa đạt được là giá trị tải trọng phá hoại mẫu.



**Hình 4.** Công tác chế tạo mẫu bê tông cốt sợi tự nhiên. (a) Máy trộn bê tông, (b) Bê tông hạt mịn sau khi trộn, (c) Mẫu 40 x 40 x 160 mm, (d) Mẫu hình trụ.

#### 4. Kết quả thực nghiệm

##### 4.1. Cường độ nén

Cường độ nén của bê tông cốt sợi tự nhiên được xác định theo các tiêu chuẩn TCVN 3118-1993 và các tiêu chuẩn trên thế giới khác như Tiêu chuẩn Đức DIN 1015-11:2007-05 [31] và Tiêu chuẩn châu Âu BS EN 196-1, 2005 [32]. Cường độ chịu nén xác định theo công thức:

$$R_n = \frac{P}{F} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Với,  $R_n$  là cường độ chịu nén, MPa;  $P$  là lực nén gây phá hoại mẫu, N;  $F$  là diện tích tiết diện chịu nén, mm<sup>2</sup>.

Trong nghiên cứu này sử dụng hai loại mẫu để xác định cường độ chịu nén, là nửa mẫu 40 x 40 x 160 mm sau khi bị gãy thành hai nửa trong thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn, và mẫu hình trụ 150 x 300 mm. Kết quả cường độ nén của mẫu bê tông cốt sợi tự nhiên theo các loại sợi và hàm lượng sợi được trình bày trong **Bảng 6**.

**Bảng 6.** Cường độ nén của bê tông cốt sợi với các hàm lượng sợi khác nhau.

Mẫu	Loại mẫu	Đối chứng (0%) MPa	Hàm lượng sợi 1% MPa	Hàm lượng sợi 1.5% MPa	Hàm lượng sợi 2% MPa
Bê tông cốt sợi dừa	Mẫu 40x40x160 mm	40.18	41.23	43.28	42.30
	Mẫu 150x300 mm	39.18	39.83	39.47	39.21
Bê tông cốt sợi đay	Mẫu 40x40x160 mm	40.18	42.68	44.56	43.34
	Mẫu 150x300 mm	39.18	41.64	42.16	41.79

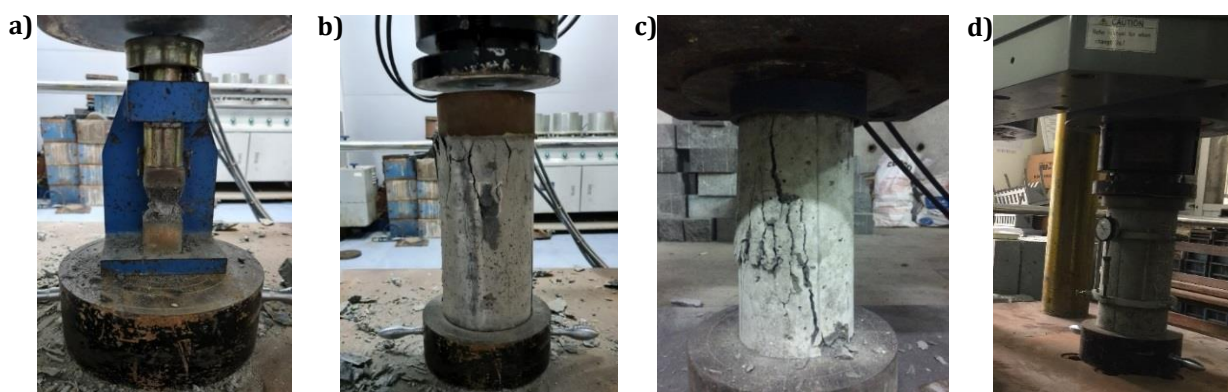


**Bảng 7.** Cường độ kéo uốn của bê tông cốt sợi với các hàm lượng sợi khác nhau.

Mẫu	Đối chứng (0%) (MPa)	Hàm lượng sợi 1% (MPa)	Hàm lượng sợi 1.5% (MPa)	Hàm lượng sợi 2% (MPa)
Bê tông cốt sợi dừa	9.27	9.51	10.21	9.93
Bê tông cốt sợi đay	9.27	10.54	11.38	10.98

**Bảng 8.** Mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi với các hàm lượng sợi khác nhau.

Mẫu	Đối chứng (0%) (GPa)	Hàm lượng sợi 1% (GPa)	Hàm lượng sợi 1.5% (GPa)	Hàm lượng sợi 2% (GPa)
BT cốt sợi dừa	30.59	30.15	29.98	29.64
BT cốt sợi đay	30.59	30.46	30.08	29.88



**Hình 5.** Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén. (a) Thí nghiệm nén trên mẫu 40 x 40 x 160 mm, (b) Thí nghiệm nén trên mẫu 150 x 300 mm, (c) Dạng phá hủy mẫu, (d) LVDT vòng đo biến dạng.

#### 4.2. Cường độ kéo uốn

Thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn được thực hiện trước. Các thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được thực hiện trên hai nửa mẫu thu được từ thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn. Cường độ kéo khi uốn của bê tông được tính theo công thức:

$$R_{ku} = 1,5 \frac{P.l}{bh^2} (MPa) \quad (2)$$

Trong đó,  $R_{ku}$  là cường độ chịu kéo khi uốn, MPa;  $P$  là lực uốn gây phá hoại mẫu, N;  $l$  là khoảng cách giữa hai gối tựa;  $b$  là chiều rộng tiết diện ngang của mẫu;  $h$  là chiều cao tiết diện ngang của mẫu. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo uốn của hai loại bê tông thí nghiệm được thể hiện ở **Bảng 7**.

#### 4.3. Mô đun đàn hồi

Mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi tự nhiên được xác định thông qua thí nghiệm

nén mẫu hình trụ 150 x 300 mm. Biến dạng của mẫu được đo bằng đồng hồ đo LVDT vòng, gắn trên mẫu như trong **Hình 5d**. Chỉ số đo được ghi lại và xử lý. Mô đun đàn hồi của các mẫu bê tông cốt sợi được thể hiện tại **Bảng 8**.

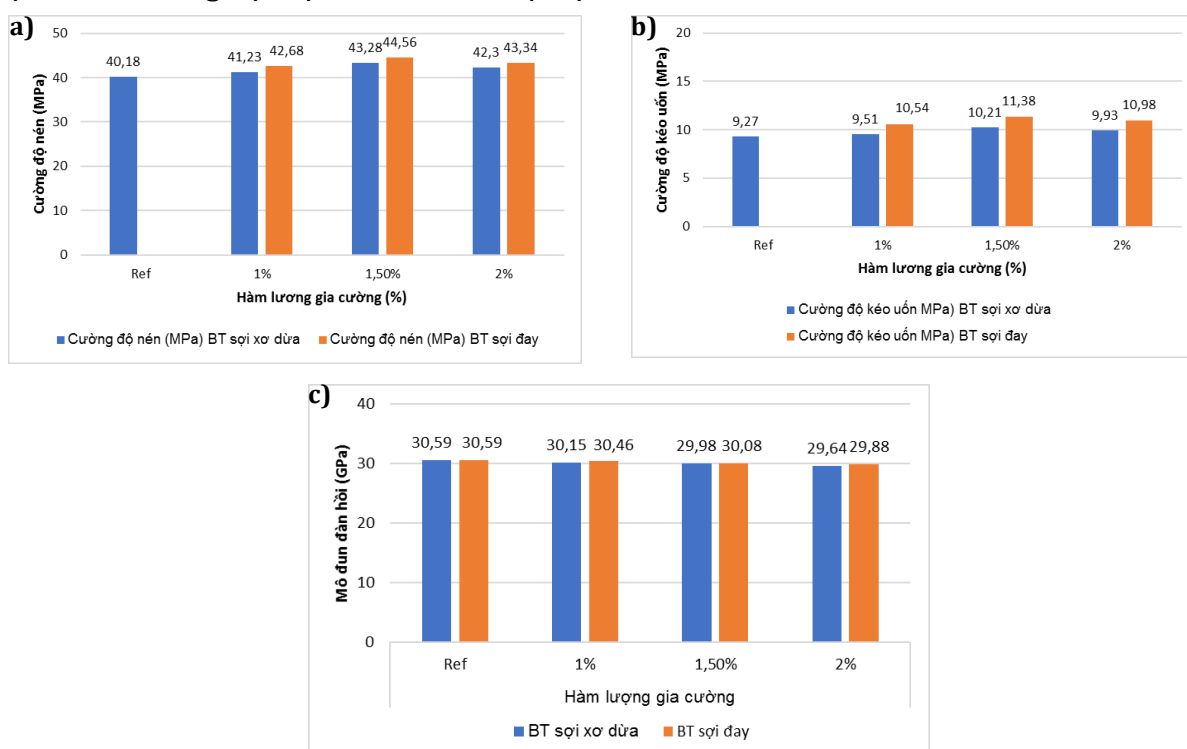
#### 4.4. Thảo luận

##### 4.4.1. Ảnh hưởng của loại sợi đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi tự nhiên

Ảnh hưởng của loại sợi được thể hiện trong **Hình 6**, là kết quả so sánh giữa bê tông cốt sợi dừa và sợi đay ở cùng một hàm lượng sợi gia cường như nhau. Có thể thấy rằng, sợi xơ dừa và sợi đay đều làm tăng cường độ của bê tông, và đạt giá trị tốt nhất ở hàm lượng gia cường 1.5% khối lượng xi măng. Kết quả này được giải thích do cường độ dính bám tốt giữa sợi đay và sợi xơ dừa với các gel C-H-S được hình thành trong quá trình ninh kết của

bê tông. Từ đó, hiệu ứng cầu sợi trong bê tông cốt sợi có ảnh hưởng tích cực với cường độ nén của bê tông. Vì bản thân sợi đay có cường độ cao hơn so với sợi dừa (cường độ kéo cao, độ cứng lớn, và biến dạng nhỏ), do đó, tạo nên một hiệu ứng tích cực đối với cường độ nén của bê tông cốt sợi. Hiệu quả gia cường tốt nhất ở hàm lượng gia cường 1.5% khối lượng xi măng là 7.72% đối với bê tông cốt sợi dừa và 10.90% đối với bê tông cốt sợi đay. Ảnh hưởng của loại sợi đến cường độ kéo uốn của bê tông cốt sợi rất rõ rệt so với cường độ chịu nén. Cả hai loại sợi

đều cho hiệu ứng tích cực với cường độ kéo uốn, tuy nhiên, theo mức độ, sợi đay hiệu quả hơn. Hiệu quả gia cường tốt nhất tại mức hàm lượng sợi là 1.5% khối lượng xi măng, đạt 10.01% với sợi dừa và 22.76 % với sợi đay. Có thể thấy rằng, hiệu ứng cầu sợi đã liên kết các thành phần C-H-S tạo thành một khối có khả năng chịu kéo uốn tốt hơn. Ảnh hưởng của loại sợi đến mô đun đàn hồi thuộc bê tông là tiêu cực và không đáng kể. Các giá trị thực nghiệm cho thấy mô đun đàn hồi đều giảm so với giá trị ban đầu.



**Hình 6.** Ảnh hưởng của loại sợi và hàm lượng gia cường đến cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông cốt sợi tự nhiên. (a) Đối với cường độ nén, (b) Đối với cường độ kéo uốn, (c) Đối với mô đun đàn hồi.

#### 4.4.2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi

Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi tự nhiên được trình bày trong Hình 6a, b và c. Kết quả cho thấy, hàm lượng sợi có ảnh hưởng khác nhau đến các đặc trưng cơ học. Thực tế, khi có một hàm lượng sợi nhất định trong bê tông sẽ tạo nên hiệu ứng cầu sợi và làm tăng cường độ của bê tông. Với hàm lượng sợi 1% và 1.5% so với khối lượng xi măng, cường độ của bê tông sợi dừa tăng lần lượt 2.61% và

7.72% khi nén, 2.59% và 10.14% khi kéo uốn. Đối với bê tông sợi đay, cường độ nén tăng 6.22% và 10.90%, cường độ kéo uốn tăng 13.70% và 22.76% tương ứng với hai mức hàm lượng sợi trên.

Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi quá nhiều, gây ảnh hưởng không tốt đến cấu trúc (độ đặc chắc) của bê tông. Ở hàm lượng sợi 2% so với khối lượng xi măng, cả cường độ nén và kéo uốn của bê tông đều giảm so với mẫu có hàm lượng sợi 1.5%. Hiệu quả gia cường

chỉ còn 5.27% và 7.12% lần lượt với cường độ nén và kéo uốn cho bê tông cốt sợi dừa, 7.86% và 18.45% cho bê tông cốt sợi đay.

## 5. Kết luận và kiến nghị

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu về vật liệu bê tông cốt sợi đay và sợi xơ dừa. Từ kết quả nghiên cứu, một vài kết luận và kiến nghị có thể rút ra như sau:

Thành phần cấp phối của bê tông với thành phần cốt liệu bao gồm cát tự nhiên có đường kính  $D_{max} = 2.5$  mm, bổ sung tro bay của nhà máy nhiệt điện Phả Lại và phụ gia siêu dẻo, kết hợp với chất kết dính là xi măng PC 40 tạo nên cường độ nén trung bình là 40.18 MPa, kéo uốn trung bình là 9.27 MPa và mô đun đàn hồi 30.59 GPa. Bê tông cốt sợi tự nhiên này đủ cường độ để có thể sử dụng trong các công trình hạ tầng, mương, kênh thoát nước ở các vùng nông thôn mới.

Khi bổ sung các loại sợi đay và xơ dừa vào thành phần cấp phối với hàm lượng 1%, 1.5%, và 2% khối lượng xi măng, các đặc trưng cơ học của bê tông thay đổi theo xu hướng khác nhau. Sợi đay cho hiệu ứng tích cực hơn do hai yếu tố là cường độ kéo và mô đun đàn hồi tốt hơn so với sợi dừa, và cường độ dính bám tốt hơn với các gel C-S-H được hình thành trong quá trình ninh kết của vữa xi măng. Từ đó, có thể thấy hiệu ứng cầu sợi được hình thành hiệu quả hơn. Các đặc trưng cơ học của bê tông cốt sợi đay là tốt hơn so với bê tông cốt sợi dừa.

Ảnh hưởng của hàm lượng sợi tự nhiên đến cường độ của bê tông cũng được khảo sát đến. Kết quả cho thấy, mặc dù, xu hướng không rõ ràng nhưng với hàm lượng sợi 1.5% là giá trị phù hợp để thực hiện việc chế tạo các tấm bê tông gia cố. Hiệu quả gia cường tốt nhất là 22.76 % với cường độ kéo uốn của bê tông cốt sợi đay.

Đối với bê tông cốt sợi tự nhiên cần có thêm các nghiên cứu xác định tính công tác, khảo sát ảnh hưởng của các nhân tố môi trường và thời gian đến cường độ của bê tông cũng như sự phân hủy của các sợi tự nhiên trong bê tông. Nhóm tác giả sẽ xem xét thực hiện trong những nghiên cứu tiếp theo.

## Đóng góp của các tác giả trong bài báo

**Trần Mạnh Tiến:** Viết – bản thảo gốc, Phản hồi ý kiến phản biện. **Đỗ Ngọc Tú:** Phương pháp thực nghiệm, Phân tích dữ liệu.

## Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

## Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Mở - Địa chất trong đề tài mã số T23-33: “Nghiên cứu chế tạo một số loại bê tông cốt sợi tự nhiên phục vụ công tác phát triển nông thôn mới ở Nghệ An”

---

Tran Manh Tien\*. *Department of Mechanisms of Materials, Hanoi University of Mining and Geology.*  
Do Ngoc Tu. *Department of Mechanisms of Materials, Hanoi University of Mining and Geology*  
[\\*tranmanhtien@humg.edu.vn](mailto:tranmanhtien@humg.edu.vn)

---

## Tài liệu tham khảo

- [1] H. Ma, C. Yi, and C. Wu, “Review and outlook on durability of engineered cementitious composite (ECC),” *Construction and Building Materials*, vol. 287, 2021, Art. no. 122719, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2021.122719](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122719).

- [2] A. Al-Fakih, B. S. Mohammed, and M. S. Liew, "On rubberized engineered cementitious composites (R-ECC): A review of the constituent material," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, Jun. 2021, Art. no. e00536, doi: [10.1016/j.cscm.2021.e00536](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00536).
- [3] J. Chen and N. Chouw, "Nonlinear flexural behaviour of flax FRP double tube confined coconut fibre reinforced concrete," *Materials & Design*, vol. 93, pp. 247–254, Mar. 2016, doi: [10.1016/j.matdes.2015.12.069](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.12.069).
- [4] N. Kouta, J. Saliba, and N. Saiyouri, "Fracture behavior of flax fibers reinforced earth concrete," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 241, Jan. 2021, Art. no. 107378, doi: [10.1016/j.engfracmech.2020.107378](https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107378).
- [5] B. C. Thomas and Y. S. Jose, "A study on characteristics of sisal fiber and its performance in fiber reinforced concrete," *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, part 1, pp. 1238-1242, Jul. 2021, doi: [10.1016/j.matpr.2021.07.312](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.312).
- [6] W. Wang and N. Chouw, "Experimental and theoretical studies of flax FRP strengthened coconut fibre reinforced concrete slabs under impact loadings," *Construction and Building Materials*, vol. 171, pp. 546–557, 2018, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.03.149](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.149).
- [7] P. R. L. Lima, J. A. O. Barros, A. B. Roque, C. M. A. Fontes, and J. M. F. Lima, "Short sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs," *Construction and Building Materials*, vol. 187, pp. 620–634, 2018, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.07.184](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.184).
- [8] A. Hallonet, "Développement et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de lin : application au renforcement de structures en béton par collage externe," Ph.D. dissertation, *Composites pour la Construction*, Université de Lyon, Lyon, France, 2016.
- [9] M. T. Tran, "Caractérisation expérimentale et modélisation numérique du comportement thermomécanique à haute température des matériaux composites renforcés par des fibres," Ph.D. dissertation, *Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction*, Université de Lyon, Lyon, France, 2019.
- [10] F. de A. Silva et al., "Effects of elevated temperatures on the interface properties of carbon textile-reinforced concrete," *Cement and Concrete Composites*, vol. 48, pp. 26–34, Apr. 2014, doi: [10.1016/j.cemconcomp.2014.01.007](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.01.007).
- [11] M. Lu et al., "Improved interfacial strength of SiO<sub>2</sub> coated carbon fiber in cement matrix," *Cement and Concrete Composites*, vol. 91, pp. 21–28, Aug. 2018, doi: [10.1016/j.cemconcomp.2018.04.007](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.007).
- [12] S. R. Ferreira, E. Martinelli, M. Pepe, F. de Andrade Silva, and R. D. Toledo Filho, "Inverse identification of the bond behavior for jute fibers in cementitious matrix," *Composites Part B: Engineering*, vol. 95, pp. 440-452, 2016, doi: [10.1016/j.compositesb.2016.03.097](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.03.097).
- [13] S. R. Ferreira, F. de A. Silva, P. R. L. Lima, and R. D. Toledo Filho, "Effect of fiber treatments on the sisal fiber properties and fiber-matrix bond in cement based systems," *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 730-740, 2015, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120).
- [14] S. R. Ferreira, M. Pepe, E. Martinelli, F. de Andrade Silva, and R. D. Toledo Filho, "Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices," *Composites Part B: Engineering*, vol. 140, pp. 183-196, 2018, doi: [10.1016/j.compositesb.2017.12.016](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.016).
- [15] Đ. V. Thanh, L. T. Quỳnh và N. T. V. Hoa "Bê tông độn rơm-Phương pháp quản lý chất thải nông nghiệp bền vững," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, số 2, tr. 135-141, 2019.
- [16] C. L. N. Hạnh, N. T. Giang và N. T. Nhiều, "Phương pháp gia công hầm ủ biogas từ sợi xơ dừa," *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, số 37, tr. 1–7, 2015.
- [17] G. Ferrara, C. Caggegi, E. Martinelli, and A. Gabor, "Shear capacity of masonry walls externally strengthened using Flax-TRM composite systems: experimental tests and comparative assessment," *Construction and Building Materials*, vol. 261, 2020 Art. no. 120490, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2020.120490](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120490).
- [18] A. Adesina, "28 - Performance of cementitious composites incorporating coconut fibers as reinforcement," in *Advances in Bio-Based Fiber*, S. M. Rangappa, M. Puttegowda, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, and S. Gorbatyuk, Eds., Sawston, UK: Woodhead Publishing, 2022, pp. 645–660.
- [19] S. R. Ferreira, F. de A. Silva, P. R. L. Lima, and R. D. Toledo Filho, "Effect of fiber treatments on the



- sisal fiber properties and fiber–matrix bond in cement based systems,” *Construction and Building Materials*, vol. 101, part 1, pp. 730-740, 2015, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120).
- [20] M. S. Tuğluca et al., “Characterization of chemically treated waste wood fiber and its potential application in cementitious composites,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 137, Mar. 2023, Art. no. 104938, doi: [10.1016/j.cemconcomp.2023.104938](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.104938).
- [21] A. Cláudia dos Santos, F. Gatti Cardoso, R. José da Silva, H. de Fátima Gorgulho, and T. Hallak Panzera, “Modification of short sugarcane bagasse fibres for application in cementitious composites: A statistical approach to mechanical and physical properties,” *Construction and Building Materials*, vol. 353, 2022, Art. no. 129072, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2022.129072](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129072).
- [22] L. Yan, N. Chouw, L. Huang, and B. Kasal, “Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of coir fibres, coir fibre reinforced-polymer composites and reinforced-cementitious composites,” *Construction and Building Materials*, vol. 112, pp. 168-182, 2016, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2016.02.182](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.182).
- [23] S. R. Ferreira, P. R. L. Lima, F. A. Silva, and R. D. Toledo Filho, “Effect of sisal fiber hornification on the adhesion with portland cement matrices,” *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 17, pp. 1024-1034, 2012, doi: [10.1590/S1517-70762012000200008](https://doi.org/10.1590/S1517-70762012000200008).
- [24] K. F. Adekunle, “Surface Treatments of Natural Fibres—A Review: Part 1,” *Open Journal of Polymer Chemistry*, vol. 5, no. 3, pp. 41-16, Aug. 2015, doi: [10.4236/ojpcchem.2015.53005](https://doi.org/10.4236/ojpcchem.2015.53005).
- [25] M. Pedroso and I. Flores-Colen, “The influence of dimension and content of natural organic fibrous materials on the multi-performance of cement-based composites: A statistical approach,” *Construction and Building Materials*, vol. 231, 2020, Art. 117175, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2019.117175](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117175).
- [26] M. G. Veigas, M. Najimi, and B. Shafei, “Cementitious composites made with natural fibers: Investigation of uncoated and coated sisal fibers,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, Jun. 2022, Art. no. e00788, doi: [10.1016/j.cscm.2021.e00788](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00788).
- [27] *Tiêu chuẩn Việt Nam: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Phần 2: Xác định thành phần hạt*, TCVN-7572-2:2006, 2006.
- [28] *Tiêu chuẩn Quốc gia: Xi măng Poóc lăng hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật*, TCVN-6260:2009, 2009.
- [29] N. H. Cường, N. Đ. Quang, and V. V. Hiệp, “Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử dính bám giữa lưới sợi các-bon với các loại bê tông hạt mịn sử dụng cát quartz và cát biển,” *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, số 59, 2017.
- [30] N. Đ. Quang và cộng sự, “Nghiên cứu ứng dụng bê tông cốt lưới dệt trong sửa chữa, tăng cường kết cấu bê tông cốt thép ở vùng ven biển và hải đảo,” Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, Việt Nam, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ (Bộ Giáo dục và Đào tạo), B2018-GHA-16, 2019.
- [31] *Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*, DIN EN 1015-11:2007-05, German Standard, Beuth Verlag GmbH, 2007.
- [32] *Methods of testing cement-Determination of strength*, EN 196-1: 2005, European Standard, 2005.