

NGHIÊN CỨU BAN ĐẦU VỀ KHẢ NĂNG SỬ DỤNG SỢI BASALT THAY THẾ SỢI THỦY TINH ỨNG DỤNG TRONG ĐÓNG TÀU COMPOSITE

INVESTIGATING THE POTENTIAL OF BASALT FIBER AS A SUBSTITUTE FOR GLASS FIBER IN COMPOSITE SHIPBUILDING APPLICATIONS

Trần Doãn Hùng¹, Mai Đình Nam²

1. Bộ môn Chế tạo máy, Khoa Cơ khí, Trường Đại Học Nha Trang

2. Công ty TNHH Hải Nam Furniture, 05 Mai Thị Đồng, Nha Trang, Khánh Hòa

Tác giả liên hệ: Trần Doãn Hùng; Email: hungtd@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/04/2025; Ngày phân biên thông qua: 16/10/2025 ; Ngày duyệt đăng: 25/12/2025

Tóm tắt

Trong nội dung bài báo này, kết quả nghiên cứu các tính chất cơ bản của vật liệu composite trên nền vật liệu Polyester không no, Reversol P9509NW, gia cường xấp xỉ 57 % về khối lượng từ vải sợi Basalt Fabric Type TBK-100 được cung cấp bởi Basfiber®, Kamenny Vek, Russia do đối tác nghiên cứu từ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Liberec, Cộng hòa Séc hỗ trợ sẽ được trình bày. Kết quả về độ bền kéo, độ bền uốn, độ mài mòn và độ hấp thụ nước được dùng để so sánh đối chứng với các tính chất của vật liệu composite gia cường bằng 01 chủng loại sợi thủy tinh (khoảng 55% về khối lượng) đang được sử dụng trong hoạt động đóng tàu, đồng thời viện dẫn với yêu cầu kỹ thuật của Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam QCVN 56:2013/BGTVT về phân cấp và đóng tàu làm bằng chất dẻo cốt sợi thủy tinh. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy vật liệu composite gia cường bằng sợi basalt được chọn có cơ tính xấp xỉ bằng hoặc tốt hơn về độ bền kéo và độ bền uốn, và tương đương về độ mài mòn so với vật liệu composite gia cường bằng sợi thủy tinh. Từ đó cho thấy tiềm năng sử dụng sợi basalt thay thế sợi thủy tinh ứng dụng trong đóng tàu composite, hướng tới phát triển bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: vật liệu composite, sợi basalt, sợi thủy tinh, nhựa polyester không no.

Abstract

In this paper, the essential properties of composite based on unsaturated Polyester matrix, Reversol P9509NW, reinforced by Basalt Fabric Type TBK-100 around 57% (wt%) from Basfiber®, Kamenny Vek Advanced Basalt Fiber company (Russia) which was donated by research cooperator – Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Liberec, Czech Republic. The tensile, flexural, abrasion and water absorption properties were in comparison with the properties of typical composite reinforced by one kind of glass fiber (55% by weight) which is used in shipbuilding, in accordance to QCVN 56:2013/BGTVT at once. The results show that the mechanical properties of composite reinforced by the basalt fiber are virtually identical or better than those of glass fiber; the water absorption properties are almost the same. Based on the preliminary results, we can temporarily conclude that basalt fibers are potential alternative to glass fibers in shipbuilding, moving towards sustainable development in Viet Nam.

Keywords: composite material, basalt fabric, glass fiber, unsaturated polyester resin.

1. MỞ ĐẦU

Vật liệu composite nói chung và vật liệu composite gia cường bằng cốt sợi (fiber-reinforced composites - FRP) nói riêng đóng vai trò vô cùng quan trọng trong đời sống xã hội, đặc biệt trong công nghiệp đóng tàu trên thế giới. Ở Việt Nam FRP được dùng để chế tạo vỏ tàu cỡ nhỏ và tàu khai thác thủy sản có

ý nghĩa thực tiễn vô cùng to lớn. Với hơn 3600 km bờ biển, Việt Nam có tiềm năng lý tưởng để phát triển ngành kinh tế biển, ngành đã và đang đem lại hiệu quả kinh tế cao về đánh bắt, nuôi trồng thủy sản xuất khẩu và du lịch cho nước nhà. Vật liệu composite có những ưu điểm nổi trội mà vật liệu truyền thống như thép, gỗ...

không có được như: định hướng phương, chiều tối ưu trong khả năng chịu tải, khả năng chống ăn mòn cao, ít bị hà hà bám bẩn, bảo vệ nguồn gỗ đang dần cạn kiệt, dễ dàng bảo dưỡng [1].

Hiện nay, vật liệu gia cường cho vật liệu composite phổ biến là sợi thủy tinh, loại sợi được chế tạo từ các loại oxyt vô cơ chủ yếu như Silica (SiO_2), Oxide kiềm (Alkali Oxides: Na_2CO_3 và K_2CO_3), Oxide kiềm thổ (Alkaline Earth Oxides: CaCO_3 , MgO)... và nhiều phụ gia để điều chỉnh tính chất như: F, TiO_2 , ZrO_2 ... Tuy nhiên, vỏ tàu chế tạo bằng vật liệu FRP bên cạnh những ưu điểm vượt trội, chúng cũng được đánh giá là tồn tại nhiều hạn chế và đặc biệt nhất là vật liệu cốt sợi thủy tinh khá độc hại ảnh hưởng đến môi trường [2] và sức khỏe công nhân [3]. Theo các kết quả nghiên cứu từ Hiệp hội về Phổi của Mỹ, bụi sợi thủy tinh có tác hại lớn đến hệ thống tuần hoàn, mắt và da, đặc biệt chúng là tác nhân có thể gây ung thư phổi [4].

Trong những năm gần đây, sợi basalt đang thu hút được rất nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm. So với sợi thủy tinh, sợi basalt có nguồn gốc đến từ đá basalt tự nhiên, quy trình tạo sợi đơn giản hơn, sử dụng ít hoá chất hơn nên được đánh giá là thân thiện hơn với môi trường [5],[6]. Bên cạnh đó theo các nghiên cứu mới được công bố, sợi basalt có tính chất tốt hơn so với sợi thủy tinh về tính chất cơ học (như độ cứng, khả năng chịu kéo), bền với hóa chất, nhiệt độ và đặc biệt là có giá thành tương đối hợp lý [7],[8]. Mặc dù vậy, qua tìm kiếm từ nhiều nguồn thông tin thì hiện nay các công trình nghiên cứu liên quan đến việc sử dụng sợi basalt làm vật liệu gia cường cho vật liệu composite làm vỏ tàu hoặc các công trình khoa học khác có liên quan ở nước ta vẫn chưa được tìm thấy.

Vì vậy, việc nghiên cứu khả năng sử dụng sợi basalt như là vật liệu gia cường cho composite phục vụ trong ngành công nghiệp tàu thủy, nhằm đa dạng hoá, nâng cao chất lượng của vật liệu làm thân vỏ tàu giảm thiểu

tác hại lâu dài đến sức khỏe công nhân và thân thiện hơn môi trường là hết sức cần thiết. Bên cạnh đó, trong công cuộc công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước, nhiều lĩnh vực công nghệ được chú trọng trong đó có công nghệ vật liệu mới, nên nghiên cứu này sẽ góp phần mở rộng nguồn nguyên liệu gia cường composite, nâng cao chất lượng của vật liệu nhằm thu hút nhiều ứng dụng của vật liệu tiềm năng này vào các ngành công nghiệp khác. Trong nghiên cứu này, những tính chất cơ bản như độ bền kéo, độ bền uốn, độ mài mòn và độ hấp thụ nước của vật liệu composite gia cường bằng vải sợi basalt trên nền vật liệu Polyester không no được xác định và so sánh với các tính chất của vật liệu composite gia cường bằng sợi thủy tinh trên nền vật liệu Polyester không no - vật liệu được sử dụng rộng rãi trong ngành đóng tàu tại Việt Nam hiện nay; đồng thời đối sánh với yêu cầu của tiêu chuẩn kỹ thuật Việt Nam về vật liệu composite chế tạo tàu thủy [9], từ đó rút ra kết luận về khả năng có thể sử dụng sợi basalt thay thế một phần hoặc hoàn toàn sợi thủy tinh ứng dụng trong đóng tàu composite.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Vật liệu gia cường được sử dụng là sợi basalt Fabric Type TBK-100 được cung cấp bởi Basfiber®, Kamenny Vek (Russia), do đối tác nghiên cứu từ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Liberec, Cộng hòa Séc hỗ trợ với các thông tin cơ bản được trình bày ở Bảng 1 [10], sợi thủy tinh W120 có trọng lượng 120 g/m² xuất xứ từ Trung quốc; Nhựa nền là nhựa Polyester không no loại Reversol P9509NW xuất xứ từ Hàn Quốc - loại nhựa được sử dụng rộng rãi trong đóng composite quy mô công nghiệp tại Việt Nam; Hóa chất xúc tác đóng rắn MEPOXE và chất chống dính wax. Các vật liệu W120, P9509NW, MEPOXE và chống dính wax được hỗ trợ từ Viện nghiên cứu chế tạo tàu thủy - Trường Đại học Nha Trang (Uninship).

Bảng 1. Tính chất của vật liệu gia cường basalt Fabric Type TBK-100 [10]

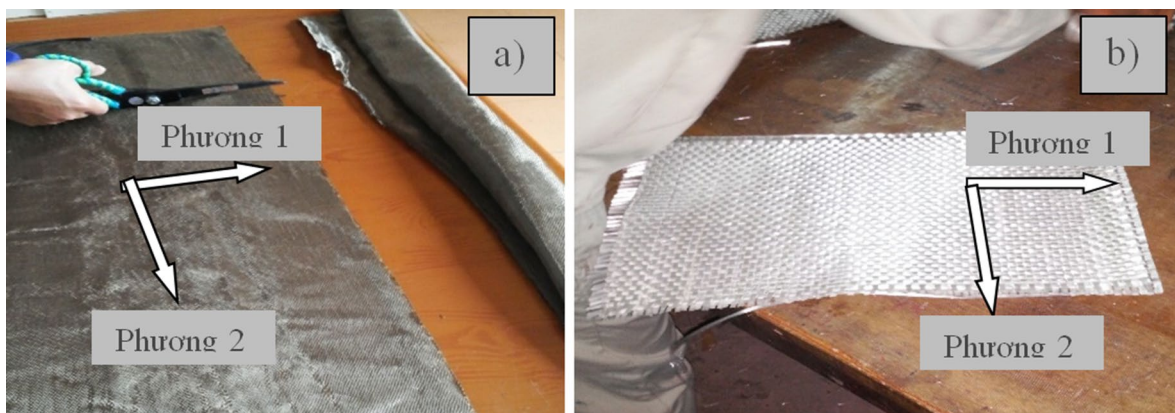
Tính chất		Đơn vị đo	Giá trị Định mức
Sợi basalt đơn			
Khối lượng riêng (Mật độ)		g/cm ³	2.67
Khoảng nhiệt độ khai thác (Sử dụng)		°C	-250 ÷ +650
Hệ số giãn nở nhiệt dài (tuyến tính)		1/°C	35 ÷ 10 ⁻⁷
Đường kính monofilament (sợi đơn)		µm	10-13
Độ ẩm		wt %	< 0.5
Hàm lượng chất làm bền (Sizing)		wt %	≥ 0.4
Độ bền kéo đứt riêng của sợi xoắn kép (**)		mN/tex	> 650
Vải dệt			
Kiểu dệt			Vân điểm/trơn (Plain)
Trọng lượng		g/m ²	210 ± 20
Khô (Chiều rộng)		cm	100 ± 1
Mật độ sợi	Sợi dọc (Warp)	F/100 mm	100 ± 1
	Sợi ngang (Weft)	F/100 mm	95 ± 1
Độ bền kéo đứt	Sợi dọc (Warp)	N	> 784
	Sợi ngang (Weft)	N	> 784
Kiểu mép biên			Khâu/May viền (Stitched)
Độ dày		mm	0.19 ± 0.04

2.2. Phương pháp tiến hành thực nghiệm

2.2.1. Phương pháp chế tạo mẫu

Vải sợi basalt và vải sợi thủy tinh được định phương phục vụ cho thí nghiệm, bao gồm: Phương 1 là phương theo chiều dài của tấm vải (phương cuộn vải) và phương 2 là phương theo

chiều ngang (chiều rộng của tấm vải) - Hình 1. Tổ hợp mẫu được chế tạo bao gồm nhựa nền Reversol P9509NW được gia cường bằng sợi basalt phương 1 và phương 2; sợi thủy tinh W120 phương 2 (vải sợi thủy tinh phương 1 và phương 2 tương tự nhau).



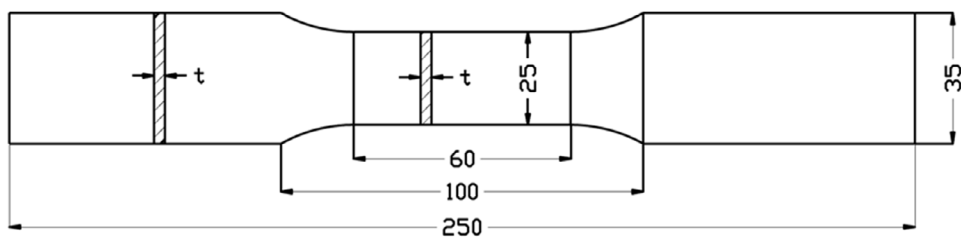
Hình 1. Vải sợi basalt (a) và vải sợi thủy tinh (b)

Với 02 chiều dày yêu cầu cho tấm để chế tạo mẫu kiểm nghiệm độ bền kéo, độ bền uốn, độ mài mòn và độ hút nước là $t > 3,0$ mm và chiều dày tấm để chế tạo mẫu kiểm nghiệm độ bền nén là $t > 10,0$ mm, 02 tổ hợp vật liệu composite được chế tạo, bao gồm: Tổ hợp với 18 lớp vải sợi basalt, 28 lớp vải sợi thủy tinh cho chiều dày $t > 3,0$ mm và tổ hợp với 66 lớp vải sợi basalt, 102 lớp vải sợi thủy tinh cho chiều dày $t > 10,0$ mm. Từ tỉ lệ % khối lượng mong muốn giữa sợi/nhựa nền khoảng 60/40, khối lượng nhựa nền được cân để đảm bảo tỉ lệ này. Bề mặt khuôn được làm sạch và đánh bóng, bôi chất chống dính lên mặt khuôn, pha chất xúc tác đông rắn vào nhựa và bắt đầu gia công mẫu composite bằng phương pháp

thủ công (hand lay-up). Sau khi xếp hết sợi, để mẫu khô trong vòng 24 giờ, sau đó tách khuôn cân định lượng để xác định lại tỉ lệ sợi/nhựa của sản phẩm. Tiếp theo các tổ hợp mẫu được gia công cơ học theo tiêu chuẩn quy định tương ứng cho thực nghiệm xác định các tính chất yêu cầu.

2.2.2. Xác định độ bền kéo

Quy cách mẫu để xác định độ bền kéo của vật liệu được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 4501-4:2009 (ISO 527-4:1997) [11]. Mẫu thử nghiệm được gia công theo tiêu chuẩn, có kích thước được thể hiện trên Hình 2 với chiều dày mẫu được chọn $t > 3$ mm. Tổ hợp 06 mẫu được chuẩn bị sau gia công cơ khí được thể hiện trên Hình 3a.



Hình 2. Mẫu thử kéo vật liệu



Hình 3. Mẫu thử uốn và thử kéo

Độ bền kéo (σ_k) được kiểm nghiệm trên máy kiểm nghiệm cơ tính vạn năng HOUNSFIELD Model H50KS (Hình 4). Tốc độ gia tải của máy là 1,0 mm/min. Giãn kế (Extensometer) được sử dụng để đo độ giãn dài, chiều dài đo (Gauge length) là 50 mm. Thí nghiệm được thực hiện ở điều kiện phòng (nhiệt độ 23°C - độ ẩm 70 ±2%).

Độ bền kéo được xác định theo công thức:

$$\sigma_k = \frac{P}{bd} \quad (1)$$

Trong đó:

P - lực tác dụng lớn nhất khi mẫu bị phá huỷ (N)

b, d: chiều rộng và chiều dày của mẫu tại vùng đo (mm).

Mô đun đàn hồi kéo (M_k) của vật liệu mẫu thử được máy đo tự động và chọn đo trên một

đoạn tuyến tính của đường cong ứng suất - biến dạng của mẫu tương ứng.

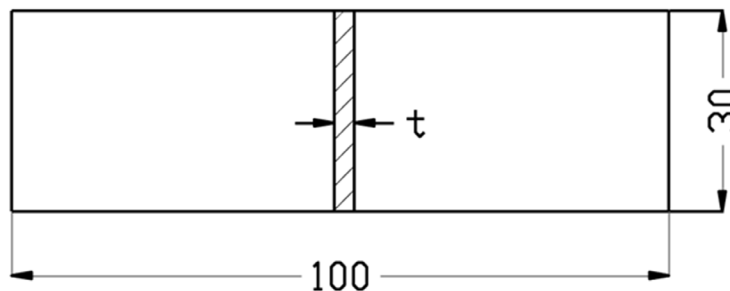


Hình 4. Máy kiểm nghiệm cơ tính vạn năng HOUNSFIELD Model H50KS

2.2.3. Xác định độ bền uốn

Độ bền uốn (σ_u) được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D790 – 00 [12] trên máy kiểm nghiệm cơ tính vạn năng HOUNSFIELD Model H50KS (Hình 4). Mẫu thử nghiệm được gia công theo tiêu chuẩn, có kích thước được thể hiện trên Hình 5 với chiều dày $t > 3$ mm. Kiểu thử nghiệm uốn 3 điểm và tốc độ gia tải

của máy là 1,0 mm/min. Giãn kế được sử dụng để đo độ võng, khoảng cách giữa 2 gối cố định là 50 mm. Mẫu được kiểm nghiệm ở điều kiện phòng thí nghiệm (nhiệt độ 23°C - độ ẩm 70 ±2%). Mẫu thử nghiệm hình chữ nhật kích thước 100x30 mm, chiều dày mẫu $d \approx 3$ mm. Tổ hợp 06 mẫu được chuẩn bị sau gia công cơ khí được thể hiện trên Hình 3b.



Hình 5. Mẫu thử uốn vật liệu

Độ bền uốn của composite được xác định theo công thức:

$$\sigma_u = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

Trong đó:

P : Lực uốn cực đại tại điểm gãy (N)

L: khoảng cách hai gối đỡ (mm)

b, d: chiều rộng, chiều dày của mẫu (mm)

Mô đun đàn hồi uốn (M_u) của vật liệu mẫu thử được máy đo tự động và chọn đo trên một

đoạn tuyến tính của đường cong ứng suất - biến dạng của mẫu tương ứng.

2.2.4. Xác định độ mài mòn

Độ bền mài mòn được đánh giá trên máy Taber Abraser 5131 (Hình 6) với bánh mài Calibrase CS - 10, theo tiêu chuẩn ASTM D1044 - 13 [13]. Tải trọng đặt lên 2 bánh mài dao động từ 250 đến 1000g, thường là 1000g cho vật liệu polymer composite chịu mài mòn - đây cũng là bánh mài được chọn cho thí nghiệm này. Thử nghiệm diễn ra ở tốc độ 60 vòng/phút trong điều kiện phòng thí nghiệm tiêu chuẩn (25°C, độ ẩm 50 ± 2%). Mẫu thử hình chữ nhật,

kích thước 100 x 100 mm và độ dày $t \geq 3$ mm, với lỗ $\Phi 15$ mm ở giữa được làm nhẵn, sấy khô đến khối lượng không đổi và hút ẩm 24 giờ trước khi đo.

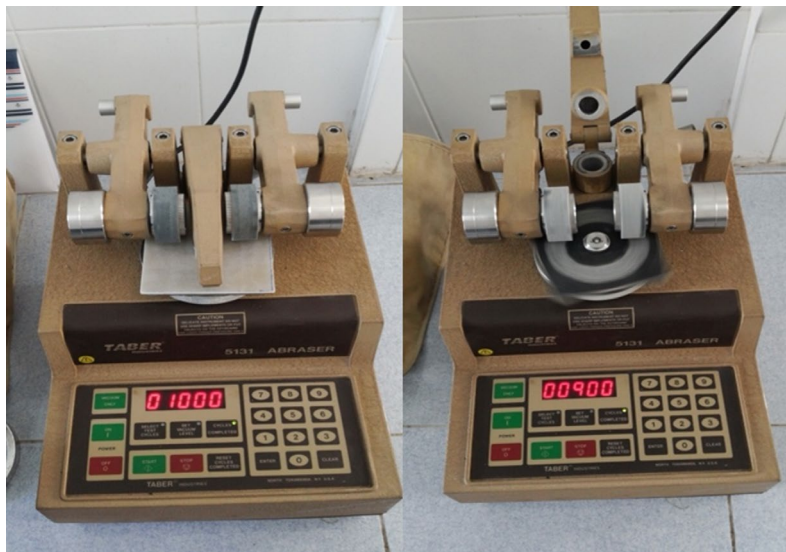
Độ mài mòn (M) được xác định bằng lượng khối lượng mất đi sau 1000 vòng quay, đo bằng cân có độ chính xác 10^{-4} gram theo công thức:

$$M = W_1 - W_2 \text{ (gram/1000 vòng)} \quad (3)$$

Trong đó:

W_1 : Trọng lượng mẫu trước khi kiểm nghiệm mài mòn (gram).

W_2 : Trọng lượng mẫu sau khi kiểm nghiệm (gram).



Hình 6. Máy và mẫu thử nghiệm độ mài mòn của vật liệu

2.2.5. Xác định độ hấp thụ nước

Khả năng hấp thụ nước của vật liệu được đánh giá theo tiêu chuẩn ISO 62:1999 [14]. Mẫu thử dạng hình hộp vuông với kích thước 50 x 50 x 3mm. Trước khi tiến hành, mẫu được sấy đến khi đạt khối lượng không đổi và sau đó được bảo quản trong bình hút ẩm trong vòng 24 giờ. Quá trình thử nghiệm bắt đầu bằng việc cân mẫu trên cân có độ chính xác 10^{-4} gram, tiếp theo là ngâm mẫu hoàn toàn trong nước cất ở nhiệt độ phòng. Sau một khoảng thời gian ngâm tuần tự 01, 02, 04, 06 và 08 ngày mẫu được lấy ra, thấm khô bề mặt

bằng giấy lọc và cân lại ngay lập tức, đảm bảo thời gian cân không vượt quá 01 phút sau khi mẫu được vớt ra.

Độ hấp thụ nước được xác định theo công thức sau:

$$H = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 (\%) \quad (4)$$

Trong đó:

H: Độ hấp thụ nước %

m_0 : Trọng lượng mẫu trước khi ngâm (gram)

m_1 : Trọng lượng mẫu sau khi ngâm (gram)

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

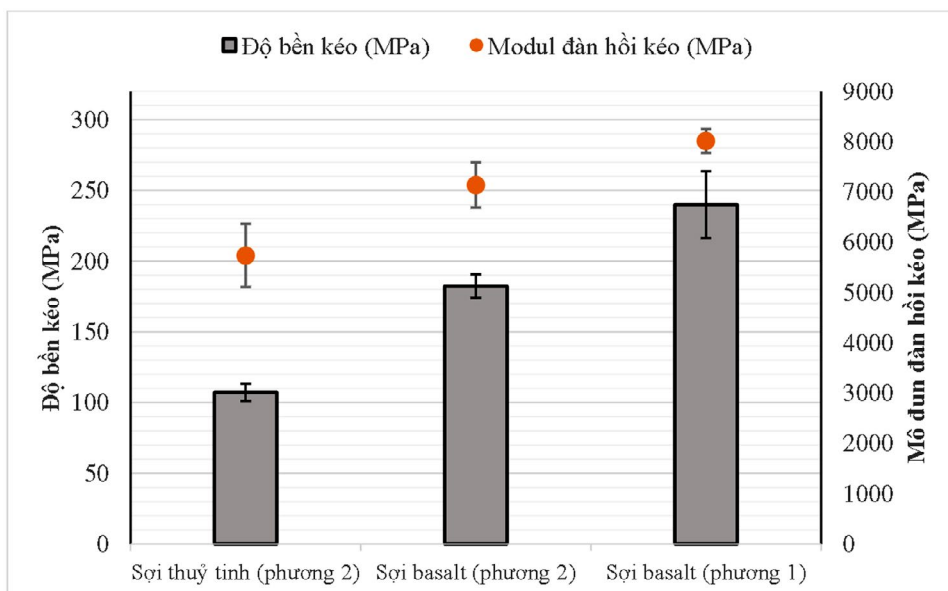
3.1. Độ bền kéo

Giá trị trung bình thí nghiệm về độ bền kéo (σ_k) và Mô đun đàn hồi kéo (M_k) của 06 mẫu từ mỗi loại vật liệu được tổng hợp tại Bảng 2 và biểu đồ Hình 7. Phân tích các dữ liệu này cho thấy các mẫu composite sử dụng sợi basalt có độ bền kéo vượt trội hơn đáng kể so với các mẫu composite sử dụng sợi thủy tinh, theo phương thứ 2 độ bền kéo gấp gần

70% (182.2 MPa so với 107.2), đặc biệt theo phương 1 độ bền kéo tăng gần 124% (239.9 MPa so với 107,2 MPa). Điều này gợi ý rằng sợi basalt có khả năng tương thích tốt với nền nhựa Polyester, nhận định này phù hợp với các nghiên cứu được công bố trước đây [12] và kết quả cũng đã chỉ ra rằng sợi basalt có thể kết hợp hiệu quả với nhiều loại nhựa khác nhau như epoxy, Polyester, vinyl ester, phenolic, melamine, acrylate và polyurethane.

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm kéo vật liệu

Mẫu composite thử nghiệm	σ_k (MPa)	M_k (MPa)
Cốt sợi thủy tinh (phương 2)	107.2 ±6.1	5738.2 ±628.1
Cốt sợi basalt (phương 2)	182.2 ±8.3	7141.9 ±446.3
Cốt sợi basalt (phương 1)	239.9 ±23.7	8017.3 ±239.3



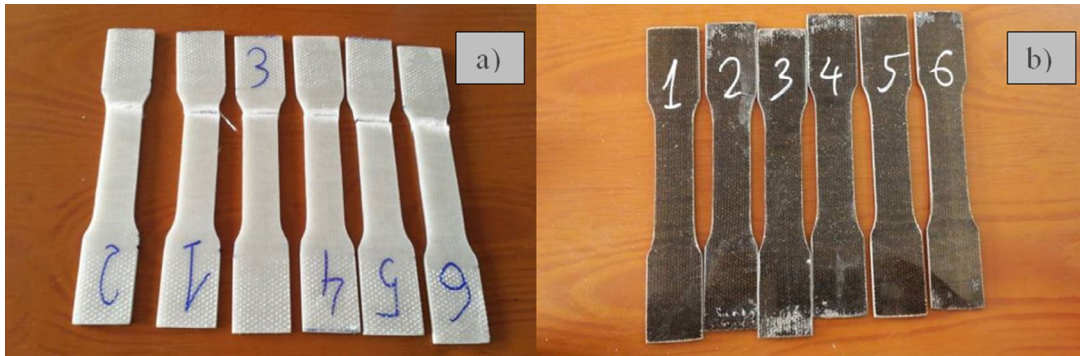
Hình 7. Độ bền kéo và Mô đun đàn hồi kéo của vật liệu

Từ kết quả thử nghiệm cho cả 02 phương của sợi basalt đều cho thấy độ bền kéo và Mô đun đàn hồi kéo của vật liệu composite chứa sợi basalt luôn cao hơn vật liệu composite chứa sợi thủy tinh. Đáng chú ý, cả hai loại vật liệu đều đạt các chỉ tiêu về độ bền kéo quy định trong QCVN 56: 2013/BGTVT (Độ bền kéo không nhỏ hơn 98 MPa và Mô đun đàn hồi kéo

không nhỏ hơn 6860 MPa). Xét về hướng tác dụng lực, vật liệu composite cốt sợi basalt có độ bền kéo và Mô đun đàn hồi kéo lớn nhất khi lực kéo tác dụng theo phương 1 (song song với chiều cuộn vải), cao hơn so với khi lực kéo tác dụng theo phương 2 (vuông góc với chiều cuộn vải) khoảng 10% (8017.3 MPa so với 7141.9 MPa).

Hình 8 trình bày dạng và vị trí phá hủy mẫu kéo của vật liệu gia cường bằng sợi thủy tinh và gia cường bằng sợi basalt. Từ Hình 8a cho thấy, đối với vật liệu composite gia cường bằng sợi thủy tinh, mẫu kiểm nghiệm bị phá hủy trong vùng lân cận của vùng chiều dài đo (Gauge

length). Tuy nhiên, đối với vật liệu composite được gia cường bằng sợi basalt - Hình 8b, mẫu vật liệu kéo chưa bị phá hủy tại các vùng đo mong muốn kéo mà chỉ bị phá hủy do trượt bề mặt giữa cơ cấu kẹp của máy kéo vụn năng và bề mặt của mẫu thử.



Hình 8. Mẫu kéo bị phá hủy sau khi thử nghiệm

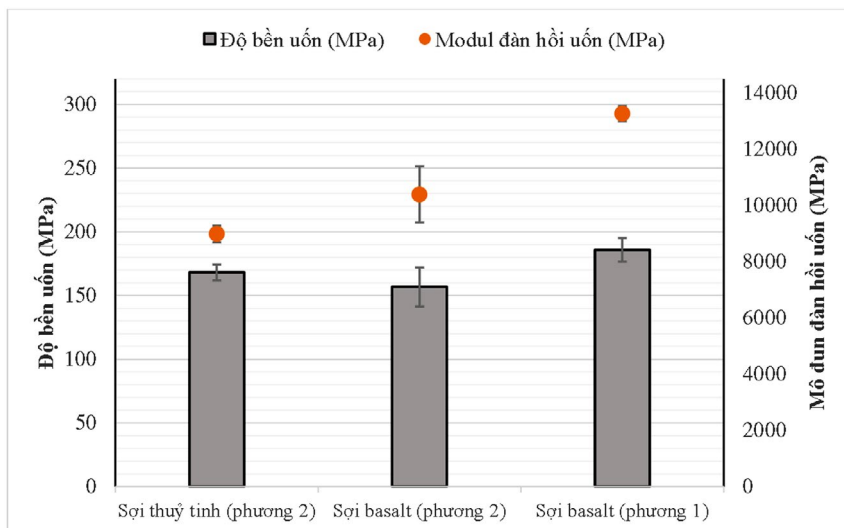
3.2. Độ bền uốn

Sau khi chế tạo và thử nghiệm 06 mẫu uốn với mỗi loại vật liệu, kết quả về độ bền uốn (σ_u)

và Mô đun chống uốn (M_u) trung bình trình bày ở Bảng 3 và biểu đồ Hình 9.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm uốn vật liệu

Mẫu composite thử nghiệm	σ_u (MPa)	M_u (MPa)
Cốt sợi thủy tinh (phương 2)	168.2±6.2	8989.0±298.7
Cốt sợi basalt (phương 2)	156.7±15.3	10394.1±1000.4
Cốt sợi basalt (phương 1)	185.9±9.3	13265.0±270.6

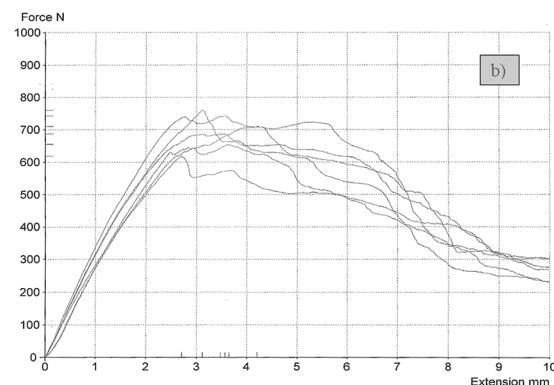
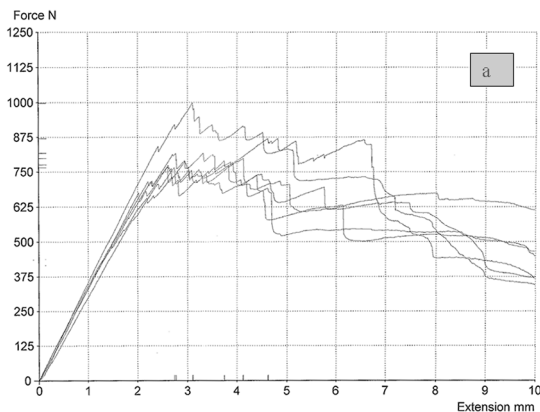


Hình 9. Độ bền uốn và Mô đun đàn hồi uốn của vật liệu

Từ kết quả Bảng 3 và Biểu đồ Hình 9 chúng ta có thể nhận thấy, mặc dù độ bền uốn của composite sợi basalt có phần kém hơn so với composite sợi thủy tinh ở cùng phương sợi (phương 2), nhưng sự khác biệt này không lớn - khoảng 7,3% (156.7 MPa so với 168.2 MPa), điều này cho thấy khả năng chịu uốn tương đương giữa các chủng loại vật liệu. Ngược lại, Mô đun đàn hồi uốn của composite gia cường bằng sợi basalt lại vượt trội hơn so với composite sợi thủy tinh trong cả hai phương chế tạo mẫu. Điều quan trọng là cả hai loại vật liệu đều đạt được các chỉ số độ bền uốn theo tiêu chuẩn QCVN 56: 2013/BGTVT (Độ bền uốn không nhỏ hơn 150 MPa và Mô đun đàn hồi uốn không nhỏ hơn 6860 MPa). Ngoài ra, hướng sợi có ảnh hưởng rõ rệt đến tính chất cơ

học của composite cốt sợi basalt, với phương 1 (song song chiều cuộn vải) mang lại độ bền uốn và Mô đun đàn hồi uốn cao hơn phương 2 (vuông góc chiều cuộn vải).

Hình 10 mô tả ứng xử uốn, đường cong quan hệ giữa tải trọng tác dụng và biến dạng, của vật liệu được gia cường bằng sợi thủy tinh (Hình 10a) và gia cường bằng sợi basalt theo phương 2 (Hình 10b). Từ biểu đồ cho thấy, trước giai đoạn phá hủy, cả 2 chủng loại vật liệu đều ứng xử tuyến tính; tuy nhiên, sau giai đoạn chịu tải trọng cực đại, vật liệu gia cường bằng sợi basalt có tính “dai” hơn khi biểu đồ có tính liên tục (Hình 10b) và ít phá hủy cục bộ của sợi thủy tinh hoặc vật liệu nền dẫn đến biến dạng giảm có dạng răng cưa như trên Hình 10a.



Hình 10. Biểu đồ mô tả mối quan hệ giữa tải trọng uốn và biến dạng tại vị trí gia tải

3.3. Xác định độ mài mòn

Bảng 4 tổng hợp dữ liệu về độ mài mòn của 04 mẫu được chế tạo từ mỗi loại vật liệu sau quá trình thử nghiệm. Phân tích kết quả cho thấy lượng vật liệu bị mài mòn ở mẫu composite gia cường bằng sợi basalt lớn hơn so với mẫu composite sử dụng sợi thủy tinh sau 1000 chu kỳ quay xấp xỉ 85% (0.0593 gram so với 0.0319 gram). Kết quả thí nghiệm này cho thấy cơ chế phá hủy bề mặt dưới tác dụng mài mòn và/hoặc vai trò của các “sizing agent” - là chất hồ sợi (trong ngành dệt may) hoặc chất làm nổi/

bóng bề mặt (trong ngành sản xuất vật liệu bề mặt rắn) hoặc các chất được sử dụng để tạo lớp bảo vệ, tăng cường độ bền và khả năng chống chịu hoá chất của vật liệu làm thay đổi vai trò của liên kết giao diện giữa vật liệu gia cường và vật liệu nền. Kết quả tương tự cũng đã được G. Singh và P. K. Sood (2017) chỉ ra [15]. Điều này cũng gợi ý rằng cần khuyến nghị cải thiện khả năng chống mài mòn của vật liệu composite sợi basalt khi chúng ta mong muốn ứng dụng vào các lĩnh vực cụ thể có yêu cầu về độ chống mài mòn của vật liệu.

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm độ mài mòn vật liệu

Mẫu thử nghiệm	Độ mài mòn trung bình M (gram/1000 vòng)
Composite cốt sợi thủy tinh	0.0319±0.0081
Composite cốt sợi basalt	0.0593±0.0027

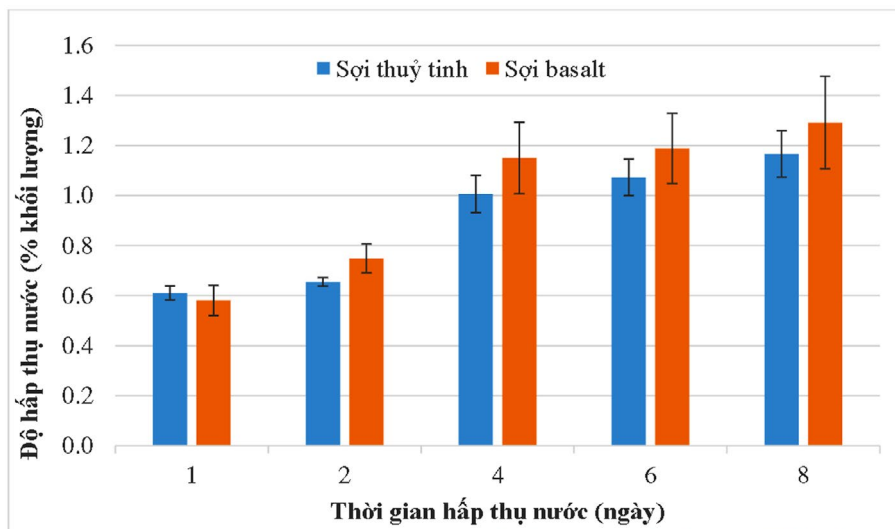
3.4. Xác định độ hấp thụ nước

Bảng 5 và Hình 11 trình bày kết quả thí nghiệm đánh giá độ hấp thụ nước của 04 mẫu được chế tạo từ mỗi loại vật liệu sau khi ngâm trong nước cất vào các ngày thứ 1, 2, 4, 6 và thứ 8 tương ứng mẫu thử nghiệm lần lượt là H/N1, H/N2, H/N4, H/N6 và H/N8. Dữ liệu thử nghiệm cho thấy một xu hướng chung ở tất cả các mẫu composite là lượng nước hấp thụ

tăng lên theo thời gian ngâm cho cả vật liệu gia cường bằng sợi thủy tinh hay sợi basalt. Mặc dù vật liệu composite gia cường bằng sợi basalt có mức độ hấp thụ nước cao hơn so với mẫu composite sử dụng sợi thủy tinh sau các ngày thử nghiệm, sự khác biệt về độ hấp thụ nước giữa hai loại vật liệu này là không đáng kể, chênh lệch này xấp xỉ khoảng 10%.

Bảng 5. Độ hấp thụ nước trung bình của vật liệu (% khối lượng)

Mẫu thử nghiệm	H/N1	H/N2	H/N4	H/N6	H/N8
Composite cốt sợi thủy tinh	0.6108 ±0.0281	0.6548 ±0.0170	1.0062 ±0.0743	1.0725 ±0.0730	1.1669 ±0.0932
Composite cốt sợi basalt	0.5809 ±0.0600	0.7483 ±0.0580	1.1503 ±0.1428	1.1884 ±0.1407	1.2919 ±0.1846



Hình 11. Độ hấp thụ nước trung bình của vật liệu theo thời gian ngâm mẫu

Với kết quả thử nghiệm về độ bền kéo, độ bền uốn thì vật liệu composite cốt sợi basalt có độ bền lớn hơn và đạt yêu cầu về quy chuẩn; độ hấp thụ nước thì vật liệu

composite cốt sợi thủy tinh tốt hơn tuy nhiên độ chênh lệch là không đáng kể (Bảng 5). Tuy nhiên, về độ mài mòn thì vật liệu gia cường sợi basalt có tốc độ mòn cao hơn vật liệu

gia cường sợi thủy tinh xấp xỉ 85% (0,595 gram so với 0,0319 gram). Dựa vào các kết quả đạt được cho thấy về vật liệu làm vỏ tàu composite thì yêu cầu quan trọng về độ bền kéo và độ bền uốn vật liệu composite cốt sợi basalt đều vượt trội so với vật liệu composite cốt sợi thủy tinh (độ bền kéo theo phương 1 và 2 của composite gia cường sợi basalt lần lượt là 182,2 MPa và 239,9 MPa so với 107,2 MPa của composite gia cường sợi thủy tinh; tương tự độ bền uốn theo phương 1 và 2 của composite gia cường sợi basalt lần lượt là 156,7 MPa và 185,9 MPa so với 168,2 MPa của composite gia cường sợi thủy tinh – Bảng 3 và Bảng 4).

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ những kết quả nghiên cứu ở trên có thể rút ra được một số kết luận và kiến nghị sau đây:

– Các tính chất cơ học quan trọng, bao gồm giá trị trung bình về độ bền kéo, Mô đun đàn hồi kéo và độ bền uốn, Mô đun đàn hồi uốn, của các chủng loại vật liệu composite trên nền nhựa Polyesster không no, Reversol P9509NW, được gia cường bằng sợi basalt TBK-100 theo 02 phương được xác định lần lượt là: 182.2 MPa, 7141.9 MPa và 156.7 MPa, 10394.1 MPa (đối với thử nghiệm theo phương 2) và 239.9 MPa, 8017.3 MPa và 185.9 MPa, 13265.0 MPa (đối với thử nghiệm theo phương 1). Căn cứ Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 56:2013/BGTVT về phân cấp và đóng tàu làm bằng chất dẻo cốt sợi thủy tinh, thì kết quả kiểm nghiệm nêu trên có thể khẳng định vật liệu composite cốt sợi basalt hoàn toàn đáp ứng đủ về tiêu chuẩn để được ứng dụng làm vật liệu đóng tàu. Tính chất cơ học của vật liệu mới cũng được so sánh đối chứng với 01 chủng loại composite hiện nay đang được sử dụng trong đóng tàu có cùng nhựa nền và gia cường bằng sợi thủy tinh W120 có độ bền kéo, Mô đun đàn hồi kéo và độ bền uốn, Mô đun đàn hồi uốn theo

phương 2 lần lượt là: 107.2 MPa, 5738.2 MPa và 168.2 MPa, 8989.0 MPa.

– Mặc dù các tính chất cơ học về độ bền kéo và Mô đun đàn hồi kéo của các chủng loại vật liệu mới đều có tính tương đồng hoặc tốt hơn vật liệu gia cường bằng sợi thủy tinh, nhưng dạng hông của các mẫu vật liệu này đều do trượt trên bề mặt giữa ngàm kẹp mẫu của máy đo và mẫu thí nghiệm (không phá huỷ trong đoạn song song cần đo - Gauge length); vì vậy, các tính chất này chưa phản ánh đúng tính chất kéo của vật liệu composite. Để xác định chính xác tính chất cơ học về kéo của vật liệu này cần nghiên cứu cải tiến cơ cấu, phương pháp kẹp mẫu hoặc cấu tạo mẫu đo phù hợp hơn.

– Vật liệu composite cốt sợi basalt có độ mài mòn lớn hơn vật liệu composite cốt sợi thủy tinh khoảng 86%, tuy nhiên độ chịu mài mòn không phải là tính chất thiết yếu được liệt kê theo Quy phạm và cần cải thiện khả năng chống mài mòn của vật liệu composite sợi basalt khi chúng ta mong muốn ứng dụng vào các lĩnh vực cụ thể có yêu cầu về độ chống mài mòn của vật liệu.

– Trong suốt quá trình đo độ hấp thụ nước của vật liệu (từ 01 ngày đến 08 ngày), độ hấp thụ nước vật liệu composite cốt sợi basalt đều có xu hướng cao hơn vật liệu composite cốt sợi thủy tinh xấp xỉ 10%. Kết quả này cần lưu ý khi sử dụng với yêu cầu vật liệu có độ chống thấm cao hơn; đồng thời tiếp tục nghiên cứu độ hấp thụ nước đến trạng thái bão hoà và ứng xử cơ học khi bão hoà nước.

– Cần nghiên cứu kiểm nghiệm tính chất của vật liệu composite trên cơ sở gia cường phối hợp cả hai loại sợi thủy tinh và sợi basalt nhằm khai thác, sử dụng hiệu quả ưu và nhược điểm của từng chủng loại sợi.

– Khuyến nghị mở rộng nghiên cứu ứng dụng sợi basalt gia cường composite dùng cho các ngành công nghiệp và dân dụng khác để mở rộng phạm vi ứng dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vũ Ngọc Bích (2007), *Kết cấu tàu thủy - Tập 1*. NXB Trường Đại học Giao thông Vận tải TP. Hồ Chí Minh.
- [2] J. T. Orasugh et al. 2025, “Glass fibres – production, structure, and applications”, *Technical Organic and Inorganic Fibres from Natural Resources, Woodhead Publishing in Materials*, pp. 491-525.
- [3] T. Schneider M. Sc (2004), “Public Health Statement Synthetic Vitreous Fibers”, *World Health*.
- [4] E. Abbate, Carmelo, et al. (2006), “Changes induced by exposure of the human lung to glass fiber-reinforced plastic”, *Environmental health perspectives*, vol. 114, no. 11. pp. 1725–1729.
- [5] P. J. K. van den Einde et al. (2020), “Basalt Fiber: A Sustainable Alternative to Conventional Fibers?”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 257.
- [6] X. Fan et al. (2020), “Basalt fiber reinforced polymer (BFRP) composite materials: A review”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 138.
- [7] W. B. Goldsworthy (2000), “New Basalt Fiber Increases Composite Potential,” vol. 8, pp. 15-25.
- [8] R. Parnas, M. Shaw, and L. Qiang (2007), “Basalt Fiber Reinforced Polymer Composites,” no. 03.
- [9] Bộ Giao thông vận tải (2013), Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 72: 2013/BGTVT về phân cấp và đóng tàu làm bằng chất dẻo cốt sợi thủy tinh (*National technical regulation on classification and constructions of ships of fibreglass reinforced plastics*).
- [10] Kamenny Vek (2025), “Basfiber”. [Online]. Available: [Andesite-basalt fiber at low price | BasFiberPro - Kamenny Vek](#). [Accessed: 18-Apr-2025].
- [11] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 4501-4:2009 (ISO 527-4:1997), *Chất dẻo - Xác định tính chất kéo - Phần 4: Điều kiện thử đối với compozit chất dẻo gia cường bằng sợi đẳng hướng và trục hướng*.
- [12] ASTM D790 - 00 (2001), *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*.
- [13] ASTM D1044-13 (2002), *Abrasion, Standard Test Method for Resistance of Transparent Plastics to Surface*.
- [14] EN ISO-62 (1999), *Plastics Determination of water absorption*.
- [15] G. Singh and P. K. Sood (2017), Comparison of Mechanical and Abrasive Wear Properties of Basalt Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites with Glass Fiber Reinforced Ones, *Journal of Composite Materials*, Vol. 51, Issue 20, 2017, pp. 2883-2895.