

Nghiên cứu tác dụng của phụ gia dạng sợi đến chỉ tiêu cơ lý cơ bản và đàn hồi nhớt của bê tông Asphalt làm áo đường

Effects of fiber added on the fundamental and viscoelastic properties of Asphalt mixtures used for pavement coatings

> TS ĐỖ TIẾN THỌ*, TS NGUYỄN HUỖNH TẤN TÀI, TS TRẦN VŨ TỰ

GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM; *Email: thodt@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Một trong những hư hỏng thường gặp nhất của mặt đường nhựa ở Việt Nam là hư hỏng do lún dưới tác dụng trùng phục của vết bánh xe. Bên cạnh, việc kiểm soát tốt chất lượng thi công các lớp nền móng bên dưới, người kỹ sư có thể xem xét sử dụng các loại bi-tum, cải tiến thành phần cốt liệu của hỗn hợp bê tông nhựa (BTN) hoặc thêm vào các phụ gia khác như các loại sợi để nâng cao tuổi thọ của mặt đường. Trong nghiên cứu này, sợi Forta-fi được sử dụng với hàm lượng 0.1% sợi trên tổng khối lượng cốt liệu. Kết quả nghiên cứu cho thấy sợi Forta-fi làm gia tăng các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của bê tông nhựa như độ ổn định và độ dẻo Marshall, cường độ chịu kéo khi ép chế. Đối với đặc tính đàn hồi nhớt, khi thêm sợi Forta-fi vào hỗn hợp, mẫu BTN có sợi cho thấy mô-đun động cao hơn khoảng 15% so với mẫu không sợi khi tần số của lực tác dụng thấp hoặc khi ở nhiệt độ cao. Việc thêm sợi vào hỗn hợp gần như không ảnh hưởng đến hệ số dịch chuyển ngang khi xây dựng đường cong chủ của mô-đun động cũng như góc lệch pha của hỗn hợp. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy khả năng dự báo tốt của mô hình Huet Sayegh đối với ứng xử đàn hồi nhớt của BTN có và không có sợi Forta-fi.

Từ khóa: Bê tông nhựa chặt; độ ổn định Marshall; độ dẻo; sợi Forta-fi; cường độ chịu kéo khi ép chế; mô hình Huet-Sayegh.

ABSTRACT

One of the most common distresses of asphalt concrete pavement in Vietnam is rutting under important impacts of overloaded vehicles. A part from controlling the quality of underneath layers, one can consider to use modified bitumen, improve the gradation curve of the mixtures, or add other additives to the mixture such as fiber to enhance the service life of the pavement. In this study, Forta-fi fiber was used at a content of 0.1% of the total mixture weight. The results showed that Forta-fi fiber improves fundamental properties of asphalt mixtures such as Marshall stability and flow, indirect tensile strength. Regarding viscoelastic properties, when adding Forta-fi fiber to the mixture, the fiber-reinforced asphalt concrete sample showed an increase of dynamic modulus of approximately 15% when the frequency of the applied load is low or at high temperature. Fiber was found to do not affect the horizontal shifting coefficient when constructing the master curve of the dynamic modulus as well as the phase angle of the asphalt concrete material. The results also showed the ability of Huet-Sayegh in predicting well the viscoelastic behavior of both fiber and non-fiber asphalt concrete.

Keywords: Asphalt Mixture; marshall stability; flow; Forta-fi fiber; indirect tensile strength; huet-sayegh model

1. GIỚI THIỆU

Trong thời gian gần đây, hệ thống đường bộ của Việt Nam đã được nâng cấp, cải tạo và xây dựng mới, cả về số lượng lẫn chất lượng và được áp dụng các tiêu chuẩn kỹ thuật cao hơn. Việc cải thiện hệ thống đường bộ đã góp phần quan trọng vào sự phát triển kinh tế và xã hội của đất nước. Tuy nhiên, việc xây dựng nhiều công trình hạ tầng giao thông vận tải cũng đồng nghĩa với việc có nhiều công trình không đáp ứng được yêu cầu về chất lượng và mỹ

thuật sau một thời gian sử dụng. Đây là một bài toán mà các nhà khoa học, quản lý và nhà thầu thi công cần tìm ra câu trả lời để đảm bảo và kiểm soát chất lượng của các công trình đường bộ.

Kết cấu mặt đường (KCMĐ) mềm (có các lớp mặt bằng BTN) đang được sử dụng phổ biến trong xây dựng các tuyến đường ô tô ở Việt Nam. Tuy nhiên, nhiều tuyến đường ô tô cấp cao có quy mô giao thông lớn sử dụng loại KCMĐ mềm thường xuất hiện các hư hỏng như nứt, lún vết bánh xe dưới tác dụng của tải trọng trùng

phục (Hình 1). Sau thời gian ngắn đưa vào khai thác đã suy giảm cường độ chung và tuổi thọ của KCMĐ. Câu hỏi đặt ra là làm thế nào để giải quyết vấn đề này?



Hình 1. Hư hỏng mặt đường do hằn lún vết bánh xe [Nguồn Báo Người lao động - Bài báo “Đã có thuốc trị trời lún Quốc lộ 1” - 19/05/2017]

Bên cạnh các giải pháp như xử lý nền đất yếu, việc sử dụng các loại bi-tum có cấp kháng hằn lún cao hoặc cải tiến thành phần cốt liệu của hỗn hợp bê tông nhựa, sử dụng nhựa polymer hoặc thêm vào các phụ gia [1,2,3,4] có thể được xem xét để đáp ứng các yêu cầu về nâng cao tuổi thọ của mặt đường. Trong trường hợp này, phụ gia dạng sợi được coi là một giải pháp khả dĩ. Phụ gia dạng sợi cho bê tông nhựa làm áo đường mềm không phải là một khái niệm mới, nó đã được khảo sát từ những năm đầu những năm 1960 [5]. Việc sử dụng loại sợi nào, lợi ích, chi phí và hiệu suất tổng thể của Bê tông nhựa gia cường cốt sợi là chủ đề thảo luận, tranh luận của nhiều nghiên cứu. Trong các nghiên cứu đó, loại sợi như thép/kim loại, sợi tự nhiên và sợi tổng hợp [5] đã được xem xét, sử dụng thông qua nhiều thí nghiệm. Sợi tổng hợp polypropylene có nhiệt độ nóng chảy thấp nên việc chỉ dùng polypropylene trong hỗn hợp bê tông nhựa nóng sẽ không đạt hiệu quả cao. Sợi tổng hợp polyester cũng đã được sử dụng làm phụ gia để pha trộn với bê tông nhựa. Sợi polyester đã chứng minh tác dụng của nó khi cải thiện khả năng chống mỏi của bê tông nhựa ở mức tải thấp [5]. Tuy nhiên, những nghiên cứu về phụ gia dạng sợi sử dụng trong bê tông nhựa ở Việt Nam chưa nhiều.

Bài báo này sẽ trình bày những nghiên cứu bước đầu về ảnh hưởng của sợi làm phụ gia (cụ thể là sợi Forta-fi) đến đặc tính cơ lý của bê tông nhựa chặt - loại BTN làm áo đường mềm được dùng rất rộng rãi ở VN. Đầu tiên, các thí nghiệm cơ lý trong phòng sẽ được thực hiện trên nhiều tổ hợp mẫu Marshall (mỗi tổ hợp tối thiểu 3 mẫu) với tỷ lệ sợi thay đổi nhằm chọn ra hàm lượng sợi thích hợp nhất về mặt cơ lý cũng như về mặt khả dụng (có thể dễ dàng phối trộn đều sợi trong hỗn hợp do quá nhiều sợi sẽ dẫn đến hiện tượng sợi không phân bố đều, ảnh hưởng đến đặc tính cơ lý của hỗn hợp). Tiếp theo đó, các thí nghiệm xem xét ảnh hưởng của sợi phụ gia tới tính chất đàn hồi nhớt của hỗn hợp BTNC cũng được thực hiện nhằm định hướng cho những công trình nghiên cứu sau đó về khả năng gia tăng độ bền kháng mỏi cũng như kháng hằn lún khi thêm sợi vào hỗn hợp.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

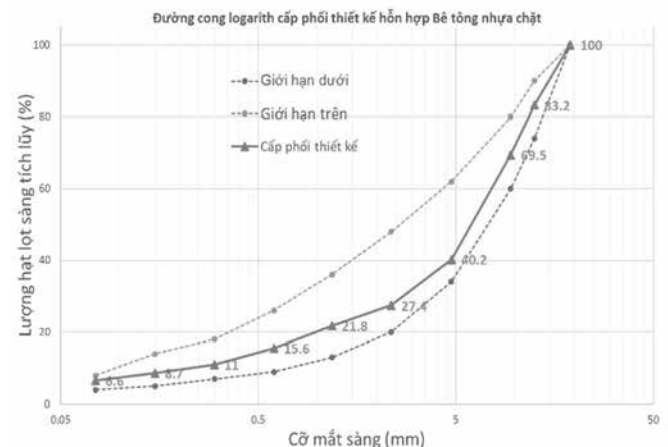
Tất cả các nguyên liệu dùng cho các thí nghiệm trong nghiên

được cung cấp bởi Công ty CP Đầu tư XD BMT, bao gồm cả cốt liệu thô, chất độn, cũng như bitum.

2.1.1. Cốt liệu

Để tài thực nghiệm này phân tích, khảo sát ảnh hưởng của sợi được sử dụng làm phụ gia thêm vào, các tính chất cơ lý và khả năng chống hằn lún của hỗn hợp BTNC, từ đó đề xuất các biện pháp để nâng cao độ bền kháng lún của bê tông nhựa.

Bê tông nhựa với cấp phối chặt (gọi tắt là BTNC) với cỡ hạt danh định lớn nhất 12.5mm hiện đang được dùng rất thường xuyên tại VN nên loại bê tông nhựa này sẽ được chọn để chế tạo các mẫu thí nghiệm nhằm khảo sát ảnh hưởng của sợi đến các chỉ tiêu cơ lý của nó. Đường cong cấp phối hạt thiết kế sử dụng cho việc chuẩn bị mẫu BTNC trong đề tài giống như đường cong cấp phối sử dụng trong [6] và được trình bày như trong Hình 2.



Hình 2. Đường cong logarit cấp phối thiết kế hỗn hợp BTNC 12.5

Bảng 1 cung cấp các tính chất cơ bản của cốt liệu được sử dụng trong đề tài. Một trong những chỉ số quan trọng nhất khi đánh giá cốt liệu sử dụng cho hỗn hợp BTNC đó là độ mài mòn Los Angeles, chỉ số này cũng được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ bản của cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu

Chỉ tiêu đánh giá cốt liệu	Cốt liệu dùng trong đề tài	Giới hạn cho phép
Độ mài mòn Los Angeles (%)	12.3	Max 30
Hàm lượng hạt toai dẹt (%)	≤ 6	Max 10
Độ hút nước (%)	1.41	Max 2
Tỷ trọng khối của cốt liệu thô	2.77	-
Tỷ trọng khối của cốt liệu mịn	2.78	-
Tỷ trọng khối của bột khoáng	2.73	-

2.1.2. Chất kết dính bitum

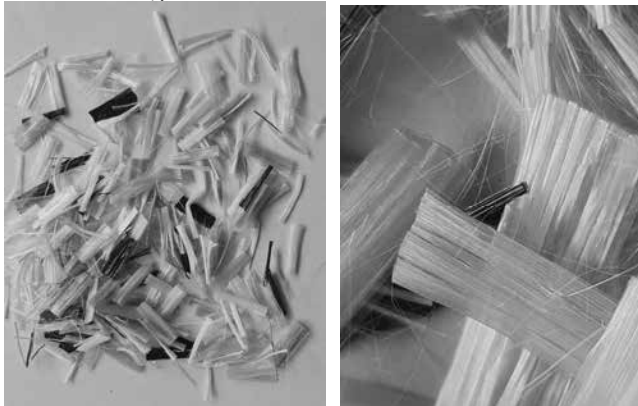
Đề tài nghiên cứu này sử dụng bitum 60/70 làm chất kết dính cho hỗn hợp bê tông nhựa. Các đặc tính của loại nhựa này được giới thiệu trong Bảng 2.

Bảng 2. Đặc tính cơ bản bitum 60/70 dùng trong nghiên cứu

Đặc tính	Bitum 60/70 trong đề tài	Giới hạn cho phép (tiêu chuẩn)
Nhiệt độ hóa mềm (°C – dụng cụ vòng và bi)	48.7	Min 46 (ASTM D36 [7])
Độ kim lún ở 25°C (0.1mm)	64.5	60.0-70.0 (ASTM D5 [8])
Độ giãn dài ở 25°C (cm)	>140*	Min 100 (ASTM D113 [9])
Tỷ trọng khối (g/cm³)	1.04	1.00-1.05 (ASTM D70 [10])

2.1.3. Sợi Forta-fi

Nhằm mục đích đánh giá ảnh hưởng và tác dụng của sợi được sử dụng làm phụ gia đến tính chất cơ lý cũng như khả năng kháng hàn lún, độ bền của hỗn hợp bê tông nhựa Asphalt, sợi tổng hợp Tập đoàn Forta-fi sản xuất (gọi tắt là sợi Forta-fi) được xem xét thêm vào hỗn hợp.



Hình 3. Sợi Forta-fi trước khi phối trộn vào hỗn hợp BTN

Sợi Forta-fi là kết quả của việc phối hợp giữa sợi para-aramid và sợi polyolefin (xem Hình 3). Các đặc tính cơ lý của hai thành phần của sợi Forta-fi này được trình bày ngắn gọn trong Bảng 3.

Bảng 3. Các đặc tính cơ lý của sợi Forta-fi

Đặc tính	Loại sợi	
	Polyolefin	Para-Aramid
Tỷ trọng riêng (kN/m ³)	0.91	1.44
Cường độ kháng kéo (MPa)	N/A ^a	2.758
Kích thước sợi (mm)	19	19
Nhiệt độ làm việc (°C)	N/A ^a	-73 ÷ 427

^a Sợi sẽ bị chảy hoặc biến dạng dẻo trong quá trình sản xuất hỗn hợp vữa nhựa

2.2. Phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Chuẩn bị mẫu

Trong nghiên cứu này, các mẫu thí nghiệm được chế tạo theo phương pháp Marshall [1]. Sau khi ủ vật liệu đến nhiệt độ 170°C, cốt liệu thô, mịn và sợi Forta-fi (có hoặc không có tùy vào loại mẫu) được trộn đều lần 1 với chất kết dính bitum (hàm lượng 4.8% trên tổng khối lượng hỗn hợp), kế tiếp bột khoáng sẽ được thêm vào. Sau đó, các mẫu hình trụ sẽ được đúc từ hỗn hợp bê tông nhựa nhận được bằng máy đầm Marshall, mẫu tiêu chuẩn có chiều cao 63.5mm, đường kính 101.6mm. Số chày đầm khi chế tạo mẫu là 2x75 (chày) theo tiêu chuẩn.

2.2.2. Xác định tác dụng của sợi Forta-fi đến đặc tính cơ lý cơ bản của hỗn hợp BTNC và hàm lượng sợi Forta-fi hợp lý nhất.

Hàm lượng sợi Forta-fi hợp lý thêm vào hỗn hợp nhằm nâng cao tính chất cơ lý cũng như khả năng kháng hàn lún của BTNC sẽ được xác định dựa vào các thí nghiệm trong phòng. Ít nhất 5x3 mẫu thí nghiệm đã được chuẩn bị với 5 hàm lượng sợi từ 0% đến 0.2% trên tổng khối lượng của cốt liệu.

Các thí nghiệm nhằm xác định một loạt các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của hỗn hợp BTN như khối lượng riêng của mẫu đầm, khối lượng riêng tối đa của mẫu rời, độ rỗng dư, độ rỗng cốt liệu, độ ổn định và độ dẻo Marshall, cường độ ép chèn được tiến hành trên các mẫu Marshall này. Toàn bộ thí nghiệm để xác định các đặc trưng cơ lý này được thực hiện với các máy móc, thiết bị của Phòng thí nghiệm Cầu Đường - Khoa Xây dựng - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM (HCMUTE) và các máy móc tại phòng thí nghiệm của

Công ty BMT. Kết quả của các nghiên cứu thực nghiệm này sẽ giúp chọn được hàm lượng hợp lý nhất của sợi Forta-fi cần thêm vào hỗn hợp bê tông nhựa chặt khảo sát.

2.2.3. Phân tích đặc trưng đàn hồi nhớt và đánh giá ảnh hưởng của sợi Forta-fi các tính chất cơ lý nâng cao của hỗn hợp BTNC

Trong nghiên cứu, máy thí nghiệm đa chức năng Pavetest đầu tư bởi phòng thí nghiệm Cầu Đường thuộc Trường HCMUTE đã sử dụng để đánh giá mô-đun động của các mẫu có thêm và không thêm sợi Forta-fi (với hàm lượng sợi đã được chọn thông qua các thí nghiệm trong phòng trước đó). Phương pháp nghiên cứu này được xây dựng dựa theo tiêu chuẩn AASHTO T342-11 [11].

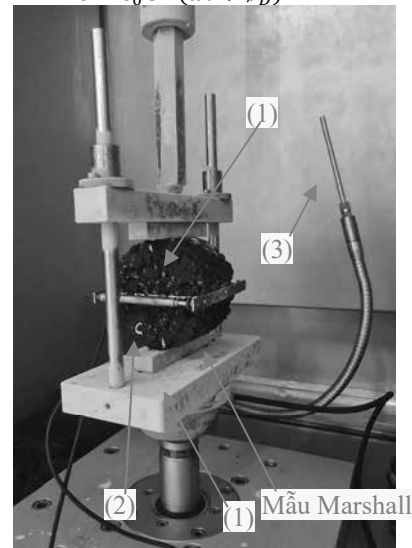
Việc bố trí mẫu, thiết bị đo và các thành phần liên quan để thực hiện thí nghiệm đo mô-đun động của bê tông nhựa được minh họa trong Hình 4, trong đó hai cảm biến đo chuyển vị được lắp dọc theo chiều dài của mẫu nhờ các kẹp kim loại được dán chặt vào mẫu. Để đo mô-đun động, các tải trọng động hình sin sẽ tác động lên mẫu ở các tần số f khác nhau từ 0,1Hz đến 10Hz và ở nhiều nhiệt độ từ -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50°C.

Khi tác dụng tải trọng hình sin với tần số f lên mẫu, biến dạng của mẫu cũng sẽ thay đổi theo biểu đồ hình sin cùng tần số với tần số của tải trọng. Tuy nhiên, tín hiệu biến dạng này sẽ bị trễ một khoảng thời gian δ so với tín hiệu tải. Ứng suất trong mẫu dưới tác dụng của tải trọng này cũng sẽ có dạng biểu đồ hình sin với tần số f (hay tần số góc $\omega = 2\pi f$), biên độ σ_0 và góc pha ϕ_L , ứng suất tại thời điểm t bất kỳ trong mẫu được tính bằng công thức:

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \phi_L)$$

Biến dạng của mẫu dưới tác dụng của tải trọng này cũng có dạng biểu đồ hình sin với biên độ ε_0 và góc pha ϕ_D , biến dạng tại thời điểm t bất kỳ của mẫu được biểu diễn bằng công thức:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t + \phi_D)$$

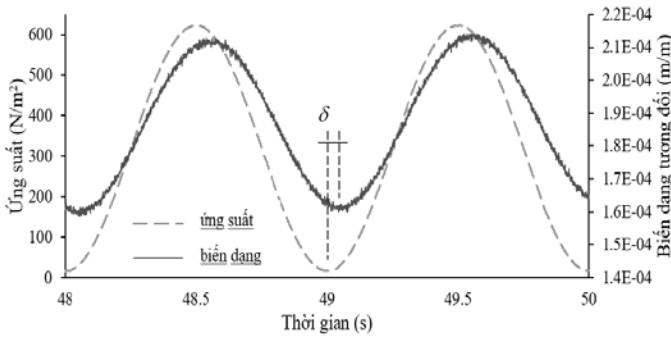


Hình 4. Bố trí mẫu, thiết bị để đo mô-đun động - hình chụp khi mở cửa buồng thí nghiệm sau thí nghiệm ở nhiệt độ -10°C. (1) Thanh truyền tải lên mẫu. (2) Cảm biến đo chuyển vị. (3) Cảm biến kiểm soát nhiệt độ.

Tín hiệu hình sin có thể được biểu diễn dưới dạng số phức, tải trọng tác động (ứng suất trong mẫu) và độ biến dạng của mẫu ở một thời điểm t bất kỳ có thể được viết lại dưới dạng số phức như các công thức dưới đây.

$$\sigma^* = \sigma_0 e^{i(\omega t + \phi_L)}; \quad \varepsilon^* = \varepsilon_0 e^{i(\omega t + \phi_D)}$$

Hình 5 minh họa ứng suất phức, biến dạng phức của mẫu cũng như độ trễ tín hiệu giữa hai đại lượng này trong một chu kỳ tải trọng.



Hình 5. Hình minh họa ứng suất phức, biến dạng phức và độ trễ tín hiệu giữa hai đại lượng này trong một chu kỳ tải trọng

Mô-đun phức của mẫu được định nghĩa bằng tỷ số của ứng suất phức trên biến dạng phức.

$$E^* = \frac{\sigma^*}{\varepsilon^*} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} e^{i(\omega t + \varphi_L - \varphi_D)}$$

Mô-đun động là mô-đun của số phức $|E^*| = \sigma_0/\varepsilon_0$ và góc lệch pha giữa tải trọng và biến dạng là $\varphi = \varphi_L - \varphi_D = \omega \cdot \delta$

Đối với thí nghiệm ép chèn, ứng suất và biến dạng không phải là hằng số nên công thức tính được thể hiện dưới dạng lực chia cho chuyển vị. Gọi ΔF_0 là biên độ của tín hiệu lực tác dụng và ΔU_0 là biên độ của tín hiệu chuyển vị ngang của các cảm biến chuyển vị gắn trên mẫu, mô-đun động của mẫu có thể được tính bằng công thức:

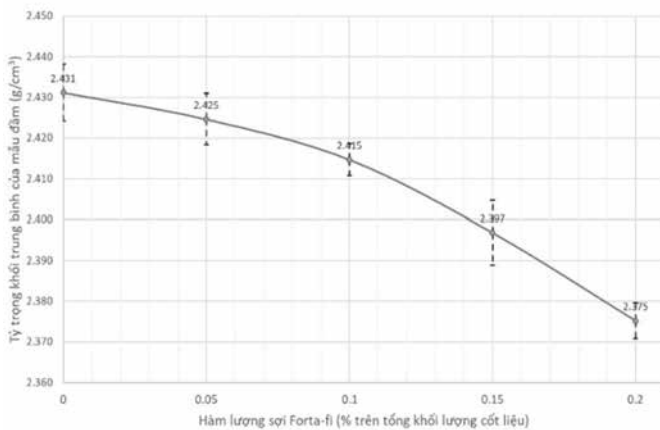
$$|E^*| = \frac{\Delta F_0}{\Delta U_0 \times H} (\vartheta + 0.27)$$

trong đó, ϑ là hệ số poisson của vật liệu, H là chiều cao của mẫu. Khi không có dữ liệu về hệ số Poisson, có thể tạm lấy hệ số này bằng 0.35 [12].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

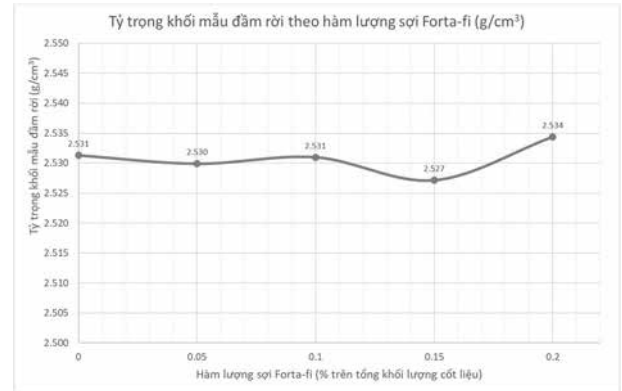
3.1. Xác định hàm lượng sợi Forta-fi hợp lý

Trong các biểu đồ dưới đây, sự thay đổi của các chỉ tiêu cơ lý được đo bằng thí nghiệm của các mẫu với tỷ lệ sợi Forta-fi từ 0.0% đến 0.2% trên tổng khối lượng cốt liệu của mẫu có thể dễ dàng quan sát được.



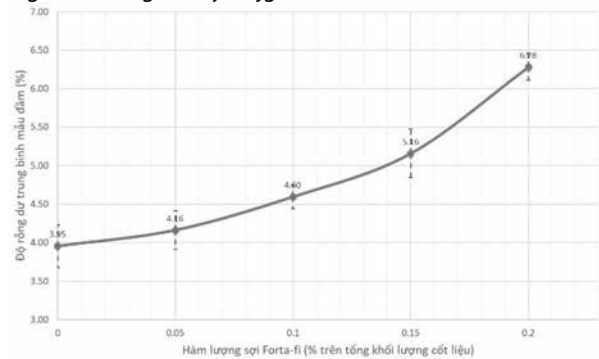
Hình 6. Tỷ trọng khối của các mẫu theo tỷ lệ sợi Forta-fi

Hình 6 cho thấy biến đổi của tỷ trọng khối trung bình mẫu đầm theo tỷ lệ sợi Forta-fi. Độ lệch chuẩn khi đo của tỷ trọng khối trung bình ứng với mỗi tỷ lệ sợi thêm vào cũng được trình bày. Theo biểu đồ này, tỷ trọng khối mẫu đầm giảm khi tỷ lệ sợi tăng. Tuy nhiên, do lượng sợi trộn vào khá nhỏ (tối đa 0.2%) nên khối lượng thể tích của mẫu đầm không bị ảnh hưởng quá nhiều bởi hàm lượng sợi: giá trị tối đa và tối thiểu chỉ cách nhau 2.3% (từ 2.375 g/cm³ đến 2.431 g/cm³).



Hình 7. Tỷ trọng khối tối đa của mẫu rời theo tỷ lệ sợi Forta-fi

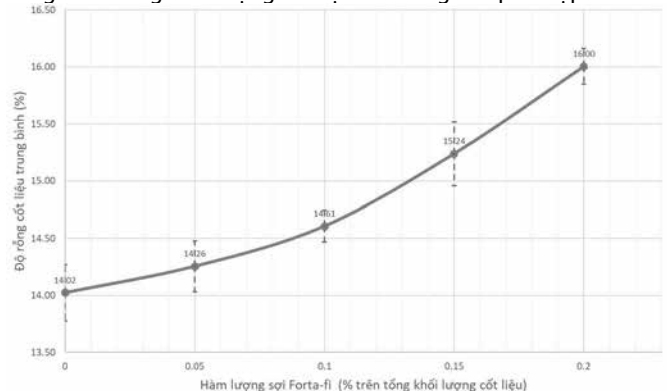
Với mỗi hàm lượng sợi Forta-fi thêm vào hỗn hợp, khối lượng riêng lớn nhất (tỷ trọng khối tối đa) của mẫu rời cũng được xác định và biểu diễn trên biểu đồ trong Hình 7. Kết quả cho thấy tỷ trọng khối tối đa của mẫu rời hầu như không thay đổi khi thêm một lượng nhỏ sợi Forta-fi vào trong hỗn hợp. Chênh lệch giữa giá trị tối đa và tối thiểu chỉ vào khoảng 0.27% (từ 2.527 g/cm³ đến 2.534 g/cm³). Điều này cho thấy hàm lượng nhỏ của sợi Forta-fi gần như không ảnh hưởng đến tỷ trọng khối tối đa của mẫu rời.



Hình 8. Độ rỗng dư của mẫu đầm theo tỷ lệ sợi Forta-fi

Độ rỗng dư trung bình của mẫu đầm tương ứng với hàm lượng sợi Forta-fi cũng được đo và trình bày trên biểu đồ trong Hình 8. Đối với hỗn hợp bê tông nhựa chặt trong nghiên cứu này, độ rỗng dư trung bình của các mẫu đầm này thay đổi từ 3.95% đến 6.28%: hàm lượng sợi càng cao, độ rỗng dư mẫu đầm càng lớn.

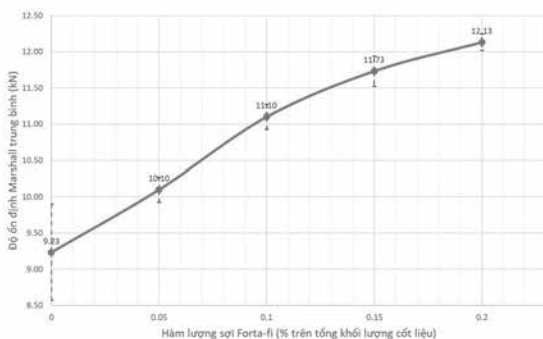
Với hỗn hợp BTNC, theo TCVN 8819:2011 [13] độ rỗng dư của mẫu đầm phải nằm trong khoảng từ 3% đến 6%. Xét theo tiêu chí này, hỗn hợp BTNC với hàm lượng sợi Forta-fi 0.2% cho độ rỗng dư trung bình vào khoảng 6.3%, vượt quá mức cho phép. Kết quả này cho thấy rằng các hỗn hợp với hàm lượng sợi Forta-fi lớn hơn hoặc bằng 0.2% tổng khối lượng cốt liệu sẽ không còn phù hợp.



Hình 9. Độ rỗng cốt liệu trung bình theo hàm lượng sợi Forta-fi

Độ rỗng cốt liệu trung bình cũng là một trong các đặc tính được xác định và xét đến khi đo lường ảnh hưởng của hàm lượng sợi Forta-fi lên tính chất cơ lý của BTNC. Kết quả nhận được từ các thí nghiệm để xác định độ rỗng của cốt liệu được trình bày trong *Hình 9*. Theo yêu cầu của [13] - TCVN 8819:2011 về việc thiết kế hỗn hợp BTNC12.5, giá trị nhỏ nhất của độ rỗng cốt liệu cần đạt được là 14.0%. Với điều kiện này, tất cả mẫu thí nghiệm với tỷ lệ sợi thay đổi từ 0.00% đến 0.2% trên tổng trọng lượng cốt liệu đều thỏa điều kiện yêu cầu khi độ rỗng cốt liệu nằm trong khoảng từ 14.02% đến 16%.

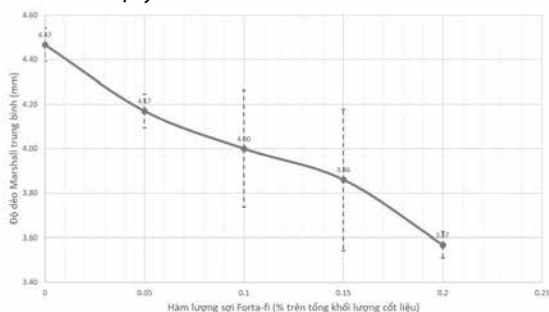
Trong bài báo này, độ ổn định Marshall cũng là một trong các tiêu chí được xem xét. Theo định nghĩa trong tiêu chuẩn ASTM D6927-15, độ ổn định Marshall không phải là giá trị lực nén lớn nhất đạt được khi thử nghiệm mẫu BTN chuẩn (mẫu hình trụ tròn chiều cao 63.5 mm, đường kính 101.6 mm) trên máy nén Marshall mà là giá trị lực giao cắt với đường tiếp tuyến của đường cong lực đã được dịch chuyển một đoạn bằng 1.5mm theo chiều dương của phương ngang [trích dẫn lại bài cũ, hoặc tiêu chuẩn ASTM].



Hình 10. Độ ổn định Marshall theo hàm lượng sợi

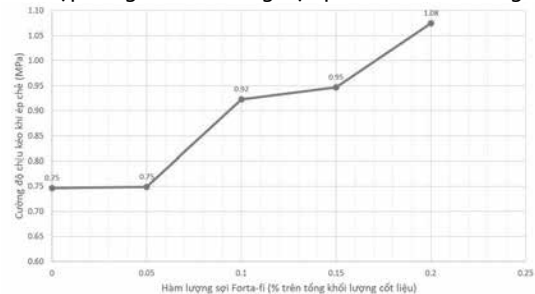
Độ ổn định Marshall của các mẫu đo được ứng với các hàm lượng sợi khác nhau được biểu diễn trong *Hình 10*. Theo các kết quả nhận được, độ ổn định Marshall đo được tăng dần từ 9.23kN đến 12.13kN khi tăng hàm lượng sợi. Theo TCVN 8819:2011 [13], để hỗn hợp bê tông nhựa chặt 12.5 đạt yêu cầu, độ ổn định Marshall nhỏ nhất của mẫu đầm cần có được là 8kN. Ứng với tiêu chí này, toàn bộ các mẫu đã thí nghiệm cho các kết quả thỏa mãn yêu cầu cần thiết về độ ổn định Marshall.

Cùng với độ ổn định, độ dẻo Marshall (biến dạng của mẫu BTN trên máy nén Marshall xác định tại thời điểm đo độ ổn định Marshall) cũng được đo với phương pháp cải tiến (giống phương pháp được mô tả trong [14]). Kết quả thu được trình bày trong *Hình 11* với độ dẻo Marshall trung bình thay đổi từ 3.57mm đến 4.47mm. Sợi Forta-fi thêm vào làm giảm độ dẻo Marshall của hỗn hợp. Theo TCVN 8819:2011 [13], hỗn hợp bê tông nhựa chặt 12.5 cần có độ dẻo Marshall nằm trong khoảng từ 2mm đến 4mm. Với tiêu chí này, các mẫu thí nghiệm với hàm lượng sợi từ 0.1% đến 0.2% là các mẫu đạt yêu cầu.



Hình 11. Độ dẻo Marshall trung bình theo hàm lượng nhựa

Bên cạnh đó, cường độ chịu kéo khi ép chế (gọi tắt là cường độ ép chế) của các mẫu cũng được xác định bằng máy thí nghiệm đa tính năng Pavetest trang bị ở phòng thí nghiệm Cầu Đường của Trường HCMUTE. Kết quả thí nghiệm của các mẫu ứng với 5 hàm lượng sợi Forta-fi được trình bày trên biểu đồ trong *Hình 12*. Cường độ ép chế của các mẫu thu được dao động từ 0.75MPa đến 1.08MPa. Theo kết quả này, sợi Forta-fi góp phần làm tăng khả năng chịu kéo khi ép chế của hỗn hợp BTNC: lượng sợi Forta-fi trong hỗn hợp càng nhiều, cường độ ép chế của mẫu càng lớn.



Hình 12. Cường độ ép chế theo hàm lượng sợi Forta-fi

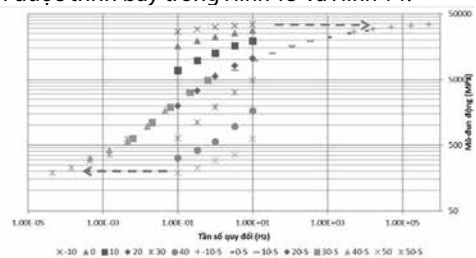
Với những kết quả khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng sợi Forta-fi đến tính chất cơ lý của hỗn hợp BTNC ở trên, việc thêm sợi Forta-fi vào đã giúp nâng cao tính chất cơ lý của hỗn hợp BTNC. Tuy nhiên, sợi Forta-fi trong hỗn hợp chỉ có thể phát huy tốt tác dụng khi được thêm vào với một hàm lượng hợp lý. Một phần là do chênh lệch khối lượng riêng quá lớn giữa cốt liệu và sợi Forta-fi nên rất khó để sợi có thể phân bố đều trong hỗn hợp khi hàm lượng sợi quá cao, từ đó ảnh hưởng đến chất lượng chung của hỗn hợp. Phần khác, khi hàm lượng sợi quá cao, một số chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp BTNC nhận được sẽ không còn thỏa mãn yêu cầu của TCVN 8819:2011 [13] (chẳng hạn ở mức 0,2% sợi Forta-fi, hỗn hợp nhận được sẽ có độ rỗng dư của mẫu đầm vào khoảng 6,28% > mức 6% yêu cầu trong TCVN 8819:2011 [13]). Hơn nữa, giá thành của sợi Forta-fi cũng khá cao nên việc thêm sợi vào hỗn hợp sẽ làm tăng giá thành của BTNC nhận được.

Các kết quả nghiên cứu khảo sát này cho thấy hàm lượng sợi Forta-fi hợp lý thêm vào hỗn hợp có thể chọn là 0.1% trên tổng khối lượng cốt liệu. Với lượng sợi này, các ưu điểm của sợi Forta-fi sẽ phát huy tốt tác dụng trong hỗn hợp với giá thành hợp lý trong khi các chỉ tiêu cơ lý vẫn thỏa mãn những yêu cầu thiết kế BTNC của TCVN 8819:2011 [13]. Trong phần tiếp theo của nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến hỗn hợp BTNC này, hàm lượng sợi 0.1% trên tổng khối lượng cốt liệu sẽ được chọn cho các mẫu có sợi nhằm so sánh ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến các tính chất cơ lý nâng cao của BTNC.

3.2. Kết quả của việc phân tích đặc trưng đàn hồi nhớt tuyến tính của vật liệu BTNC

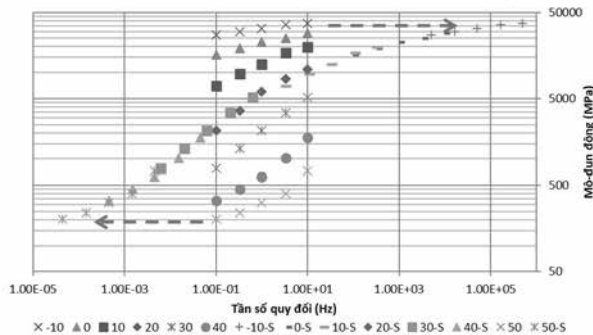
3.2.1. Mô-đun động

Mô-đun động của các mẫu bê tông nhựa chặt có và không có sợi Forta-fi được trình bày trong *Hình 13* và *Hình 14*.



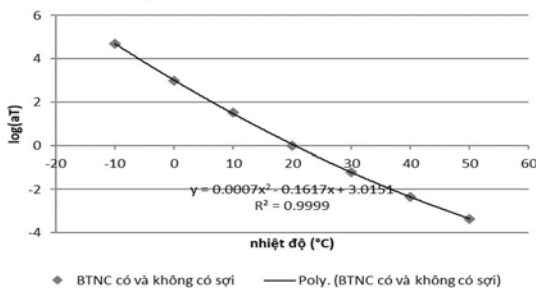
Hình 13. Mô-đun động của mẫu BTNC không sợi ở các nhiệt độ khác nhau (từ -10°C đến 50°C) và đường cong chủ được xây dựng với kỹ thuật dịch chuyển ngang

Kỹ thuật dịch chuyển ngang được áp dụng để xây dựng đường cong chủ của mô-đun động ở các mức nhiệt độ khác nhau. Dựa trên nguyên lý tương quan thời gian-nhiệt độ, mô-đun phức của vật liệu ở tần số f và nhiệt độ T tương đương với mô-đun phức ở tần số $f' = f \times a_T(T')$ và nhiệt độ T' , hoặc $E^*(f, T) = E^*[f \times a_T(T'), T']$, trong đó $a_T(T')$ được gọi là hệ số dịch chuyển.



Hình 14. Mô-đun động của mẫu BTNC có sợi ở các nhiệt độ khác nhau (từ -10°C đến 50°C) và đường cong chủ được xây dựng với kỹ thuật dịch chuyển ngang

Các hệ số dịch chuyển của hỗn hợp BTNC có và không có sợi Forta-fi được trình bày trong Hình 15.



Hình 15. Hệ số dịch chuyển ngang để xây dựng đường cong chủ Mô-đun động của BTNC

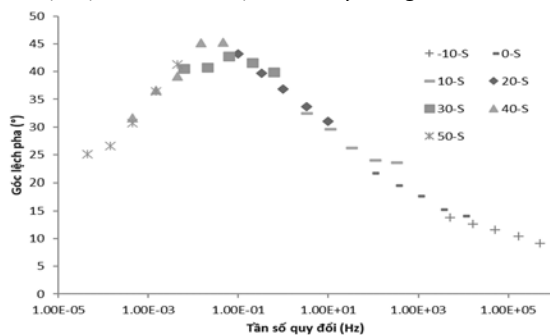
Đáng chú ý là hệ số dịch chuyển này cũng là một tính chất của vật liệu đàn hồi nhớt do đường cong mô phỏng các hệ số dịch chuyển chỉ phụ thuộc vào loại vật liệu, có thể được mô hình hóa bằng phương trình sau:

$$\log(a_T) = a \cdot T^2 + b \cdot T + c$$

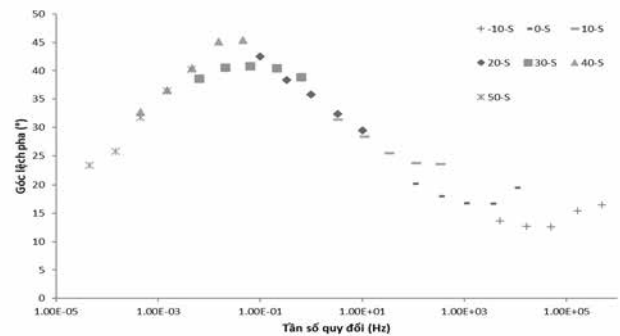
với: $a = 0.0007$, $b = -0.1617$ và $c = 3.0151$; T là nhiệt độ. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng phụ gia dạng sợi khi thêm vào trong hỗn hợp BTNC với hàm lượng nhỏ (0.1% trên tổng khối lượng cốt liệu) không làm thay đổi hệ số dịch chuyển của hỗn hợp.

3.2.2. Góc lệch pha

Các góc lệch pha (giữa tín hiệu tải trọng với tín hiệu chuyển vị) của mẫu BTNC thông thường có và không có sợi Forta-fi ở các tần số và nhiệt độ khác nhau được trình bày trong các Hình 16 và 17.



Hình 16. Đường cong chủ của góc lệch pha được xây dựng với kỹ thuật dịch chuyển ngang - BTNC không sợi

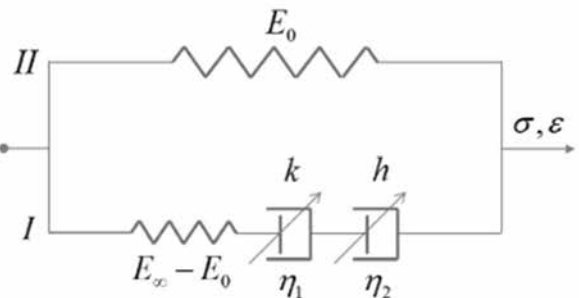


Hình 17. Đường cong chủ của góc lệch pha được xây dựng với kỹ thuật dịch chuyển ngang - BTNC có sợi

Có thể thấy rằng dữ liệu của góc pha tạo thành một đường cong chủ đạo duy nhất, điều này có nghĩa là cả BTNC có và không có sợi Forta-fi đều tuân thủ quy luật thời gian- nhiệt độ (TTSP, time-temperature superposition). Ở một nhiệt độ xác định, góc pha có xu hướng tiến đến không khi tần số tiến đến không hoặc vô cùng tương ứng với giai đoạn nhớt của vật liệu mất đi độ cứng hoặc giai đoạn nhớt gần như trở thành đàn hồi.

3.2.3. Mô phỏng ứng xử đàn hồi nhớt của vật liệu bằng mô hình Huet-Sayegh

Mô hình ứng xử của Huet và Sayegh [15,16] là một trong những mô hình có khả năng dự báo tốt nhất ứng xử đàn hồi nhớt của hỗn hợp bê tông nhựa. Mô hình này bao gồm một lò xo nối song song với một chuỗi gồm một lò xo, hai phần tử cản nhớt bậc 2 như được minh họa trong Hình 18.



Hình 18. Mô hình ứng xử của Huet và Sayegh

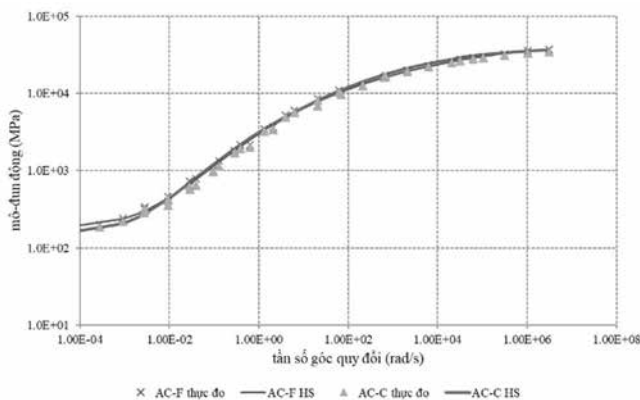
Mô-đun phức của mô hình này được tính toán bằng công thức dưới đây.

$$E_{HS}^*(\omega) = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + \delta [\omega \tau(T)]^{-k} + [\omega \tau(T)]^{-h}}$$

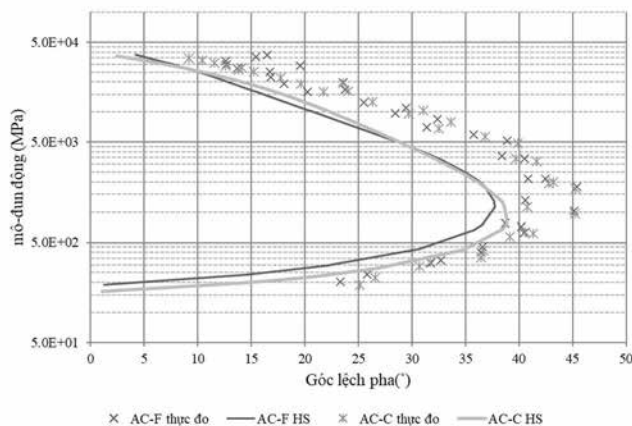
Các tham số của các mô hình này được trình bày trong Bảng 4. Các đường cong thích hợp hóa giữa lý thuyết và kết quả đo thực nghiệm cũng được trình bày trong Hình 19 và 20.

Bảng 4. Tham số của mô hình Huet-Sayegh để mô phỏng ứng xử đàn hồi nhớt của BTNC ở nhiệt độ 20°C.

Hỗn hợp	E_0 (MPa)	E_∞ (MPa)	k	h	δ	τ ($T_{ref}=20^\circ\text{C}$)
AC-C	160.00	40000	0.30	0.69	5.13	0.14
AC-F	185.47	46480	0.23	0.61	3.66	0.032



Hình 19. Kết quả dự đoán của mô hình Huet-Sayegh với Mô-đun động và tần số góc quy đổi



Hình 20. Kết quả dự đoán của mô hình Huet-Sayegh với Mô-đun động và góc lệch pha. Biểu đồ Black

Theo các kết quả này, mô hình Huet-Sayegh có thể dự đoán khá tốt ứng xử của vật liệu BTNC. Đường cong mô-đun động/tần số góc nhận được với mô hình Huet-Sayegh và đường cong thực nghiệm khớp với nhau khá tốt cho cả BTNC có và không có sợi Forta-fi. Chính vì thế, việc dự đoán mô-đun động khi tần số góc tiến về 0 (E_0) và khi tần số góc tiến đến vô cùng (E_∞) nhận được từ mô hình Huet Sayegh là đáng tin cậy. Theo mô hình dự đoán này, E_0 của mẫu BTNC có sợi cao hơn của mẫu không sợi khoảng 15%. Điều này có nghĩa là ở tần số thấp hoặc ở nhiệt độ cao, ảnh hưởng của sợi đến mô-đun của mẫu được thể hiện rõ nhất và sợi cũng đã làm tăng độ cứng của mẫu.

Kết quả này còn cho thấy rằng mô hình Huet-Sayegh có thể đáp ứng tốt khi được sử dụng để mô hình hóa ứng xử của các mẫu có sợi.

Các kết quả của nghiên cứu này sẽ được xem xét kiểm nghiệm lại bằng các nghiên cứu chuyên sâu hơn trong thời gian tới.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến tính chất cơ lý của hỗn hợp bê tông nhựa với cấp phối chặt và sử dụng loại chất kết dính thông thường (bitum 60/70) đã được khảo sát. Nhiều thí nghiệm trên các mẫu Marshall được chế tạo với các hàm lượng sợi Forta-fi khác nhau đã được tiến hành để xác định các chỉ tiêu cơ lý của BTNC, qua đó xác định hàm lượng sợi Forta-fi phù hợp. Qua các kết quả nhận được, hàm lượng sợi phù hợp nhất được chọn để thêm vào hỗn hợp nhằm tạo hỗn hợp BTNC có sợi Forta-fi là 0.1% trên tổng khối lượng cốt liệu.

Các kết luận sau được rút ra từ việc phân tích đặc trưng đàn hồi nhớt tuyến tính của vật liệu BTNC có và không có sợi Forta-fi:

- Sợi Forta-fi làm tăng các đặc tính cơ lý cơ bản của hỗn hợp bê tông nhựa như độ ổn định Marshall, cường độ ép chèn của mẫu.
- Mô-đun động ở nhiệt độ cao hoặc tần số thấp của mẫu BTNC có sợi cao hơn của mẫu không sợi khoảng 15% khi thêm sợi Forta-fi vào hỗn hợp với một lượng rất nhỏ (0.1% tổng khối lượng cốt liệu)
- Hệ số dịch chuyển ngang để xây dựng đường cong chủ mô-đun động cũng như góc lệch pha không thay đổi khi thêm sợi Forta-fi vào hỗn hợp.

- Mô hình Huet Sayegh có thể được dùng để mô phỏng ứng xử đàn hồi nhớt của BTNC có và không có sợi

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này thuộc đề tài mã số T2022-143 được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2022.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Giao thông vận tải - Quyết định 858/QĐ-BGTVT, "Hướng dẫn áp dụng hệ thống các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành nhằm tăng cường quản lý chất lượng thiết kế và thi công mặt đường bê tông nhựa nóng đối với các tuyến đường ô tô có quy mô giao thông lớn" - (2014).
- [2] Nguyen, H.T.T., Tran, T.N.: Laboratory study for the use of stone mastic asphalt in Vietnam (in Vietnamese). Scientific Journal of Thu Dau Mot University, 1(32), 57-62 (2017).
- [3] Nguyen, H.T.T., Tran, T.N.: Effects of crumb rubber content and curing time on the properties of asphalt concrete and stone mastic asphalt using dry process. IJPRT, 13(3), 238-244 (2018).
- [4] Tran, T.N., Nguyen, H.T.T., Nguyen, K.S., Nguyen, N.T.H.: Semi-flexible Material: The Sustainable Alternative for the Use of Conventional Road Materials in Heavy-Duty Pavement. In: Congrès International de Géotechnique – Ouvrages – Structures, pp. 17-24. Springer, Singapore (2018).
- [5] Abtahi, S. M., Sheikhzadeh, M., & Hejazi, S. M. (2009). Fiber- reinforced asphalt-concrete- A review. Construction and Building Materials, 24(6), 871-877.
- [6] H.T.T. Nguyen, V.T. Tran, "Analysis of stress and strain in flexible pavement structures comprised of conventional and high modulus asphalt using viscoelastic theory", in Proceeding of Rebuilt2019 Conference, Iasi, 2019, in press.
- [7] ASTM D36. Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus). The American Society for Testing and Materials, 2000.
- [8] ASTM D5. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. The American Society for Testing and Materials, 2006.
- [9] ASTM D113. Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. The American Society for Testing and Materials, 2007.
- [10] ASTM D70. Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Bituminous Materials. The American Society for Testing and Materials, 2003.
- [11] AASHTO T 342-11: Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA). AASHTO, Washington (2011).
- [12] EN 12697-26, "Bituminous mixtures- Test methods for hot mix asphalt - Part26: Stiffness". Brussel: European Standards, 2004.
- [13] Bộ Giao thông vận tải - TCVN 8819-2011. Mặt đường bê tông nhựa nóng-Yêu cầu thi công và nghiệm thu, (2011).
- [14] Do, T.T.; Nguyen, H.T.T.; Nguyen, D.L.; Tran, V.T., "Thiết kế cấp phối và nghiên cứu ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp đá đầm vừa nhựa - SMA 12.5". Tạp chí của Bộ Xây dựng số 03-2022.
- [15] Huet, C.: Etude par une méthode d'impédance du comportement visco-élastique des matériaux hydrocarbures (Ph.D. Thesis). Faculté des Sciences de Paris, Paris (1963).
- [16] Sayegh, G.: Contribution à l'étude des propriétés visco-élastiques des bitumes purs et des bétons bitumineux (Ph.D. Thesis). Sorbonne University, Paris (1965).