

# Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của cốt sợi đến độ bền bê tông nhựa dùng cho mặt đường

## Evaluating the influence of fiber reinforces on the durability of asphalt mixture using for pavement coating

> 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](mailto:thodt@hcmute.edu.vn)

### TÓM TẮT

Với nhiều ưu điểm, bê tông nhựa (BTN) là vật liệu composite tốt nhất được sử dụng cho lớp mặt đường xe chạy. Trong điều kiện khai thác khắc nghiệt như ở Việt Nam, mặt đường BTN dễ bị nứt và hư hỏng dưới tác động của lặp đi lặp lại của xe tải nặng, nhiệt độ cao, hoặc xói mòn do mưa. Mức độ hư hại dần dần tăng lên theo thời gian và làm giảm đáng kể tuổi thọ của mặt đường. Bài báo này nhằm đánh giá ảnh hưởng sợi gia cường (dưới dạng phụ gia) lên các tính chất cơ học và độ bền của hỗn hợp BTN làm mặt đường. Phương pháp Marshall được sử dụng để chế tạo mẫu và thiết kế hỗn hợp, thí nghiệm SCB được sử dụng để đánh giá khả năng chống nứt và độ bền của các hỗn hợp BTN. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc thêm sợi giúp cải thiện các thuộc tính cơ học của hỗn hợp BTN với hàm lượng sợi tối ưu là 0,1%. Thí nghiệm SCB cũng cho thấy việc thêm sợi giúp cải thiện khả năng chống nứt của hỗn hợp nhựa đường.

**Từ khóa:** Hỗn hợp bê tông nhựa; SMA; Marshall; sợi Forta-fi; thí nghiệm SC; sức kháng nứt.

### ABSTRACT

Asphalt mixture is widely regarded as the most effective composite material for road pavement due to its many advantages. Under severe conditions such as those experienced in Vietnam-characterized by heavy traffic, high temperatures, and rain-induced erosion- asphalt pavement can be prone to fractures and fatigue damage. Over time, the degree of damage increases, which significantly shortens the lifespan of road surfaces. This paper seeks to assess the effect of fiber reinforcement on the mechanical properties and durability of asphalt mixtures. The Marshall method was utilized for sample compaction and mix design, while the Semi-Circular Bending (SCB) test was employed to evaluate cracking resistance and durability of the mixtures. Experimental results demonstrate that the inclusion of fiber enhances the mechanical properties of asphalt mixtures, with an optimal fiber content determined to be 0.1%. The SCB test findings further confirm that fiber reinforcement improves the cracking resistance of the asphalt mix.

**Keywords:** Asphalt mixtures; SMA; Forta-fi fiber; Marshall; SCB test; cracking resistance.

### 1. GIỚI THIỆU

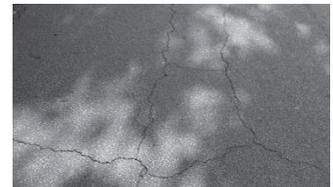
Bê tông nhựa là loại vật liệu composite thích hợp cho lớp mặt đường, bãi đỗ xe, sân bay, ... nhờ vào các ưu điểm của nó. Tính linh hoạt của nhựa đường cho phép dễ dàng tạo ra các hỗn hợp vật liệu bê tông nhựa có thể đảm bảo độ bền mặt đường cho từng điều kiện tải trọng giao thông và khí hậu cụ thể. Hơn nữa, do không cần bố trí khe co giãn nên xe di chuyển trên mặt đường BTN sẽ mượt mà và êm ái hơn nhiều so với xe di chuyển trên mặt đường bê tông xi măng. Ngoài ra, chi phí thi công mặt đường bê tông nhựa thấp hơn so với mặt đường bê tông xi măng (mặt đường cứng).

Theo thời gian, dưới tác động liên tục từ tải trọng của các phương tiện hạng nặng, mặt đường BTN dễ bị nứt vỡ và hư hỏng do môi, làm giảm đáng kể tuổi thọ của mặt đường. Các vấn đề phổ biến như nứt, lún và hư hỏng do nước trên mặt đường nhựa có thể liên quan đến lỗi thiết kế, chẳng hạn như tỷ lệ phối hợp hoặc kết cấu mặt đường không phù hợp, cũng như các yếu tố thi công hoặc môi trường. Dưới tác dụng liên tiếp của xe cộ và môi trường, các vấn đề

điển hình như lún và nứt trên mặt đường nhựa ngày càng trầm trọng dẫn đến suy giảm nhanh chức năng của mặt đường và các hư hỏng vi mô bắt đầu hình thành bên trong cấu trúc của nó. Trong điều kiện môi trường khắc nghiệt như chu kỳ tải trọng giao thông lớn, nhiệt độ cao và xói mòn do mưa như trường hợp Việt Nam, mức độ hư hỏng dần dần sâu hơn, lún vi mô có thể leo thang thành lún rõ rệt hơn (Hình 1), các vết nứt nhỏ chuyển biến thành các vết nứt lớn (Hình 2).



**Hình 1.** Hấn lún vết bánh xe dưới tác dụng của tải trùng phục



**Hình 2.** Nứt mặt đường do môi của vật liệu BTN

Nhiều giải pháp đã được nghiên cứu và áp dụng tại Việt Nam nhằm nâng cao khả năng chống lún của mặt đường nhựa chẳng hạn như sử dụng chất kết dính với phụ gia polymer, thêm mạt cao su vào hỗn hợp, dùng bê tông nhựa với cấp phối đá không liên tục (SMA), thực hiện thiết kế mặt đường bán cứng và thậm chí áp dụng đường cong cấp phối thô hơn để giảm lượng chất kết dính [1,2,3]. Tương tự, một loạt các giải pháp đã được nghiên cứu để giải quyết các vấn đề nứt mỏi mặt đường. Các phương pháp này bao gồm kiểm soát độ dày màng nhựa đường trong hỗn hợp [4], sử dụng hàm lượng nhựa đường cao [5], gia cường lớp mặt đường bằng lưới địa kỹ thuật [6] và tích hợp sợi vào thành phần hỗn hợp [7,8].

Có thể cải thiện khả năng chống lún ngắn hạn của hỗn hợp bitum bằng cách áp dụng nhiều giải pháp khác nhau như đã nêu ở trên. Tuy nhiên, một số trong các giải pháp này có thể ảnh hưởng xấu đến khả năng kháng mỏi dài hạn của mặt đường nhựa. Do đó, việc kiểm soát khả năng kháng lún và sử dụng độ lún để dự đoán tuổi thọ của mặt đường nhựa là cần thiết nhưng phải đi đôi với việc đánh giá và dự đoán khả năng chống kháng mỏi của hỗn hợp và mặt đường bitum trước khi phê duyệt vật liệu. Sử dụng sợi gia cường như sợi Forta-fi có thể là một giải pháp tốt cho mục đích này.

Cùng với việc tăng cường sức kháng lún và kháng mỏi của hỗn hợp BTN, phương pháp thử nghiệm cũng rất quan trọng để đánh giá chính xác hiệu quả của những cải thiện này. Trong hai thập kỷ qua, các nhà nghiên cứu đã phát triển các phương pháp thử nghiệm khác nhau để đo lường khả năng chống nứt của hỗn hợp BTN, chẳng hạn như thử nghiệm uốn 4 điểm [9], thí nghiệm mỏi thông qua nén-kéo dọc trục [10], thí nghiệm Texas overlay [11], thí nghiệm mỏi thông qua kéo gián tiếp [12], thí nghiệm SCB [13], v.v. Trong số các phương pháp thử nghiệm này, thí nghiệm SCB khá phổ biến do dễ triển khai và dễ thực hiện. Tải trọng sử dụng trong thí nghiệm này không phức tạp, việc tạo mẫu khá dễ dàng. Hơn nữa, với thí nghiệm SCB, ứng suất áp dụng lên mẫu gần giống với ứng suất mà mặt đường thực tế phải chịu [14] nên phương pháp này rất phù hợp để đánh giá khả năng chống nứt của hỗn hợp nhựa đường.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến các tính chất vật lý và cơ học của hỗn hợp nhựa đường cũng như khả năng chống nứt của nó bằng thông qua thí nghiệm SCB.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Vật liệu

Nghiên cứu thực nghiệm này nhằm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến ứng xử nứt và lún của hỗn hợp đá dăm vừa nhựa (SMA) và hỗn hợp bê tông nhựa đường thông thường (AC).

Tất cả các nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu này, trừ bột khoáng có kích thước hạt mịn  $D < 0.075\text{mm}$ , đều được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Đầu tư Xây dựng BMT, bao gồm cả cốt liệu thô, chất độn, cũng như bitum.

#### 2.1.1. Cốt liệu

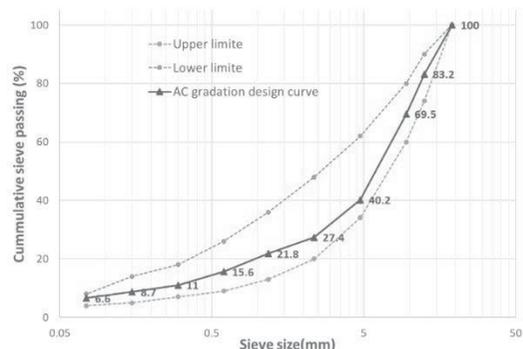
Các cốt liệu (mịn và thô) sử dụng trong nghiên cứu này có nguồn gốc từ khu vực phía Nam Việt Nam. Cốt liệu đá granite đã trải qua quá trình xử lý bằng hệ thống máy nghiền trục đứng để tạo hình góc cạnh, từ đó tăng cường sự liên kết giữa các hạt. *Bảng 1* trình bày một loạt các tính chất kỹ thuật quan trọng của cốt liệu được sử dụng trong nghiên cứu này. Mặt khác, chất độn đá vôi là sản phẩm của Holcim® Việt Nam.

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

| Chỉ tiêu đánh giá cốt liệu | Cốt liệu dung trong đề tài | Giới hạn cho phép |
|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| Độ mài mòn Los Angeles (%) | 17.20                      | Max 30            |
| Hàm lượng hạt thoi dẹt (%) | ≤ 6                        | Max 10            |

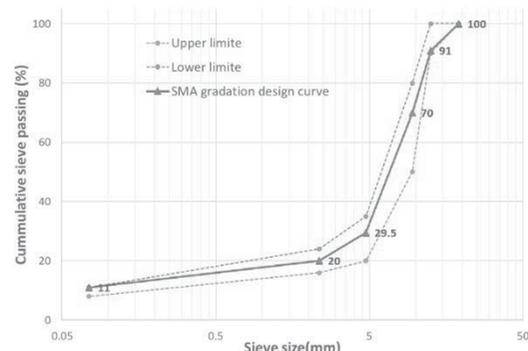
|                                |       |         |
|--------------------------------|-------|---------|
| Khả năng chịu nén (MPa)        | 130   | Min 100 |
| Độ hút nước (%)                | 0.27  | Max 2   |
| Tỷ trọng khối của cốt liệu thô | 2.685 | -       |
| Tỷ trọng khối của cốt liệu mịn | 2.696 | -       |
| Tỷ trọng khối của bột khoáng   | 2.718 | -       |

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 [15] và được trình bày như trong *Hình 3*.



**Hình 3.** Đường cong logarit cấp phối thiết kế hỗn hợp BTNC 12.5

Với hỗn hợp đá dăm vừa nhựa SMA, đường cong cấp phối hạt sử dụng cho việc chuẩn bị mẫu giống như đường cong cấp phối sử dụng trong [16] và được trình bày trong *Hình 4*.



**Hình 4.** Đường cong logarit cấp phối thiết kế hỗn hợp SMA

#### 2.1.2. Chất kết dính bitum

Với hỗn hợp BTNC, đề tài nghiên cứu này sử dụng bi-tum 60/70 làm chất kết dính cho. 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 này**

| 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 dẫn dài ở 25°C (cm)                     | >140*                    | Min 100 (ASTM D113 [9])        |
| Tỷ trọng khối (g/cm <sup>3</sup> )         | 1.04                     | 1.00-1.05 (ASTM D70 [10])      |

(\*) Khoảng đo tối đa của thước đo của máy là 140 cm

Đối với hỗn hợp đá dăm vừa nhựa SMA, chất phụ gia polymer được thêm vào nhựa đường tạo thành chất kết dính sử dụng cho hỗn hợp SMA. Các tính chất kỹ thuật của chất kết dính này giống với sản phẩm được sử dụng trong [16].

Tỷ lệ nhựa đường theo trọng lượng của hỗn hợp SMA (hàm lượng nhựa) thường cao hơn so với bê tông nhựa đường thông thường (bê tông nhựa chặt). Trong nghiên cứu này, hàm lượng bitum được sử dụng là cho hỗn hợp SMA là 6,6% trên tổng trọng lượng, đây là hàm lượng chất kết dính tối ưu thu được từ nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả [16].

### 2.1.3. Sợi Forta-fi

Để đánh giá hiệu quả của phụ gia dạng sợi đối với các tính chất cơ lý cũng như khả năng kháng hàn lún và độ bền của hỗn hợp bê tông nhựa Asphalt, sợi tổng hợp có độ bền cao do Tập đoàn Forta-fi sản xuất (gọi tắt là sợi Forta-fi) đã được xem xét đưa vào hỗn hợp. Các đặc tính cơ lý của loại sợi này giống như sợi sử dụng trong [16].

### 2.1.4. Phụ gia cellulose

Đối với hỗn hợp SMA, hàm lượng chất kết dính cao được sử dụng có thể gây ra hiện tượng 'chảy nhựa đường' và làm giảm mạnh chất lượng của hỗn hợp. Để ngăn chặn vấn đề này, chất phụ gia cellulose CFF TOPCEL được thêm vào hỗn hợp với hàm lượng 0,3% theo [17].

## 2.2. Phương pháp thí nghiệm

### 2.2.1. Đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến các đặc tính cơ lý của hỗn hợp BTN

Tác động của phụ gia dạng sợi đến các tính chất cơ lý của hỗn hợp bê tông nhựa sẽ được đánh giá. Các hỗn hợp bê tông nhựa này được chế tạo theo chỉ dẫn của [3], áp dụng phương pháp Marshall. Các mẫu thí nghiệm hình trụ có đường kính 101mm và chiều cao 63,5mm được chuẩn bị bằng máy đầm Marshall. Tối thiểu 5 × 3 mẫu đã được tạo ra ở 5 hàm lượng sợi (từ 0% đến 0,2% tổng trọng lượng) cho cả hỗn hợp BTNC và đá dăm vữa nhựa SMA. Nhiều thí nghiệm khác nhau đã được thực hiện trên các mẫu này để xác định các đặc tính khác nhau của hỗn hợp như độ rỗng, độ rỗng trong cốt liệu, trọng lượng riêng khối, trọng lượng riêng tối đa, độ ổn định Marshall và độ chảy. Tất cả các thí nghiệm đều được thực hiện tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.Hồ Chí Minh (HCMUTE). Việc phân tích các kết quả thu được sẽ giúp xác định hàm lượng sợi tối ưu cho các hỗn hợp bê tông nhựa được tạo ra với cấp phối cốt liệu đã thiết kế.

### 2.2.2. Đánh giá ảnh hưởng của sợi Forta-Fi đến khả năng kháng nứt của BTN

Trong phương pháp thực nghiệm này, thí nghiệm (SCB) được sử dụng để đặc trưng khả năng chống nứt của các hỗn hợp nhựa đường. Thí nghiệm này được thực hiện theo tiêu chuẩn của Hiệp hội Giao thông và Đường cao tốc các Tiểu bang Hoa Kỳ (AASHTO) TP 105. Các mẫu hình trụ có đường kính 150 mm được tạo ra bằng máy đầm Gyrotory do Matest phát triển và sản xuất. Các mẫu này được đầm nén với độ rỗng không khí được kiểm soát ở mức 7%. Các mẫu bán trụ có độ dày 57±1 mm sau đó được cắt ra từ các mẫu hình trụ này.



Hình 5. Bố trí thí nghiệm SCB

Để đánh giá khả năng chống nứt, một khe có chiều rộng 2,5 mm và song song với trục chất tải được cắt chính xác ở giữa phần phẳng của mỗi mẫu. 3 độ sâu khe cắt dao động từ 25 đến 38 mm đã được khảo sát trong nghiên cứu này. Ít nhất 3 mẫu được tạo ra cho mỗi độ sâu khe cắt và cho mỗi hỗn hợp nhựa đường, có và không có sợi. Thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ 25 °C, trong đó mẫu được áp dụng tải tăng đều theo phương thẳng đứng cho đến khi xảy ra phá hủy, với tốc độ dịch chuyển không đổi là 0,5 mm/phút. Sự dịch chuyển theo phương thẳng đứng và tải trọng được ghi lại liên tục trong suốt quá trình thử nghiệm. Thiết lập thí nghiệm được trình bày trong Hình 5."

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Đánh giá tác động của sợi đến các tính chất vật lý và cơ học của hỗn hợp, xác định hàm lượng sợi tối ưu

Kết quả thu được từ các thí nghiệm khác nhau để xác định các tính chất cơ bản của các mẫu, được tạo ra với 5 mức hàm lượng sợi từ 0,0% đến 0,2% so với tổng khối lượng của hỗn hợp, được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4. Theo các kết quả này, thay đổi của trọng lượng riêng khối liên quan đến hàm lượng sợi là khá hạn chế. Chênh lệch giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của trọng lượng riêng khối của mẫu đầm nén chỉ là 2% (từ 2,38 g/cm<sup>3</sup> đến 2,43 g/cm<sup>3</sup>) đối với hỗn hợp BTNC và chỉ dưới 1% (từ 2,38 g/cm<sup>3</sup> đến 2,40 g/cm<sup>3</sup>) đối với hỗn hợp SMA.

Bảng 3. Đặc tính cơ bản của BTNC với hàm lượng sợi khác nhau

| Tính chất cơ lý  | Hàm lượng sợi Forta-fi trong mẫu BTNC sử dụng nhựa 60/70 |       |       |       |       |
|--|--|-------|-------|-------|-------|
|  | 0%   | 0.05% | 0.1%  | 0.15% | 0.2%  |
| Khối lượng riêng mẫu đầm, g/cm <sup>3</sup>              | 2.43   | 2.42  | 2.41  | 2.40  | 2.38  |
| Khối lượng riêng lớn nhất của mẫu rời, g/cm <sup>3</sup> | 2.53   | 2.53  | 2.53  | 2.53  | 2.53  |
| Độ rỗng mẫu đầm, %                                       | 3.95   | 4.16  | 4.60  | 5.16  | 6.28  |
| Độ rỗng cốt liệu, %                                      | 14.02  | 14.26 | 14.61 | 15.24 | 16.00 |
| Độ ổn định Marshall, kN                                  | 9.23   | 10.10 | 11.10 | 11.73 | 12.13 |
| Độ dẻo Marshall, mm                                      | 3.47   | 3.17  | 3.00  | 2.86  | 2.57  |
| Cường độ chịu kéo gián tiếp, Mpa                         | 0.747  | 0.749 | 0.923 | 0.947 | 1.075 |

Tương ứng với mỗi tỷ lệ sợi, trọng lượng riêng tối đa của mẫu chưa đầm nén cũng được đo. Kết quả thu được cho thấy trọng lượng riêng tối đa của mẫu không thay đổi với tất cả các hàm lượng sợi (2,53 g/cm<sup>3</sup> cho hỗn hợp AC và 2,49 g/cm<sup>3</sup> cho hỗn hợp SMA). Hàm lượng sợi không ảnh hưởng đến trọng lượng riêng tối đa.

Bảng 4. Đặc tính cơ bản của hỗn hợp SMA với hàm lượng sợi khác nhau

| Tính chất cơ lý  | Hàm lượng sợi Forta-fi trong mẫu hỗn hợp SMA sử dụng nhựa Polymer |       |       |       |       |
|--|---|-------|-------|-------|-------|
|  | 0%  | 0.05% | 0.1%  | 0.15% | 0.2%  |
| Khối lượng riêng mẫu đầm, g/cm <sup>3</sup>              | 2.40  | 2.40  | 2.39  | 2.39  | 2.38  |
| Khối lượng riêng lớn nhất của mẫu rời, g/cm <sup>3</sup> | 2.49  | 2.49  | 2.49  | 2.49  | 2.49  |
| Độ rỗng mẫu đầm, %                                       | 3.78  | 3.83  | 4.01  | 4.09  | 4.31  |
| Độ rỗng cốt liệu, %                                      | 17.14   | 17.17 | 17.40 | 17.58 | 17.67 |
| Độ ổn định Marshall, kN                                  | 11.30   | 12.13 | 12.70 | 13.07 | 13.50 |
| Độ dẻo Marshall, mm                                      | 4.23  | 4.23  | 3.90  | 3.83  | 3.77  |
| Cường độ chịu kéo gián tiếp, Mpa                         | 0.976   | 0.984 | 1.073 | 1.111 | 1.222 |

Tuy nhiên, độ rỗng của mẫu đầm theo hàm lượng sợi Forta-fi thay đổi từ 3,95% đến 6,28% (giá trị chấp nhận được là 3% đến 6% theo [19]) đối với hỗn hợp BTNC và từ 3,78% đến 4,31% đối với hỗn hợp SMA (giá trị chấp nhận được là 3% đến 4,5% theo yêu cầu của SMA [18]), tương ứng với các mẫu có hàm lượng sợi thay đổi lần lượt từ 0% đến 0,2%. Kết quả này cho thấy hàm lượng sợi có ảnh hưởng đáng kể đến độ rỗng của các mẫu đầm nén. Tuy nhiên, hầu hết các mẫu thử đều có độ rỗng nằm trong phạm vi chấp nhận được, ngoại trừ hỗn hợp BTNC với hàm lượng sợi 0,2%.

Độ rỗng trong cốt liệu cũng là một chỉ số trong thiết kế cấp phối. Theo yêu cầu của thiết kế hỗn hợp [18] và [19], giá trị tối thiểu của độ rỗng trong cốt liệu của hỗn hợp SMA và hỗn hợp AC phải lần lượt là 17,0% và 14,0%. Các độ rỗng trong cốt liệu thu được cho các hàm lượng sợi khác nhau được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4 cho thấy chỉ số này luôn cao hơn 14% đối với hỗn hợp BTNC và cao hơn 17% đối với hỗn hợp SMA. Vì vậy, điều kiện liên quan đến độ rỗng trong cốt liệu được đáp ứng cho tất cả các hàm lượng sợi được xem xét trong nghiên cứu này và cho cả hai loại hỗn hợp BTNC và SMA."

Nghiên cứu này cũng xem xét độ ổn định Marshall và độ chảy dẻo của mẫu đầm nén. Theo định nghĩa, độ ổn định Marshall là tải trọng kháng đỉnh đạt được trong quá trình gia tải bằng chuyển vị với tốc độ không đổi trên mẫu tiêu chuẩn (mẫu hình trụ có đường kính 101,6mm và chiều cao 63,5mm) với thiết bị Marshall.

Độ ổn định Marshall tương ứng với các hàm lượng sợi khác nhau của hỗn hợp BTNC và hỗn hợp SMA được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4. Theo các kết quả này, độ ổn định Marshall trung bình dao động từ 9,23kN đến 12,13kN cho hỗn hợp BTNC (tăng đến 31%) và từ 11,30kN đến 13,50kN cho hỗn hợp SMA (tăng đến 19,5%) với hàm lượng sợi tương ứng thay đổi từ 0,0% đến 0,2%. Những kết quả này cho thấy việc thêm sợi giúp cải thiện độ ổn định Marshall của hỗn hợp. Theo [19] và [20], độ ổn định Marshall tối thiểu phải đạt 8kN và 6kN tương ứng cho hỗn hợp BTNC và hỗn hợp SMA để coi rằng các hỗn hợp BTNC và SMA này đáp ứng yêu cầu. Theo yêu cầu này, tất cả các mẫu trong thí nghiệm này đều thỏa mãn điều kiện liên quan đến độ ổn định Marshall.

Cùng với độ ổn định, độ chảy Marshall (biến dạng của hỗn hợp nhựa đường xác định trong quá trình thử độ ổn định) cũng được xác định bằng phương pháp này. Như được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4, kết quả độ chảy Marshall từ các thử nghiệm này dao động từ 2,57 đến 3,47mm cho hỗn hợp BTNC và từ 3,77mm đến 4,23mm cho hỗn hợp SMA, tương ứng với các hàm lượng sợi khác nhau. Theo các kết quả này và theo [19], các hỗn hợp này thỏa mãn yêu cầu liên quan đến độ chảy Marshall cho tất cả các hàm lượng sợi.

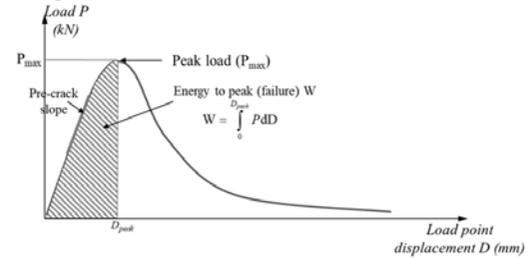
Nghiên cứu thực nghiệm này cũng đánh giá khả năng chịu kéo gián tiếp (IDT) của các mẫu thử bằng Máy Thử Nghiệm Đa Năng Pavetest được trang bị tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE). Các giá trị ứng suất kéo gián tiếp (IDT) thu được với 5 hàm lượng sợi khác nhau của hỗn hợp BTNC và hỗn hợp SMA được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4. Theo các kết quả này, ứng suất kéo gián tiếp của hỗn hợp BTNC dao động từ 0,747MPa đến 1,075MPa và của các mẫu SMA dao động từ 0,976MPa đến 1,222MPa. Việc thêm sợi cho phép cải thiện khả năng chịu kéo gián tiếp của hỗn hợp BTNC lên đến 39% (tùy thuộc vào tỷ lệ sợi) và của hỗn hợp SMA lên đến 25%. Những kết quả này phù hợp với kết quả nhận được với độ ổn định Marshall đã trình bày trước đó.

### 3.2. Đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến khả năng kháng nứt của hỗn hợp BTN

Để đánh giá ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến khả năng chống nứt của hỗn hợp BTN, thí nghiệm SCB đã được áp dụng. Các mẫu được chuẩn bị bằng cách cắt bằng lưới cửa rộng 2,5 mm với ba độ sâu khe khác nhau: 25 mm, 32 mm, và 38 mm, với ba mẫu thử cho mỗi trường hợp. Các mẫu được tải đơn điệu với tốc độ dịch chuyển điểm tải (LPD) là 0,5 mm/phút ở nhiệt độ 25±1°C.

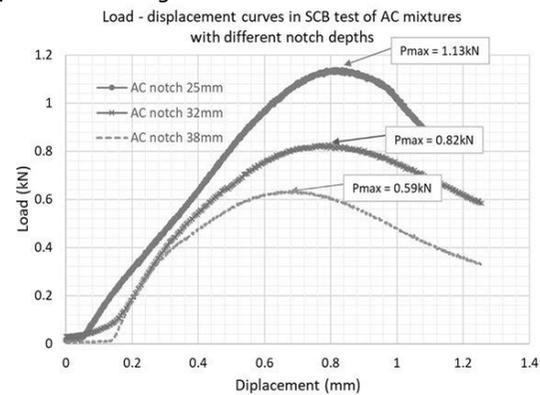
Đồ thị điển hình của tải trọng áp dụng – dịch chuyển điểm tải được trình bày trong Hình 6. Trong quá trình thử nghiệm, tải trọng áp dụng tăng mạnh lúc ban đầu sau đó chậm lại trước khi đạt đến tải trọng đỉnh Pmax(kN), tương ứng khả năng chịu tải tối đa của mẫu. Trước khi đạt đến Pmax, tải trọng áp dụng vẫn tăng theo sự khi tiếp tục gia tăng tải chuyển vị. Khi đạt đến Pmax, điểm tải tiếp

tục đi xuống nhưng giá trị tải trọng tác dụng lại giảm. Kết quả quan sát cho thấy mẫu đã đạt đến giai đoạn phá hủy khi tải trọng áp dụng đạt Pmax. Công cần thiết (năng lượng đến đỉnh) để phá vỡ mẫu được tính bằng diện tích dưới phần của đường cong tải trọng – dịch chuyển (từ lúc bắt đầu thử nghiệm đến Pmax) và được trình bày trong phần gạch chéo của Hình 6.



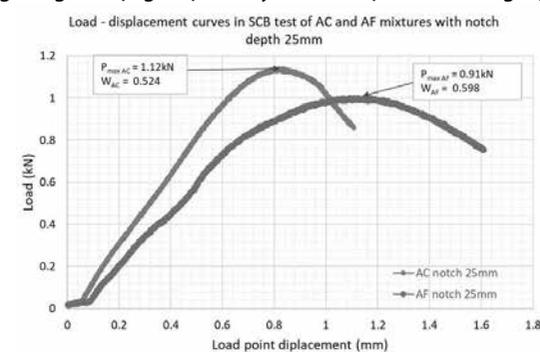
Hình 6. Đường cong điển hình Tải trọng – chuyển vị của điểm chất tải trong thí nghiệm SCB

Một số kết quả thu được từ các thí nghiệm này được trình bày trong Hình 7 và Hình 8. Hình 7 cho thấy một ví dụ về các đường cong tải trọng – dịch chuyển với các độ sâu khe khác nhau trên mẫu hỗn hợp nhựa đường thông thường. Ảnh hưởng của độ sâu khe được thể hiện rõ khi tải trọng đỉnh Pmax và năng lượng đến đỉnh W giảm khi độ sâu vết cắt tăng.



Hình 7. Đường cong Tải trọng – chuyển vị của điểm chất tải trong thí nghiệm SCB với chiều sâu vết cắt khác nhau

Các đồ thị trong Hình 7 cũng cho thấy một số ví dụ về ảnh hưởng của việc thêm sợi đến khả năng chống nứt của hỗn hợp BTN qua các đường cong tải trọng – dịch chuyển thu được từ các thí nghiệm SCB.



Hình 8. Đường cong Tải trọng – chuyển vị của điểm chất tải trong thí nghiệm SCB với mẫu BTN có (AF) và không có sợi Forta-fi (AC)

Tất cả các kết quả thí nghiệm SCB của nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 5 và Bảng 6, trong đó các tải trọng tối đa (tải trọng đến khi phá hủy) và năng lượng đến đỉnh (đến khi phá hủy) được so sánh giữa các mẫu có và không có sợi thêm vào. Các thí nghiệm này đã được thực hiện ít nhất ba lần cho mỗi loại vật liệu, có hoặc không

có sợi thêm vào, và cho mỗi độ sâu khe. Các kết quả được trình bày trong các bảng này là giá trị trung bình của ba lần thí nghiệm.

Có thể quan sát thấy rằng trong tất cả các thí nghiệm, ảnh hưởng của việc thêm sợi vào để tải trọng phá hủy mẫu (Pmax) không rõ ràng. Tải trọng tối đa đến mức phá hủy thu được từ các thí nghiệm trên các mẫu có sợi thêm vào là tương đương hoặc thấp hơn so với các mẫu không có sợi thêm vào, cho trường hợp hỗn hợp BTNC thông thường (xem Bảng 5). Tuy nhiên, trường hợp này hỗn hợp SMA lại khác khi sợi thêm vào có tác động tích cực lên tải trọng phá hủy Pmax (xem Bảng 6): Pmax của các mẫu có sợi thêm vào tương đương hoặc cao hơn so với các mẫu không có sợi thêm vào.

**Bảng 5. Kết quả thu được từ thí nghiệm SCB với hỗn hợp BTNC**

| Chiều sâu vết cắt (mm) | Pmax(kN)              |                 |             | Năng lượng phá hủy W(J) |                 |             |
|------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|-------------------------|-----------------|-------------|
|                        | Mẫu không có sợi (AC) | Mẫu có sợi (AF) | % cải thiện | Mẫu không có sợi (AC)   | Mẫu có sợi (AF) | % cải thiện |
| 25                     | 0.914                 | 0.910           | -0.43%      | 0.524                   | 0.598           | 14.13%      |
| 32                     | 0.809                 | 0.745           | -8.01%      | 0.370                   | 0.441           | 19.13%      |
| 38                     | 0.613                 | 0.513           | -16.21%     | 0.245                   | 0.298           | 21.40%      |

**Bảng 6. Kết quả thu được từ thí nghiệm SCB với hỗn hợp SMA**

| Chiều sâu vết cắt (mm) | Pmax(kN)              |                 |             | Năng lượng phá hủy W(J) |                 |             |
|------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|-------------------------|-----------------|-------------|
|                        | Mẫu không có sợi (AC) | Mẫu có sợi (AF) | % cải thiện | Mẫu không có sợi (AC)   | Mẫu có sợi (AF) | % cải thiện |
| 25                     | 0.914                 | 0.910           | -0.43%      | 0.524                   | 0.598           | 14.13%      |
| 32                     | 0.809                 | 0.745           | -8.01%      | 0.370                   | 0.441           | 19.13%      |
| 38                     | 0.613                 | 0.513           | -16.21%     | 0.245                   | 0.298           | 21.40%      |

Trong khi ảnh hưởng của sợi Forta-fi tải trọng tối đa phá hủy mẫu không rõ ràng, tác động của sợi thêm vào đến năng lượng cần thiết để phá hủy W của các mẫu là không thể chối cãi. Việc thêm sợi giúp nâng cao năng lượng để phá hủy mẫu W(J) từ 14,1% đến 21,4% đối với hỗn hợp BTNC thông thường và từ 25,9% đến 31,4% đối với hỗn hợp SMA (xem Bảng 6). Nói cách khác, khi áp dụng một trong các biện pháp kháng lún như đã trình bày trong mục 1., việc thêm sợi giúp nâng cao độ bền, cải thiện khả năng chống nứt của hỗn hợp bê tông nhựa làm mặt đường khi cần một lượng năng lượng lớn hơn để phá hủy lớp mặt đường làm bằng các hỗn hợp BTN có thêm sợi.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này nhằm xác định ảnh hưởng của việc thêm sợi vào các tính chất cơ lý và độ bền của hỗn hợp bê tông nhựa (hỗn hợp BTNC thông thường và hỗn hợp SMA). Các thí nghiệm dựa trên phương pháp Marshall trong nghiên cứu này đã chứng minh rằng việc thêm sợi có tác động tích cực đến các tính chất cơ học của hỗn hợp BTN trong khi có rất ít ảnh hưởng đến các tính chất vật lý của chúng.

Tuy nhiên, hàm lượng sợi cao (cao hơn 0,15% tổng trọng lượng hỗn hợp) dẫn đến một số khó khăn trong việc trộn và tạo ra một hỗn hợp đồng nhất. Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng sợi tối ưu là 0,1% của tổng trọng lượng hỗn hợp. Với hàm lượng sợi này, các tính chất cơ học (độ ổn định Marshall và cường độ chịu kéo gián

tiếp - IDT) của hỗn hợp được cải thiện rõ rệt và việc trộn hỗn hợp vẫn khả thi để có được một hỗn hợp đồng nhất. Hơn nữa, tác động của việc thêm sợi (sợi Forta-fi) đến độ bền của hỗn hợp bê tông nhựa cũng đã được kiểm tra thông qua các thí nghiệm SCB trên hai loại hỗn hợp bê tông nhựa. Sợi Forta-fi cho phép nâng cao năng lượng cần thiết để phá hủy mẫu thí nghiệm tạo từ các hỗn hợp BTN, từ đó tăng khả năng chống nứt và độ bền của chúng.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này thuộc đề tài mã số T2023-131 được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2023.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 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", *Int. J. Pavement Res. and Technol.*, vol. 13, pp. 238-244, 2018.
- [2] T.N. Tran et al., "Semi-flexible Material: The Sustainable Alternative for the Use of Conventional Road Materials in Heavy-Duty Pavement", in *Congrès International de Géotechnique – Ouvrages – Structures*, Singapore: Springer, 2018, pp. 17-24.
- [3] 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).
- [4] Setra-LCPC, "Conception et dimensionnement de structures de chaussée-Guide technique, Service d'études techniques des routes et autoroutes", Paris: Laboratoire central des ponts et chaussées, 1994.
- [5] K. Blazejowski, "Stone Matrix Asphalt - Theory and Practice", 1<sup>st</sup> ed., Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [6] A. Zofka, M. Maliszewski, D. Maliszewska, "Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures", *Road Mater Pavement*, vol. 18, pp. 471-490, 2017.
- [7] R.S. McDaniel, "Fiber Additives in Asphalt Mixtures, Washington: Transportation Research Board, 2015".
- [8] E. Rohrbough, "Effect of FORTA-FI Fibers on the Rutting Potential, Dynamic Modulus, Flow Number, and Fatigue of Asphalt Concrete Modulus, Flow Number, and Fatigue of Asphalt (Master thesis)", Morgantown: West Virginia University, 2018.
- [9] Al-Haidri, H.A., Tofan, A.S., 2021. "Evaluation of modified asphalt mixtures with APP and IPP polymers by fatigue distress criteria." *Innovative Infrastructure Solutions 6*, <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00508-x>.
- [10] Soltani, A., Anderson, D.A., 2005. "New test protocol to measure fatigue damage in asphalt mixtures." *Road Materials and Pavement Design 6* (4), 485-514.
- [11] Walubita, L.F., Fuentes, L., Lee, S.I., et al., 2021. "Correlations and preliminary validation of the laboratory monotonic overlay test (OT) data to reflective cracking performance of in-service field highway sections." *Construction and Building Materials 267*, 121029.
- [12] Haggag, M.M., Mogawer, W.S., Bonaquist, R., 2011. "Fatigue evaluation of warm-mix asphalt mixtures use of uniaxial, cyclic, direct tension compression test". *Transportation Research Record 2208*, 26-32.
- [13] Liu, W., Yan, K., Li, J., et al., 2021. Peridynamics-based simulation of semi-circular bending (SCB) testing. *Construction and Building Materials 268*, 121190.
- [14] Wagoner, M.P., Buttlar, W.G., Paulino, G.H., 2005. "Disk-shaped compact tension test for asphalt concrete fracture." *Experimental Mechanics 45* (3), 270-277.
- [15] H.T.T. Nguyen et al., "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, inpress.
- [16] Do, T.T., Nguyen, H.T.T., Tran, V.T., "SMA mixture - gradation design and effect of Forta-fi fiber" in *Proceeding of 6<sup>th</sup> International Conference GTSD 2022*
- [17] CFF GmbH & Co, *Stone Mastic Asphalt in the Technical Regulations*, (2011).
- [18] Blazejowski, K., *Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice*, USA: Taylor & Francis Group, 2011.
- [19] Bộ Giao thông Vận tải - TCVN 8819-2011. Mặt đường bê tông nhựa nóng-Yêu cầu thi công và nghiệm thu, (2011).
- [20] Ministry of Defence - UK - *Specification 49: Stone Mastic Asphalt for Airfield*, 2009