

# Thiết kế cấp phối và nghiên cứu ảnh hưởng của sợi Forta-Fi đến các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp đá dăm vữa nhựa - SMA12.5

Gradation design and effect of the forta-fi fiber on the mechanical properties of SMA 12.5 mixture

> TS ĐỖ TIẾN THỌ<sup>1</sup>; TS NGUYỄN HUỖNH TẤN TÀI; TS NGUYỄN DUY LIÊM; TS TRẦN VŨ TỰ

GV, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

<sup>1</sup>Email: thodt@hcmute.edu.vn

## TÓM TẮT

Hần lún vệt bánh xe là một dạng hư hỏng phổ biến của mặt đường bê tông nhựa ở Việt Nam do tác động của xe quá tải và điều kiện thời tiết nắng nóng. Bên cạnh việc sử dụng các loại nhựa đường có cấp kháng phần lún cao hơn thì thành phần cấu tạo hỗn hợp bê tông nhựa cũng có thể được cải tiến để nâng cao khả năng kháng phần lún của mặt đường. Sử dụng hỗn hợp đá dăm vữa nhựa (Stone Mastic Asphalt) với cấp phối hạt gián đoạn là một giải pháp phù hợp cho vấn đề này. Nhờ vào bộ khung chịu lực gồm các hạt cốt liệu lớn và hàm lượng nhựa cao, loại vật liệu này đã chứng minh tính năng ưu việt của nó với khả năng kháng phần lún vệt bánh xe và nứt do mỏi qua nhiều nghiên cứu trên khắp thế giới. Ở Việt Nam loại vật liệu này chưa được sử dụng nhiều và tiêu chuẩn cơ sở SMA cũng chỉ mới được ban hành vào cuối năm 2021. Bài báo này trình bày một nghiên cứu bước đầu về thiết kế cấp phối và các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của hỗn hợp SMA. Ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi (Forta-fi) đến đặc trưng cơ lý của hỗn hợp SMA cũng được xét đến trong nghiên cứu này. Kết quả thí nghiệm cho thấy phụ gia này giúp cải thiện cường độ chịu kéo khi ép chế lên đến 21.9% trong khi không làm thay đổi nhiều các chỉ tiêu cơ lý khác.

**Từ khóa:** SMA; đá dăm vữa nhựa; độ ổn định Marshall; độ dẻo; nhựa polymer; sợi cellulose; sợi Forta-fi; cường độ chịu kéo khi ép chế.

## ABSTRACT

Rutting phenomenon is a real problem for the asphalt pavement of Vietnam due to important impacts of overloaded vehicles, especially in the hot and sunny conditions. Besides using the bitumen with higher levels of rutting resistance, modifying and improving the composition of the mixture such as aggregate gradation and binding content could be an alternative solution for this problem. Employing the Stone Mastic Asphalt (SMA) with discontinuous granulation is a suitable to this problem. Due to its special structure consisting of coarse aggregate and its higher percentage of binder, this material has proven its superiority in rutting and fatigue resistance throughout a wide range of researches in the world. However, the SMA is not widely used yet in Vietnam. The first specification of design, construction and inspection for this kind of material has only been issued at the end of 2021. This paper aims at introducing an initial gradation design with some principal characteristics of the SMA mixture. The influence of the Forta-fi fiber to the mechanical characteristics of SMA mixture is also investigated. According to the experience results, this additive fiber permits to improve the Indirect tensile strength up to 21.9%.

**Keywords:** SMA; Stone Mastic Asphalt; Marshall stability; flow; bitum polymer; cellulose; Forta-fi; Indirect Tensile Strength

## 1. GIỚI THIỆU

Đối với mặt đường bê tông nhựa, hỗn hợp đá dăm vữa nhựa (Stone Mastic Asphalt - SMA) là một loại vật liệu có nhiều ưu điểm như độ bền của mặt đường tương đối cao; hạn chế được hiện tượng phần lún vệt bánh xe; tăng tuổi thọ môi mặt đường; giảm được tiếng ồn... SMA được biết đến từ giữa những năm 1960 ở Đức do những ưu điểm của nó, phát minh bởi tiến sỹ Zichner, một kỹ sư

người Đức và đồng thời là quản lý Phòng thí nghiệm Trung tâm về xây dựng đường bộ tại Strabag Bau AG lúc bấy giờ. Mục tiêu ban đầu của phát minh này là hạn chế những hư hỏng mặt đường do bánh xe gấn đinh (giảm bong tróc mặt đường) và nâng cao tuổi thọ của mặt đường qua đó giảm chi phí duy tu bảo dưỡng mặt đường [1]. Từ bước đầu này, hỗn hợp SMA đã được nghiên cứu và phát triển trong suốt thời gian sau đó đến cả bây giờ như một loại

vật liệu tối ưu để chống lại các biến dạng vĩnh cửu của mặt đường bê tông nhựa. Hiện nay, hỗn hợp SMA được sử dụng rộng rãi ở châu Âu và Mỹ [2] nhờ những ưu điểm này.

Hỗn hợp SMA được TS. Zichner thiết kế là một hỗn hợp với cấp phối gián đoạn so với cấp phối bê tông nhựa chặt thông thường khi thiếu hẳn thành phần cốt liệu 2/5 mm. Nhờ vào sự chèn móc của cốt liệu thô, hỗn hợp SMA hình thành một bộ khung vững chắc chống lại sự mài mòn và bong tróc mặt đường. Hỗn hợp SMA khi đó được Zichner [3] đặt tên lần lượt là Mastimac, sử dụng cho các lớp phủ mặt đường có chiều dày nhỏ (khoảng 2-3cm), và Mastiphalt dung cho các lớp phủ mặt đường có chiều dày hơn 3cm.

Sau những thử nghiệm ban đầu cho các công trình đường nội bộ của công ty Strabag/Deutag Consortium (Đức), loại mặt đường Mastimac được công ty tiếp tục ứng dụng vào xây dựng các đường dân sinh vào năm 1968 ở Wilhelmshaven (Đức) và nhận được những kết quả rất khả quan [4]. Nhiều nghiên cứu sau này đã chứng minh được các ưu điểm trong khả năng kháng hẳn lún của hỗn hợp SMA với cấp phối gián đoạn nhờ vào khả năng phân bố lực và truyền tải trọng giữa các hạt cốt liệu cốt liệu thô với nhau. Khả năng ưu việt này có được là nhờ vào tính chất góc cạnh của các hạt cốt liệu lớn giúp chúng chèn móc tốt với nhau và tạo thành một bộ khung chịu lực vững chắc [1]. Để đạt hiệu quả truyền lực cao, hỗn hợp SMA cần được phối trộn một cách hợp lý. Nếu hỗn hợp không được phối trộn tốt, các điểm tiếp xúc giữa cốt liệu thô sẽ không được hình thành một cách đầy đủ và sẽ làm gián đoạn quá trình truyền lực. Vữa nhựa với hàm lượng lớn, thường chiếm khoảng 20-25% tổng khối lượng hỗn hợp trong đó chất kết dính bitum chiếm khoảng 6.0% có vai trò tạo liên kết giữa các hạt cốt liệu đồng thời chèn vào khoảng rỗng do cốt liệu lớn tạo ra. Do lượng chất kết dính bitum được sử dụng khá lớn trong hỗn hợp, các chất phụ gia ổn định dạng cellulose được thêm vào với hàm lượng phù hợp (thường khá nhỏ) để tránh hiện tượng chảy bi-tum ở nhiệt độ cao trong quá trình trộn, vận chuyển, trải thảm và lu lèn [5] đồng thời tránh được những ảnh hưởng đến tính chất cơ lý của hỗn hợp. Hàm lượng bitum lớn trong hỗn hợp SMA còn giúp hạn chế được hiện tượng nứt do mỏi của mặt đường, qua đó tuổi thọ của mặt đường sử dụng hỗn hợp SMA được tăng lên đáng kể.

Ngoài những ưu điểm nêu trên, hỗn hợp SMA cũng có một số nhược điểm. Nhược điểm đầu tiên đó là giá thành của hỗn hợp SMA thường cao hơn khá nhiều so với bê tông nhựa truyền thống do lượng nhựa sử dụng nhiều hơn. Tiếp theo đó là việc mặt đường dễ hình thành các đốm nhựa nếu quá trình thiết kế, sản xuất hỗn hợp và thi công mặt đường không tuân theo những yêu cầu cần thiết về hàm lượng bi-tum, phụ gia cellulose, nhiệt độ trộn và vận chuyển hỗn hợp... Ngoài ra, mặt đường SMA cũng có khả năng chống trượt bánh xe thấp ở thời điểm mới vừa thông xe hoặc sau một thời gian dài khai thác.

Hẳn lún vệt bánh xe là một dạng hư hỏng kết cấu mặt đường rất phổ biến tại Việt Nam do tác dụng của tải trọng trùng phục (Hình 1). Vì vậy, bên cạnh các giải pháp về xử lý nền đất yếu, việc sử dụng các loại bi-tum có cấp kháng hẳn lún cao hoặc cải tiến thành phần cốt liệu của hỗn hợp bê tông nhựa cần được xem xét để có thể đáp ứng các yêu cầu về nâng cao tuổi thọ của mặt đường. Trong trường hợp này, hỗn hợp đá dăm vữa nhựa SMA là một lựa chọn phù hợp. Loại vật liệu này đã được chứng minh khả năng kháng lún vệt bánh xe và chống nứt do mỏi khi được nghiên cứu và sử dụng ở nhiều nước trên thế giới.

Bài báo này trình bày những nghiên cứu bước đầu về việc thiết kế cấp phối của hỗn hợp SMA 12.5 tương ứng với điều kiện khai thác ở Việt Nam, qua đó hàm lượng nhựa tối ưu và các chỉ tiêu cơ lý

cơ bản của của hỗn hợp SMA 12.5 được xác định. Tiếp theo đó, ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi tới tính chất cơ lý của hỗn hợp SMA cũng được xem xét đánh giá trong báo cáo này nhằm định hướng cho những nghiên cứu tiếp theo.



Hình 1 - Hẳn lún vệt bánh xe dưới tác dụng của tải trọng trùng phục [Nguồn Báo Giao thông - Bài báo "Bê tông nhựa loại thường không phù hợp nắng nóng miền Trung" - 28/06/2015]

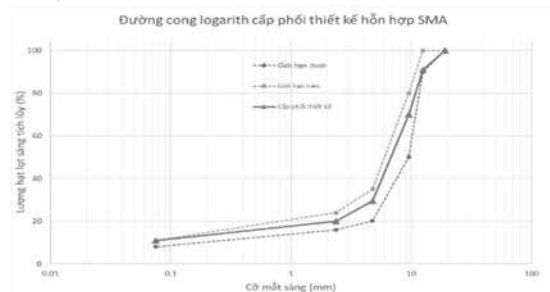
## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Vật liệu

Ngoại trừ bột khoáng (hạt mịn với  $D < 0.075\text{mm}$ ), toàn bộ các cốt liệu khác cũng như chất độn và bitum sử dụng trong nghiên cứu này đã được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Đầu tư Xây dựng BMT.

#### 2.1.1. Cốt liệu

Để tài thiết kế hỗn hợp đá dăm vữa nhựa SMA 12.5 sử dụng cấp phối thô với cỡ hạt lớn nhất danh định là 12.5 mm. Đường cong cấp phối thiết kế nằm trong miền cấp phối của tiêu chuẩn [7] như Hình 2.



Hình 2 - Đường cong logarit cấp phối thiết kế hỗn hợp SMA

Ưu điểm của cấp phối SMA là khả năng truyền lực và phân bố lực đều trên chiều dày lớp phủ nhờ vào bộ khung vững chắc tạo nên bởi sự liên kết chèn móc tốt với nhau của các cốt liệu thô. Để có được ưu điểm này, các hạt cốt liệu cần có nhiều góc cạnh và cần có số lượng mặt tiếp xúc lớn.

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

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ bản của cốt liệu thô

Chỉ tiêu đánh giá cốt liệu	Trong đề tài	Hoa Kỳ (*)	Đức (**)	Việt Nam (***)
Độ mài mòn Los Angeles (%)	<17.00	≤30.00	≤20.00	≤28.00
Hàm lượng hạt thoi dẹt (%)	<6.00	≤20.00	≤18.00	≤15.00
Cường độ đá gốc (MPa)	110	--	--	≥100.00
Độ hút nước (%)	0.27	≤2.00	≤2.00	--

Nguồn (\*) Table 1: Coarse Aggregate Quality Requirements [8]

(\*\*) 2.2.9 Widerstand gegen Zertrümmerung [9]

(\*\*\*) Bảng 5: Các chỉ tiêu cơ lý cho đá dăm [6]

#### 2.1.2. Chất kết dính bitum

Để tài nghiên cứu này sử dụng bi-tum polymer làm chất kết dính cho hỗn hợp đá dăm vữa nhựa SMA với các thông số như sau:

độ kim lún ở 25°C là 49.5 (0.1mm), nhiệt độ hóa mềm là 90°C và độ nhớt Brookfeild ở 135°C là 3,1 Pa.s theo hướng dẫn thí nghiệm [10].

Là một trong những thành phần chính tạo nên hỗn hợp SMA, chính vì thế, bitum cũng như vữa nhựa đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong hỗn hợp. Lượng bitum này kết hợp với thành phần bột khoáng (cũng có tỷ lệ khá lớn) tạo nên hỗn hợp vữa nhựa chèn vào các lỗ rỗng do các hạt cốt liệu lớn tạo ra để tạo ra hỗn hợp SMA với các tính chất cơ lý ưu việt.

Tỷ lệ phần trăm bi-tum (hàm lượng bi-tum) trên tổng khối lượng hỗn hợp SMA thường lớn hơn so với hàm lượng bitum trong bê tông nhựa truyền thống. Việc xác định tỷ lệ phần trăm lượng nhựa tối ưu trong hỗn hợp là rất cần thiết để đảm bảo tính chất cơ lý của hỗn hợp. Nếu lượng vữa nhựa cần thiết không đủ, liên kết giữa các hạt cốt liệu không được bền. Nếu dư thừa vữa nhựa, các hạt cốt liệu sẽ bị đẩy ra xa khỏi liên kết dẫn đến làm giảm khả năng truyền và phân bố lực trong hỗn hợp SMA.

Trong hỗn hợp SMA, tỷ lệ phần trăm bitum trên tổng khối lượng hỗn hợp thường thay đổi tùy thuộc vào cấp phối cốt liệu được chọn với giá trị tối thiểu là 6.0%. Bước đầu, đề tài sẽ nghiên cứu các tính chất cơ lý của hỗn hợp SMA với nhiều hàm lượng nhựa khác nhau, từ đó chọn ra tỷ lệ phần trăm nhựa tối ưu để tiến hành các nghiên cứu tiếp theo sau.

2.1.3. Chất phụ gia ổn định cellulose

Do hàm lượng bitum trong hỗn hợp SMA là tương đối lớn, hiện tượng chảy bitum ra khỏi hỗn hợp vữa nhựa (hiện tượng chảy nhựa) sẽ xuất hiện và làm giảm chất lượng của hỗn hợp vữa nhựa.

Hiện tượng này có thể xảy ra trong quá trình sản xuất, vận chuyển hỗn hợp tới công trường và trong quá trình lu lèn. Để giải quyết hiện tượng này, chất phụ gia ổn định cellulose CFF TOPCEL được thêm vào với hàm lượng 0.3% theo [11] vào các mẫu thí nghiệm.

2.1.4. Sợi Fortafi

Nhằm mục đích so sánh, đánh giá hiệu quả của phụ gia dạng sợi đến khả năng kháng môi, kháng hần lún của hỗn hợp SMA, sợi tổng hợp có độ bền cao do Tập đoàn Forta-fi sản xuất (gọi đơn giản là sợi Forta-fi) được thêm vào với tỷ lệ 0,1% trên tổng trọng lượng hỗn hợp có hàm lượng nhựa tối ưu.

Sợi Forta-fi là sự pha trộn của sợi para-aramid và sợi polyolefin (xem Hình 3). Các đặc tính cơ lý cơ bản của hai loại sợi tạo nên sợi Forta-fi này được tóm tắt trong Bảng 2.



Hình 3 - Sợi Forta-fi trong điều kiện bình thường trước khi trộn vào hỗn hợp

Bảng 2. Các đặc tính cơ lý của sợi Forta-fi

Đặc tính	Loại sợi	
	Para-Aramid	Polyolefin
Trọng lượng riêng (kN/m <sup>3</sup> )	1.44	0.91
Cường độ chịu kéo (MPa)	2.758	N/A <sup>a</sup>
Chiều dài sợi (mm)	19	19
Nhiệt độ hoạt động (°C)	-73 ÷ 427	N/A <sup>a</sup>

<sup>a</sup>. 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

Mẫu thí nghiệm được chế tạo theo phương pháp Marshall [12]. Các mẫu hình trụ của hỗn hợp nhựa đường được chuẩn bị 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) nhằm xét đến ảnh hưởng của xe tải nặng lên mặt đường trong điều kiện khai thác ở Việt Nam.

2.2.2. Xác định hàm lượng nhựa tối ưu của hỗn hợp SMA

Mỗi cấp phối cốt liệu khác nhau có một hàm lượng chất kết dính tối ưu để hỗn hợp vữa nhựa nhận được có các chỉ tiêu cơ lý tốt nhất tương ứng. Trong nghiên cứu này, hàm lượng chất kết dính tối ưu bước đầu được dự đoán dựa trên kinh nghiệm đúc kết từ những nghiên cứu trước. Ở bước tiếp theo, ít nhất 5x3 mẫu thí nghiệm đã được chuẩn bị ở 5 mức hàm lượng chất kết dính xung quanh giá trị tối ưu dự đoán.

Nhiều thí nghiệm khác nhau được tiến hành trên các mẫu này để xác định một loạt các chỉ tiêu của hỗn hợp vữa nhựa trên từng mẫu như tỷ trọng khối của mẫu đầm, tỷ trọng riêng lớn nhất của mẫu rời, độ rỗng dư, độ rỗng cốt liệu, độ chảy nhựa, độ ổn định và độ dẻo Marshall, cường độ ép chèn. Toàn bộ các thí nghiệm này được thực hiện với các thiết bị được trang bị tại Phòng thí nghiệm Cầu Đường - Khoa Xây dựng - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM. Kết quả của các thí nghiệm này sẽ cho phép xác định được hàm lượng chất kết dính tối ưu của hỗn hợp vữa nhựa.

2.2.3. Xác định ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến tính chất cơ lý của hỗn hợp SMA

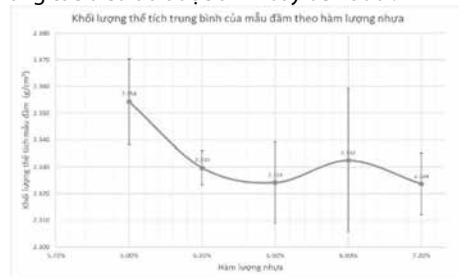
Ảnh hưởng của sợi Forta-fi sẽ được đánh giá dựa trên các mẫu mới được đầm với hàm lượng nhựa tối ưu. Các chỉ tiêu như độ ổn định Marshall, độ dẻo, cường độ ép chèn được đo và so sánh trên 2 loại mẫu khác nhau : mẫu SMA có sợi Forta-fi và mẫu SMA không có sợi forta-fi.

Các kết quả nhận được từ thí nghiệm này cho phép xác định được ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến tính chất cơ lý của hỗn hợp SMA.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

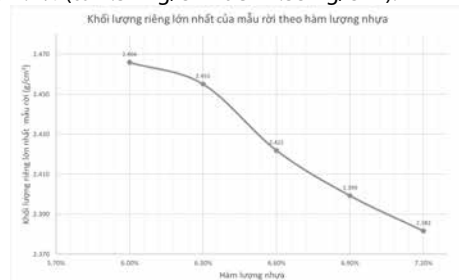
3.1. Thiết kế cấp phối và hàm lượng nhựa tối ưu

Kết quả thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý của các mẫu hàm lượng nhựa thay đổi từ 6.0 % đến 7.2% trên tổng khối lượng mẫu được trình bày trong các biểu đồ được trình bày bên dưới.



Hình 4 - Khối lượng thể tích của các mẫu đầm theo hàm lượng nhựa

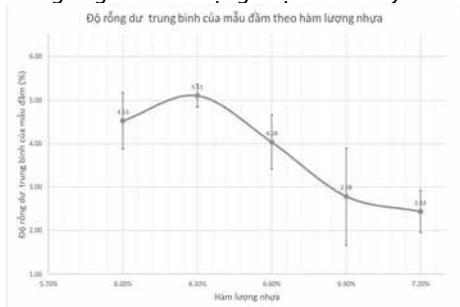
Hình 4 cho thấy sự thay đổi của khối lượng thể tích trung bình mẫu đầm theo hàm lượng nhựa. Sai số đo của khối lượng thể tích trung bình tại mỗi hàm lượng chất kết dính cũng được thể hiện. Theo biểu đồ này, hàm lượng nhựa ảnh hưởng không nhiều đến khối lượng thể tích của mẫu đầm: giá trị lớn nhất và nhỏ nhất chỉ cách nhau 1.2% (từ 2.324 g/cm<sup>3</sup> đến 2.354 g/cm<sup>3</sup>).



Hình 5 - Khối lượng riêng lớn nhất của mẫu rời theo hàm lượng nhựa

Với mỗi hàm lượng nhựa, khối lượng riêng lớn nhất của mẫu rời cũng được đo và trình bày trên biểu đồ trong *Hình 5*. Kết quả cho thấy khối lượng riêng lớn nhất của mẫu rời giảm khi hàm lượng chất kết dính tăng.

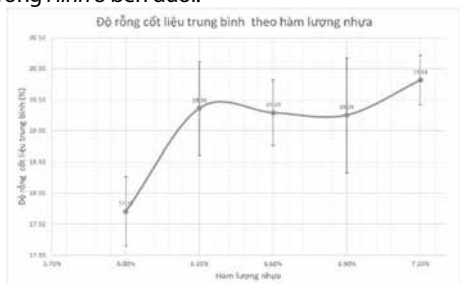
Độ rỗng dư trung bình của mẫu đầm được xác định và thể hiện trên biểu đồ trong *Hình 6*. Độ rỗng dư trung bình thay đổi từ 2.43% đến 5.11% đối với các mẫu đầm Marshall của hỗn hợp SMA. Đối với hỗn hợp SMA, độ rỗng dư yêu cầu của mẫu đầm phải nằm trong khoảng từ 3% đến 4.5% theo [1]. Xét theo tiêu chí này, hàm lượng chất kết dính 6.6% được chọn là hàm lượng nhựa tối ưu và độ rỗng dư trung bình tương ứng với hàm lượng nhựa tối ưu này là 4.04%.



**Hình 6** - Độ rỗng dư trung bình mẫu đầm theo hàm lượng nhựa

Độ rỗng cốt liệu cũng là một trong các chỉ tiêu được xem xét trong thiết kế cấp phối. Kết quả của các thí nghiệm để xác định độ rỗng trung bình của hỗn hợp cốt liệu được trình bày trong *Hình 7*. Theo yêu cầu thiết kế hỗn hợp SMA [1] trong tiêu chuẩn Hoa Kỳ, giá trị tối thiểu của độ rỗng cốt liệu là 17.0%. Theo chỉ tiêu này, tất cả các mẫu thí nghiệm đều thỏa điều kiện yêu cầu.

Trong nghiên cứu này, độ ổn định Marshall cũng là một trong các chỉ tiêu được xem xét. Theo định nghĩa, độ ổn định Marshall là giá trị lực nén lớn nhất đạt được khi thử nghiệm mẫu BTN chuẩn (mẫu hình trụ đường kính 101.6 mm, chiều cao 63.5 mm) trên máy nén Marshall. Với các loại nhựa chuẩn thông thường, việc xác định giá trị lực nén lớn nhất thường khá dễ dàng do giá trị lực nén tăng rất nhanh với tỷ lệ biến dạng không đổi, đạt đỉnh và giảm cũng rất nhanh khi mẫu bị phá hoại. Với nhựa polymer, quá trình phá hoại của mẫu diễn ra chậm hơn trong thí nghiệm nén Marshall. Với tốc độ biến dạng của mẫu thí nghiệm là hằng số, ban đầu lực nén tăng rất nhanh, độ dốc của đường biểu đồ lực/biến dạng rất lớn, sau đó lực nén giảm dần, độ dốc của đường biểu đồ lực/biến dạng giảm dần. Đường này gần như nằm ngang ở giai đoạn cuối của thí nghiệm. Trong trường hợp này, điều kiện để xác định thời điểm mẫu bị phá hủy không thể được xác định một cách rõ ràng và gây khó khăn cho việc xác định độ ổn định Marshall. Theo [13], độ ổn định Marshall còn có thể được định nghĩa là lực nén đo được khi độ dốc của đường cong lực/biến dạng bắt đầu giảm (đường cong này bắt đầu nằm ngang). Phương pháp thay thế để xác định độ ổn định Marshall và độ dẻo Marshall được đề xuất trong tiêu chuẩn của Mỹ [13]: sử dụng đường tiếp tuyến tốt nhất của đường cong lực/biến dạng và tịnh tiến đường này 1.5mm về bên phải như trình bày trong *Hình 8* bên dưới.



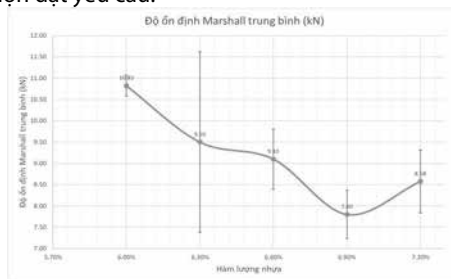
**Hình 7** - Độ rỗng cốt liệu trung bình theo hàm lượng nhựa



**Hình 8** - Biểu đồ xác định độ ổn định và độ dẻo Marshall đối với hỗn hợp vữa nhựa sử dụng nhựa polymer

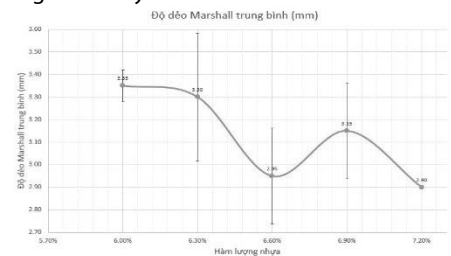
Phương pháp này được dùng để xác định độ ổn định và độ dẻo Marshall cho các mẫu thí nghiệm thực hiện trong nghiên cứu này.

Độ ổn định Marshall đo được với từng hàm lượng nhựa được trình bày trong *Hình 9*. Theo kết quả này, độ ổn định trung bình đo được thay đổi từ 7.80kN đến 10.83kN. Theo [2], để hỗn hợp SMA đạt yêu cầu, độ ổn định Marshall tối thiểu của mẫu đầm cần đạt được là 6kN. So với yêu cầu này, toàn bộ các mẫu thí nghiệm thỏa mãn yêu cầu về độ ổn định Marshall, đồng nghĩa với việc cấp phối cốt liệu chọn đạt yêu cầu.



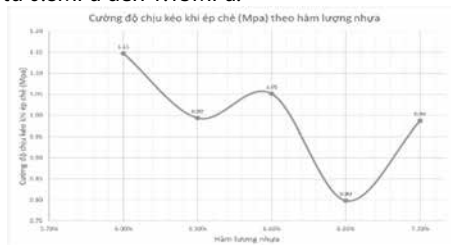
**Hình 9** - Độ ổn định Marshall trung bình theo hàm lượng nhựa

Song song với độ ổn định, độ dẻo Marshall (biến dạng của mẫu BTN trên máy nén Marshall tại thời điểm xác định độ ổn định Marshall) cũng được đo bằng phương pháp cải tiến trong thí nghiệm này. Kết quả thu được trình bày trong *Hình 10* với độ dẻo Marshall trung bình thay đổi từ 2.90mm đến 3.35mm.



**Hình 10** - Độ dẻo Marshall trung bình theo hàm lượng nhựa

Ngoài ra, cường độ chịu kéo khi ép chèn cũng được xác định bằng máy thí nghiệm đa năng Pavetest trang bị ở phòng thí nghiệm Cầu Đường thuộc trường ĐH SPKT TPHCM. Kết quả nhận được cho các mẫu với 5 hàm lượng nhựa khác nhau được trình bày trên biểu đồ trong *Hình 11*. Cường độ chịu kéo khi ép chèn thu được dao động từ 0.8MPa đến 1.15MPa.



**Hình 11** - Cường độ chịu kéo khi ép chèn theo hàm lượng nhựa

Theo kết quả nhận được từ các thí nghiệm trên, cấp phối cốt liệu đã thiết kế trong phần 2.1.1 cho các mẫu với các chỉ tiêu cơ lý như khối lượng thể tích của mẫu đầm, khối lượng riêng mẫu rời, độ rỗng cốt liệu, độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall, cường độ ép chèn thỏa mãn hầu hết các yêu cầu theo tiêu chuẩn của hỗn hợp vữa nhựa SMA. Các chỉ tiêu cơ lý của mẫu với cấp phối thiết kế tương ứng với hàm lượng nhựa tối ưu 6.6% được thể hiện trong Bảng 3.

**Bảng 3. Các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp SMA tạo từ cấp phối thiết kế ở hàm lượng nhựa tối ưu**

Chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp	SMA trong đề tài	Yêu cầu SMA (*)
Hàm lượng bi-tum tối ưu theo hỗn hợp (%)	6.60	≥6.00
Khối lượng thể tích trung bình của mẫu đầm (g/cm <sup>3</sup> )	2.32	-
Khối lượng riêng hỗn hợp vữa nhựa rời (g/cm <sup>3</sup> )	2.42	-
Độ rỗng dư của mẫu Marshall (%)	4.04	3.00-4.50
Độ rỗng của hỗn hợp cốt liệu (%)	19.29	≥17.00 (Mỹ)
Độ ổn định Marshall (kN)	9.10	≥6.00 (Czech)
Độ dẻo Marshall (mm)	2.95	-
Cường độ ép chèn của mẫu Marshall (Mpa)	1.05	-
Độ chảy nhựa tại nhiệt độ trộn 160°C (%)	0.29	≤0.30

Nguồn: (\*) Chapter 5: Requirement for SMA [2]

**3.2. Ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến tính chất cơ lý của hỗn hợp SMA**

Các kết quả thí nghiệm so sánh một số chỉ tiêu cơ lý cơ bản của các mẫu SMA có và không có sợi Fortafi, đúc với cấp phối thiết kế ở mục 2.1.1 ở hàm lượng nhựa tối ưu 6.6% được trình bày tóm tắt trong Bảng 4.

**Bảng 4. So sánh các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp SMA có và không có sợi Forta-fi (số liệu trung bình 3 mẫu ở hàm lượng nhựa tối ưu)**

Chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp	Mẫu SMA không sợi	Mẫu SMA có sợi Forta fi
Độ ổn định Marshall (kN)	9.10	9.45
Độ dẻo Marshall (mm)	2.95	2.85
Cường độ chịu kéo khi ép chèn của mẫu Marshall (MPa)	1.05	1.28

Theo tóm tắt này, phụ gia dạng sợi không có nhiều ảnh hưởng đến các chỉ tiêu như độ ổn định và độ dẻo trong thí nghiệm Marshall. Độ ổn định Marshall chỉ cải thiện vào khoảng 3% (9.45kN so với 9.10kN), độ dẻo Marshall cũng chỉ giảm khoảng 3.4% (2.85mm so với 2.95mm). Với biên độ thay đổi như vậy, sợi Forta-fi được xem như không có ảnh hưởng đến các chỉ tiêu này.

Tuy nhiên, cường độ chịu kéo khi ép chèn của trung bình của mẫu có phụ gia dạng sợi đã được cải thiện đáng kể. Khi thêm sợi Forta-fi vào, cường độ chịu kéo khi ép chèn của mẫu với phụ gia dạng sợi là 1.28MPa so với 1.05MPa của mẫu không sợi, tăng 21.9%. Với chỉ tiêu này, ảnh hưởng của sợi Forta-fi khá rõ ràng. Vì vậy, sợi Forta-fi được kỳ vọng làm gia tăng đáng kể khả năng kháng nứt mỏi của hỗn hợp SMA nhưng không ảnh hưởng nhiều đến khả năng kháng hàn lún. Các tính năng này của vật liệu SMA 12.5 có và không có tăng cường sợi Forta-fi sẽ tiếp tục được làm rõ trong các nghiên cứu tiếp theo.

**4. KẾT LUẬN**

Trong nghiên cứu này, cấp phối vữa nhựa SMA được thiết kế với các thành phần cốt liệu hợp lý theo các quy định và tiêu chuẩn của vữa nhựa. Loại chất kết dính được sử dụng là bitum polymer, hàm lượng chất kết dính tối ưu xác định thông qua các thí nghiệm là 6.6% trên tổng khối lượng hỗn hợp. Các mẫu thí nghiệm Marshall được chế tạo từ hỗn hợp vữa nhựa với cấp phối thiết kế và hàm lượng nhựa tối ưu cho các chỉ tiêu cơ lý quan trọng khác

như độ rỗng dư mẫu đầm, độ rỗng cốt liệu, độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall và cường độ chịu kéo khi ép chèn thỏa mãn các yêu cầu đặt ra trong các tiêu chuẩn và các quy định.

Ngoài ra, ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến tính chất cơ lý của hỗn hợp vữa nhựa SMA cũng được nghiên cứu thành công. Các kết luận sau được rút ra từ các kết quả thu được từ thí nghiệm so sánh chỉ tiêu cơ lý của mẫu có và không có sợi Forta-fi:

- Với các mẫu đầm Marshall của hỗn hợp SMA ở mức hàm lượng nhựa tối ưu 6.6%, phụ gia dạng sợi đã giúp cải thiện cường độ ép chịu kéo khi chèn lên đến 21.9%.

- Đối với các chỉ tiêu khác như độ dẻo Marshall và độ ổn định Marshall thì sợi Forta-fi không có nhiều ảnh hưởng, chênh lệch về độ ổn định Marshall giữa hai loại mẫu có và không có sợi Forta-fi chỉ vào khoảng 3%.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này thuộc đề tài mã số T2021-104TD được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2021.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Blazejowski, K., *Stone Matrix Asphalt, Theory and Practice*, USA: Taylor & Francis Group, (2011).
2. Ministry of Defence - UK - *Specification 49: Stone Mastic Asphalt for Airfield*, - August 2009
3. Zichner, G., *Wearing courses of stone and mastic on pavements*, US Patent No. 3797951. (1971)
4. Rettenmaier., *The first mastic treatment*. [http://www.sma-aviatop.com/SMAaviatop\\_engl/sma\\_entwicklung/mastixbehand.shtml?navid=17](http://www.sma-aviatop.com/SMAaviatop_engl/sma_entwicklung/mastixbehand.shtml?navid=17) (November 10 2009).
5. Drüschner, L., & Schäfer, V., *Stone Mastic Asphalt*, German Asphalt Association (2005).
6. Bộ Giao thông Vận tải - TCVN 8819-2011. *Mặt đường bê tông nhựa nóng-Yêu cầu thi công và nghiệm thu*, (2011).
7. OPSS, *Material specification for Superpave and Stone Mastic Asphalt Mixture*, Ontario Provincial Standard Specifications, (2004).
8. AASHTO-M325, *Stone Matrix Asphalt*, American Association of State Highway and Transportation Officials, (2008)
9. Köln, *Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau*, Ausgabe 2004 (in German) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV, TL Gestein StB 04 (2004).
10. Bộ Giao thông Vận tải - 22 TCN 279-2011, *Tiêu chuẩn vật liệu nhựa đường đặc*,(2011).
11. CFF GmbH & Co, *Stone Mastic Asphalt in the Technical Regulations*, (2011).
12. 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).
13. American standard - D6927 - 15 - *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures*