

# NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG TRO BAY LÀM CHẤT PHỤ GIA TRONG BÊ TÔNG ASPHALT

Phạm Gia Vũ, Trần Đại Lâm, Thái Thu Thủy, Trịnh Anh Trúc,  
Tô Thị Xuân Hằng, Nguyễn Anh Sơn, Nguyễn Thùy Dương, Vũ Kế Oánh  
Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Nhận ngày 12/10/2020, chỉnh sửa ngày 15/11/2020, chấp nhận đăng 21/12/2020

## Tóm tắt:

Tro bay biến tính, với 0,3 % các phụ gia hữu cơ như Triethoxyphenylsilan (TEPS), chất phân tán Nuosperse W-30 và hỗn hợp của chúng đã được đưa vào bê tông asphalt (BTA). Các kết quả thử nghiệm cho thấy rằng BTA sử dụng tro bay biến tính có các tính chất cơ lý cao hơn hẳn so với tính chất cơ lý của BTA tro bay không biến tính. Các kết quả nghiên cứu này cũng cho thấy, BTA tro bay biến tính đem lại các tính chất cơ lý tương đương với BTA truyền thống đang sử dụng hiện nay.

**Từ khóa:** Tro bay biến tính, bitum, bê tông asphalt.

## Abstract:

In this study, fly-ash was organically modified by triethoxyphenylsilan and a Nuosperse W-30 disperser and then incorporated into asphalt concrete mixture. The experimental results demonstrated that the presence of modified fly-ash has significantly improved the mechanical properties of asphalt concrete mixture by comparison with pristine fly-ash. The asphalt concrete containing modified fly-ash gave the properties equivalent with the traditional asphalt concrete.

**Keywords:** modified fly ash, bitumen, asphalt concrete mixture.

## 1. Giới thiệu

Tro bay là các hạt bụi nhỏ bị cuốn theo khí từ ống khói của quá trình đốt than tại các nhà máy nhiệt điện. Tro bay là hỗn hợp của oxit nhôm ( $Al_2O_3$ ), oxit canxi ( $CaO$ ), oxit silic ( $SiO_2$ ), oxit sắt ( $Fe_2O_3$ ), và một lượng nhỏ than chưa cháy hết. Hàng năm, số lượng tro bay thải ra từ các nhà máy nhiệt điện ước tính hàng triệu tấn, gây ô nhiễm môi trường. Vì vậy, không chỉ ở Việt Nam mà các nước khác trên thế giới, vấn đề sử dụng tro bay luôn được quan tâm thích đáng, nhưng chỉ một phần nhỏ tro này được sử dụng (20 - 30 %) [1]. Tro bay đã được sử dụng có hiệu quả trong một số lĩnh vực chế tạo vật liệu xây dựng như xi măng, bê tông, gạch không nung... Trên thế giới, đã có một số công trình nghiên cứu đưa tro bay vào bê tông asphalt. Khi trộn tro bay vào một số chất kết dính bitum khác nhau đã làm giảm các vết nứt của bê tông asphalt so với các mẫu bê tông asphalt chứa bitum không có tro bay [2]. Khi sử dụng tro bay làm chất phụ gia trong bê tông asphalt, độ ổn định Marshall được tăng lên, khả năng chống biến dạng, chống rạn nứt của hỗn hợp được cải thiện so với chất độn bột đá [3-6]. Do đó, tác giả đã kiến nghị sử dụng tro bay bất cứ nơi nào có sẵn, không chỉ giảm chi phí thi công mà còn giải quyết được một phần vấn đề sử dụng và xử lý tro bay, qua đó giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Để gia cường thêm các tính chất của bitum, một số nghiên cứu đã cho thấy tro bay có thể cải thiện tính chất lưu biến của bitum và hỗn hợp bitum để làm cho nó phù hợp hơn cho việc xây dựng đường [7]. Thử nghiệm độ ổn định Marshall được tiến hành trên các mẫu thử theo tiêu chuẩn ASTM D 1559. Kết quả cho thấy

khả năng biến tính hỗn hợp bê tông bitum đã mang lại sự ổn định tối đa với hàm lượng bitum ít hơn, góp phần giải quyết cuộc khủng hoảng dầu mỏ thế giới.

Tro bay cũng được thêm vào hỗn hợp bê tông nhựa như một vật liệu làm cứng và lấp đầy [8]. Các tính chất cơ học của các hỗn hợp này được xác định ở các chế độ nhiệt khác nhau và các thử nghiệm khả năng chịu ẩm đã được tiến hành để xác định khả năng ứng dụng của chúng. Kết quả nghiên cứu này cho thấy tro bay khi được sử dụng có lợi về mặt cải thiện độ bền, tăng độ ma sát và khả năng chống nứt.

Các kết quả nghiên cứu trên đều cho thấy, tro bay có thể sử dụng được trong bê tông asphalt. Tuy nhiên, các nghiên cứu đó chủ yếu tập trung vào việc đưa tro bay vào để sử dụng trong bê tông asphalt với các tỉ lệ thay đổi để nghiên cứu các tính chất cơ lý của chúng. Trong công trình này chúng tôi sẽ xử lý bề mặt của tro bay nhằm nâng cao sự liên kết của tro bay với bitum và nghiên cứu so sánh các chỉ tiêu kỹ thuật của chúng so với bê tông asphalt truyền thống sử dụng cốt liệu mịn là bột đá nhằm đưa ra một loại bê tông asphalt sử dụng tro bay có các chỉ tiêu kỹ thuật tương đương.

## 2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

### 2.1. Hóa chất

- Triethoxyphenylsilan (TEPS) có độ tinh khiết 98 % của Sigma Aldrich tỉ trọng 0.996 g/mL tại 25 °C.

- Chất phân tán Nuosperse W-30 của hãng Elementis có các thông số hóa học như sau: hàm lượng phân khô 33,5 %, độ nhớt 400 - 700 Cps, khối lượng riêng 1,04 g/cm<sup>3</sup>

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm sàng thành phần hạt

| Mắt sàng<br>(mm) | Phân trăm lọt sàng (%) |         |        |            |
|------------------|------------------------|---------|--------|------------|
|                  | Đá 10x19               | Đá 5x10 | Đá 0x5 | Bột khoáng |
| 19               | 100,00                 | 100,00  | 100,00 | 100,00     |
| 12,5             | 45,36                  | 100,00  | 100,00 | 100,00     |
| 9,5              | 13,41                  | 76,25   | 100,00 | 100,00     |
| 4,75             | 3,51                   | 1,93    | 93,73  | 100,00     |
| 2,36             | 1,10                   | 0,30    | 59,16  | 100,00     |
| 1,18             | 0,00                   | 0,20    | 37,47  | 100,00     |
| 0,6              | 0,00                   | 0,10    | 22,22  | 100,00     |
| 0,3              | 0,00                   | 0,00    | 13,69  | 97,60      |
| 0,15             | 0,00                   | 0,00    | 7,69   | 93,43      |
| 0,075            | 0,00                   | 0,00    | 3,91   | 82,48      |

Bảng 2. Thành phần hóa học của tro bay sử dụng

|               | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | T-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Mất khi nung |
|---------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|------|------|-------------------|------------------|--------------|
| Hàm lượng (%) | 57,42            | 24,00                          | 6,95                             | 1,91 | 1,18 | 0,17              | 4,30             | 2,51         |

Bảng 3. Chỉ tiêu kỹ thuật của nhựa đường 60/70 sử dụng

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm               | Thông số kỹ thuật | Đơn vị | Tiêu chuẩn thí nghiệm      |
|-----|-----------------------------------|-------------------|--------|----------------------------|
| 1   | Độ kim lún ở 25°C, 0,1mm, 5 giây  | 63,1              | 0,1mm  | TCVN 7495:2005             |
| 2   | Chỉ số độ kim lún PI              | 0,55              |        | Phụ lục II - 27/TT - BGTVT |
| 3   | Điểm hóa mềm (dung cụ vòng và bi) | 48,4              | °C     | TCVN 7497:2005             |
| 4   | Độ kéo dài ở 25°C, 5cm/phút       | >100              | cm     | TCVN 7496:2005             |
| 5   | Độ dính bám với đá                | Cấp 3             | Cấp    | TCVN 7504:2005             |

Bảng 4. Tỷ lệ phối trộn các loại cốt liệu

| STT | Loại cốt liệu             | Tỷ lệ % sử dụng (%) |
|-----|---------------------------|---------------------|
| 1   | Đá 10x19                  | 32                  |
| 2   | Đá 5x10                   | 25                  |
| 3   | Đá 0x5                    | 38                  |
| 4   | Bột khoáng (hoặc tro bay) | 5                   |

Bảng 5. Tỷ lệ phối trộn và thành phần hạt cấp phối đối chứng sử dụng nghiên cứu

| Loại cốt liệu | % phối trộn | Cỡ sàng - Phần trăm lọt sàng (%) |        |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|---------------|-------------|----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|               |             | 19                               | 12,5   | 9,5   | 4,75  | 2,36  | 1,18  | 0,6   | 0,3   | 0,15  | 0,075 |      |
| 10x19         | 32%         | 0,32                             | 32,00  | 14,51 | 4,29  | 1,12  | 0,35  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 |
| 5x10          | 25%         | 0,25                             | 25,00  | 25,00 | 19,06 | 0,48  | 0,07  | 0,05  | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,00 |
| 0x5           | 38%         | 0,38                             | 38,00  | 38,00 | 38,00 | 35,62 | 22,48 | 14,24 | 8,44  | 5,20  | 2,92  | 1,49 |
| Bột khoáng    | 5%          | 0,05                             | 5,00   | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 4,88  | 4,67  | 4,12 |
| Hoặc tro bay* | 5%          | 0,05                             | 5,00   | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00  | 5,00 |
| Hỗn hợp       |             |                                  | 100,00 | 82,51 | 66,35 | 42,22 | 27,91 | 19,29 | 13,47 | 10,08 | 7,59  | 5,61 |

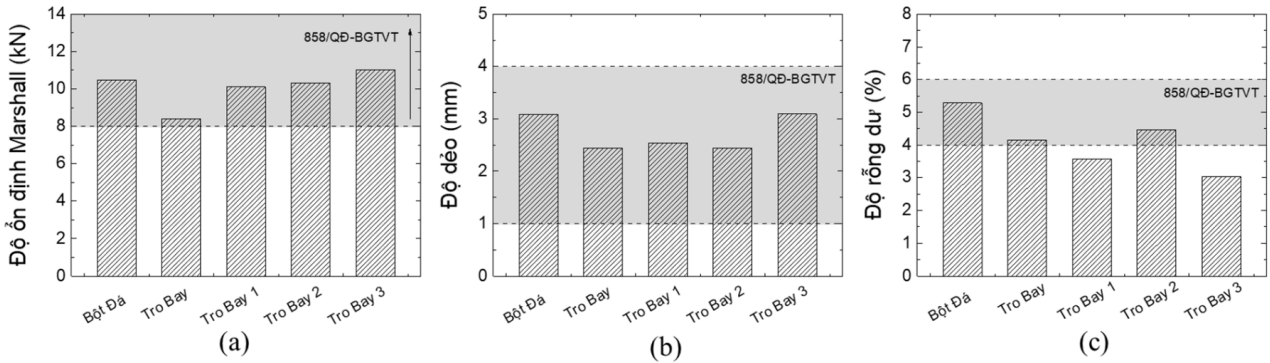
## 2.2. Vật liệu thí nghiệm

- Đá dăm: Mỏ đá Transmeco, Hà Nam (loại đá vôi) với 3 loại đá được sử dụng: Đá 10x19; đá 5x10; đá 0x5 và bột khoáng có thành phần hạt phân tích được như thể hiện trong bảng 1.

- Bột khoáng: Kien Khê, Hà Nam

- Tro bay tại nhà máy nhiệt điện phả lại có các thành phần hóa học sau khi phân tích như trong bảng 2.

- Nhựa đường: 60/70 Shell - Singapore sau khi thí nghiệm có giá trị như bảng 3.



**Hình 1.** Độ ổn định Marshall (a) độ dẻo (b) và rỗng dư (c), của bê tông asphalt với hàm lượng 5% bột khoáng, 5% tro bay không biến tính và 5% tro bay biến tính với các phụ gia khác nhau

### 2.3. Phương pháp thí nghiệm

#### 2.3.1. Biến tính tro bay

Tro bay được cân, đong và phối trộn với phụ gia theo tỉ lệ thiết kế (lượng phụ gia chiếm 0,3 % về khối lượng so với tro bay) và cho vào cối nghiền bi và nghiền liên tục trong thời gian 30 phút. Tro bay biến tính với 0,3 % Nuospere W-30, biến tính với 0,3% TEPS, và biến tính với 0,15% TEPS + 0,15% Nuospere W-30 lần lượt được ký hiệu là Tro bay 1, Tro bay 2 và Tro bay 3. Sau đó, các loại tro bay biến tính được đưa vào quy trình chế tạo bê tông asphalt.

#### 2.3.2. Cấp phối thành phần hạt sử dụng thử nghiệm

- Tỷ lệ phối trộn cốt liệu sử dụng thực hiện như trong bảng 4.

- Hàm lượng nhựa sử dụng nghiên cứu là: 4,5 % (tính theo hỗn hợp bê tông nhựa)

\* Tỉ lệ cấp phối hạt sử dụng bột đá hoặc tro bay

#### 2.3.3. Chế tạo bê tông asphalt

Bước 1: Gia nhiệt cốt liệu tới 170 °C - 190 °C; nhựa đường 60/70 tới 155 °C - 165 °C; tính toán hàm lượng nhựa, bột khoáng (hoặc tro bay) cần dùng và cân định lượng trước khối lượng bột khoáng (hoặc tro bay) cần sử dụng cho mẻ trộn;

Bước 2: Trút cốt liệu đã được gia nhiệt đến nhiệt độ quy định vào cối trộn; cho bột khoáng (hoặc tro bay) đã cân định lượng trước vào thùng trộn; dùng bay đảo đều cốt liệu và bột khoáng (hoặc tro bay) trong thùng trộn;

Bước 3: Dùng bay tạo hố trống giữa khối cốt liệu và trút lượng nhựa đường nóng (đã được định lượng theo thiết kế) vào hố trống;

Bước 4: Đưa thùng trộn vào máy trộn tự động trộn đều hỗn hợp nói trên. Thời gian trộn tùy thuộc vào khối lượng mẻ trộn, loại máy và cánh trộn của từng loại thiết bị.

Bước 5: Kết thúc quá trình trộn, tắt máy trộn, lấy hỗn hợp bê tông nhựa ra khỏi thùng trộn, tiến hành chế bị các mẫu cần thiết phục vụ cho công tác xác định các chỉ tiêu chất lượng của hỗn hợp bê tông nhựa (các chỉ tiêu Marshall, mô đun tĩnh, kéo uốn...). Các mẫu được chế bị, bảo dưỡng theo các tiêu chuẩn, quy định đối với hỗn hợp bê tông nhựa hiện hành.

### 2.4. Phương pháp và tiêu chuẩn đánh giá tính chất của bê tông asphalt

Độ ổn định Marshall I, độ dẻo, độ rỗng dư đo theo tiêu chuẩn TCVN 8860-1:2011.

Mô đun đàn hồi (tại 30 °C), cường độ chịu kéo uốn (tại 15 °C) đo theo Phụ lục C - 22TCN 211:06

Độ ổn định Marshall II còn lại đo theo tiêu chuẩn TCVN 8860-12:2011, 01 tổ thí nghiệm ở điều kiện ngâm 40 phút trong nước 60°C; 01 tổ thí nghiệm ở điều kiện ngâm 24 giờ trong nước 60°C.

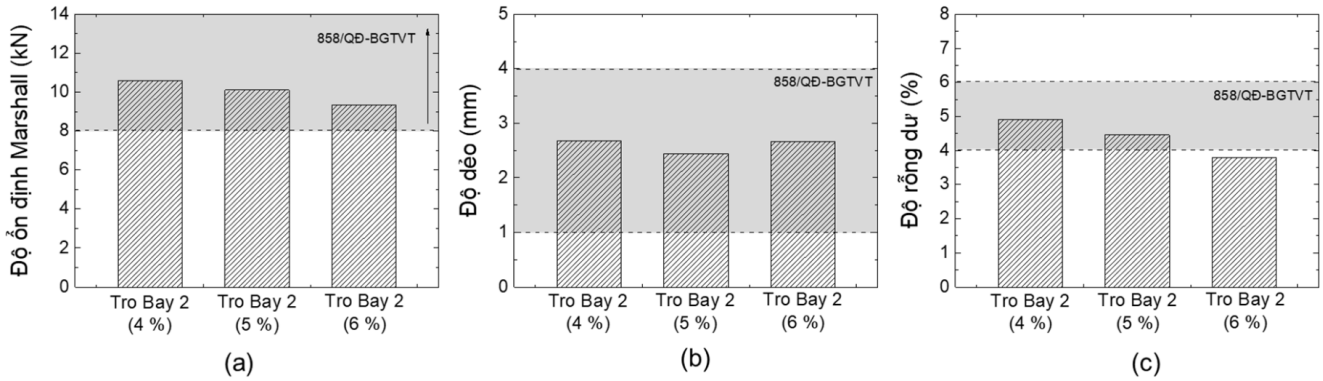
### 3. Kết quả nghiên cứu:

#### 3.1 Tính chất cơ lý của bê tông asphalt với các loại tro bay biến tính với các phụ gia khác nhau

Trên hình 1(a) là đồ thị biểu diễn độ ổn định (cường độ) Marshall của bê tông asphalt (BTA) sử dụng 5 % bột đá, 5 % tro bay và tro bay biến tính tương ứng (tro bay 1, tro bay 2 và tro bay 3). Kết quả cho thấy rằng giá trị độ ổn định Marshall của BTA sử dụng bột đá đạt giá trị 10,49 kN, cao hơn hẳn giá trị tương ứng của BTA sử dụng tro bay chưa biến tính (8,41 kN) và tương đương với tro bay biến tính tương ứng là 10,10 kN, 10,32 kN và 11,02 kN (tiêu chuẩn 858/QĐ-BGTVT cần  $\geq 8$  kN). Ta có BTA sử dụng tro bay 3 cho giá trị độ ổn định Marshall cao nhất, cao hơn cả giá trị của BTA sử dụng bột đá. Giá trị độ ổn định Marshall của BTA sử dụng tro bay biến tính cao hơn hẳn so với BTA sử dụng tro bay chưa biến tính điều này có thể lý giải do các chất phụ gia bám trên bề mặt tro bay có vai trò liên kết tốt với nhựa và làm cho tro bay phân tán đều đặn hơn trong bitum, làm tăng khả năng gia cường cho bitum.

Hình 1 (b) là độ dẻo của của bê tông asphalt (BTA) sử dụng 5 % bột đá, 5 % tro bay và tro bay biến tính tương ứng (tro bay 1, tro bay 2 và tro bay 3). Các giá trị độ dẻo của BTA sử dụng các loại bột trên đều đạt giá trị theo tiêu chuẩn 858/QĐ-BGTVT (1,4-4mm). Giá trị độ dẻo của BTA sử dụng tro bay 3 cao hơn so với BTA chưa biến tính và biến tính còn lại, điều này cho thấy rằng phụ gia biến tính tro bay 3 có tác dụng làm phân tán và gia cường tốt hơn.

Tương tự như trên, hình 1 (c) biểu diễn độ rỗng dư của các loại sử dụng 5 % bột đá, 5 % tro bay và tro bay biến tính tương ứng (tro bay 1, tro bay 2 và tro bay 3). Kết quả cho thấy với mẫu



Hình 2. Độ ổn định (a), độ dẻo (b) và độ rỗng dư (c) của bê tông asphalt với hàm lượng 5% bột khoáng và tro bay biến tính với các hàm lượng thay đổi từ 4 - 6 %

Bảng 6. Độ ổn định của bê tông asphalt chứa 5 % bột đá và 5 % tro bay biến tính sau khi ngâm trong nước theo thời gian

| Loại mẫu                               | Độ ổn định Marshall ngâm 24 giờ (kN) | Độ ổn định Marshall ngâm 40 phút (kN) | Độ ổn định còn lại (%) |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| BTA- Bột đá                            | 9,73                                 | 10,49                                 | 92                     |
| BTA- Tro bay biến tính                 | 9,49                                 | 10,32                                 | 92                     |
| Yêu cầu kỹ thuật (theo 858/QĐ-BGTVT)   |                                      |                                       | Min 80                 |
| Yêu cầu kỹ thuật (theo TCVN 8819:2011) |                                      |                                       | Min 75                 |

BTA sử dụng bột đá thì độ rỗng dư của các mẫu đều cao hơn so với các mẫu BTA sử dụng tro bay và tro bay biến tính. Điều này có thể lý giải rằng vì tro bay có kích thước nhỏ hơn so với bột đá sử dụng trong nghiên cứu này nên chúng làm cho hỗn hợp BTA kết cấu chặt chẽ hơn làm giảm độ rỗng dư. Mẫu tro bay 1 và 2 biến tính bằng phụ gia hữu cơ có vai trò phân tán các hạt vô cơ trong bitum. Ảnh hưởng của phụ gia này làm cho các hạt tro bay phân tán tốt trong bitum đồng thời có tác dụng lên cả hệ BTA làm cho chúng có xu hướng phân tán tốt hơn và làm cho các hạt trong BTA có xu thế kết tụ lại với nhau, cho BTA kết cấu chặt chẽ hơn nên làm giảm độ rỗng dư của BTA. Giá trị độ rỗng dư của BTA tro bay 1 và BTA tro bay 2 đạt giá trị tương ứng là 3,56 % và 3,03 %. Đối với yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8819:2011 quy định từ 3 - 6 % thì 2 loại BTA tro bay này đều đạt yêu cầu. Tuy nhiên theo yêu cầu kỹ thuật 858/QĐ-BGTVT quy định độ rỗng dư từ 4 - 6 % thì 2 loại BTA tro bay này có độ rỗng dư thấp hơn. Đối với loại tro bay 2 biến tính bằng phụ gia hoàn toàn bằng silan, phụ gia này có vai trò gia cường cho BTA nhưng làm tăng khả năng kết tụ của các hạt trong BTA nên độ rỗng dư không bị giảm và đạt giá trị trung bình 4,9 %. Vì vậy, BTA sử dụng tro bay biến tính 2 được tiếp tục nghiên cứu các tính chất khác.

Trên hình 2 mô tả độ ổn định Marshall độ dẻo và rỗng dư, của bê tông asphalt của BTA biến tính với tro bay 2 với hàm lượng tro bay biến tính thay đổi là 4 %, 5 % và 6 %.

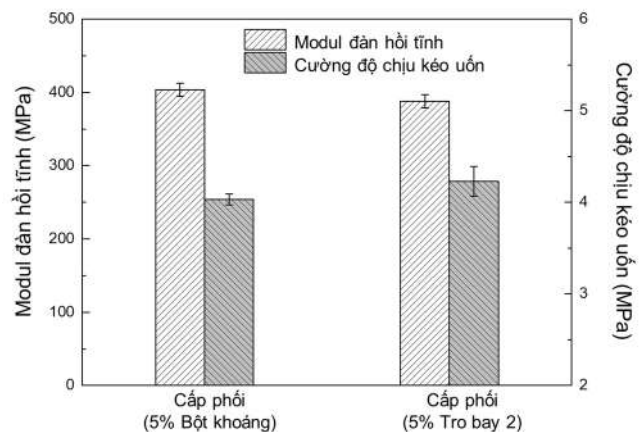
Kết quả cho thấy rằng khi tăng hàm lượng tro bay biến tính lên đến 6 %, nhìn chung, các giá trị về độ ổn định Marshall và độ dẻo vẫn đạt trên giá trị tiêu chuẩn yêu cầu. Tuy nhiên khi hàm lượng tro bay biến tính càng tăng thì độ ổn định Marshall và độ rỗng dư có xu thế giảm dần. Điều này có thể giải thích rằng khi hàm lượng tro bay tăng lên làm cho các hạt tro bay kết tụ lại với nhau làm cho độ bám dính của nhựa với đá giảm dẫn đến độ bền

Marshall giảm. Khi hàm lượng tro bay tăng, lượng tro bay sẽ điền vào các lỗ rỗng trong BTA làm cho độ rỗng dư của BTA giảm dần.

Bảng 6 trình bày kết quả thí nghiệm độ ổn định Marshall ở điều kiện ngâm 40 phút và 24 giờ trong nước 60 °C của mẫu BTA tro bay biến tính với mẫu BTA-bột đá. Kết quả cho thấy độ ổn định Marshall còn lại của 2 mẫu là bằng nhau và đạt yêu cầu kỹ thuật theo 858/QĐ-BGTVT.

Hình 3 là mô đun đàn hồi tĩnh và cường độ chịu kéo của hai mẫu BTA tro bay và BTA- bột đá tại nhiệt độ 30 °C. Giá trị mô đun đàn hồi tĩnh của BTA tro bay đạt giá trị 388 MPa, thấp hơn một chút so với giá trị mô đun đàn hồi tĩnh của BTA-bột đá đạt giá trị là 403 MPa.

Ngược lại, cường độ chịu kéo uốn tại nhiệt độ 15°C của BTA tro bay biến tính đạt giá trị 4,23 MPa cao hơn so với cường độ chịu kéo uốn của BTA-bột đá có giá trị là 403 MPa.



Hình 3. Mô đun đàn hồi tĩnh và cường độ chịu kéo uốn của mẫu bê tông asphalt chứa 5 % bột đá và 5 % tro bay biến tính

#### 4. Kết luận

Sử dụng tro bay biến tính bằng các phụ gia hữu cơ (TEPS) và chất phân tán Nuosperse W-30 đã cải thiện được độ bền Marshall của BTA so với BTA sử dụng tro bay không biến tính. BTA sử dụng tro bay thay thế bột đá có các tính chất cơ lý đạt chỉ tiêu kỹ thuật so với yêu cầu của Bộ GTVT, tuy nhiên các tính chất cơ lý đạt được đều thấp hơn tính chất cơ lý của BTA thông thường sử dụng bột đá. BTA tro bay biến tính bằng 0,3 % TEPS có các tính chất cơ lý cao hơn hẳn so với BTA tro bay không biến tính. BTA tro bay biến tính hoàn toàn có thể thay thế BTA sử dụng bột khoáng thông thường./.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]Sreelakshmi D., Annie J. (2018), "Alkaline Activation of Fly Ash: An Overview", International Research Journal of Engineering and Technology, 05 (11), pp. 770 - 773.
- [2]Konstantin S., Ismael F., Justin D. B., Ahmed F., Art C. (2013), "Application of Fly Ash in Asphalt Concrete: from Challenges to Opportunities", World of Coal Ash Conference, Session: Cement & Concrete VI.
- [3]Srividya D., Nagan S. (2018), "Effect of fly-ash based geopolymer coated aggregate on bituminous mixtures", Gradevinar, 70 (3), pp. 187 - 199.
- [4]Ajay K., Anil K.C. (2014), "Experimental Investigation of Bituminous Mixes Using Fly Ash as Filler Material", Journal of Civil Engineering and Environmental Technology, 1 (6), pp. 4 - 6.
- [5]Katara S.D., Modhiya C.S., Raval N.G. (2014), "Influence of Modify Bituminous Mix with Fly Ash", International Journal of Engineering and Technical Research, 2 (4), pp. 184 - 186.
- [6]Debashish K., Mahabir P., Jyoti P.G. (2014), "Influence of Fly-ash as a Filler in Bituminous Mixes", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 9 (6), pp. 895 - 900.
- [7]Poorna P.S, Mohamed I.A. (2014), "Marshall Test Properties of Bituminous Concrete Mixes Using Fly Ash Modified Bitumen", International Journal of Scientific & Engineering Research, 5 (7), pp. 439 - 444.
- [8]Ali N., Chan J.S., Simms S., Bushman R., Bergan A.T. (1996), "Mechanistic evaluation of fly ash asphalt concrete mixtures", Journal of Materials in Civil Engineering, 8, pp. 19-25.

Lời cảm ơn. Công trình này được hỗ trợ kinh phí nghiên cứu từ đề tài khoa học và công nghệ của Bộ Xây dựng, số RD47-19.s