



## EVALUATION OF THE EFFECTS OF NYLON WASTE AS A BINDER ON ELASTIC MODULI OF ASPHALT CONCRETE

Nguyen Hong Quan<sup>1,2</sup>, Chu Tien Dung<sup>2\*</sup>, Nguyen Quang Phuc<sup>2</sup>,  
Luong Xuan Chieu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Government Inspectorate, D29, Yen Hoa, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Highway and Traffic Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 11/7/2020

Revised: 26/8/2020

Accepted: 9/9/2020

Published online: 28/10/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.8.8>

\* *Corresponding author*

Email: dungchu@utc.edu.vn

**Abstract.** Recently, plastic wastes including nylon bag have been becoming a critical issue in many countries worldwide as well as Vietnam. Towards a sustainable development, the trend of recycling types of plastic waste is a target of many nations. In transportation field, the use of nylon waste as a binder for asphalt concrete (AC) has been successfully applied in some countries. In Vietnam, there have been some studies regarding this topic. Aiming to use nylon waste for AC, this study evaluates the effects of nylon waste on AC elastic moduli including static elastic modulus, dynamic elastic modulus and complex elastic modulus. The results showed that the nylon waste helps to increase the elastic modulus of AC.

**Keywords:** nylon waste, asphalt concrete, static elastic modulus, dynamic elastic modulus and complex elastic modulus.

© 2020 University of Transport and Communications



## ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ GIA NYLON PHẾ THẢI ĐẾN MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG NHỰA

Nguyễn Hồng Quân<sup>1,2</sup>, Chu Tiến Dũng<sup>2\*</sup>, Nguyễn Quang Phúc<sup>2</sup>,  
Lương Xuân Chiêu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thanh tra Chính phủ, lô D29 Trần Thái Tông, Yên Hòa, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Bộ môn Đường bộ, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 11/7/2020

Ngày nhận bài sửa: 26/8/2020

Ngày chấp nhận đăng: 9/9/2020

Ngày xuất bản Online: 28/10/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.8.8>

\* Tác giả liên hệ

Email: dungchu@utc.edu.vn

**Tóm tắt.** Hiện nay, phế thải nhựa trong đó có túi nylon đang là một vấn đề nổi cộm của nhiều nước trên thế giới cũng như Việt Nam. Xu thế tái sử dụng phế thải nhựa hướng đến phát triển bền vững là mục tiêu của nhiều quốc gia. Trong lĩnh vực giao thông, việc sử dụng phế thải nylon như một loại phụ gia trong hỗn hợp bê tông nhựa (BTN) đã được áp dụng thành công ở nhiều nước trên thế giới. Tại Việt Nam, đã có những nghiên cứu bước đầu về vấn đề này. Để hướng tới mục tiêu nghiên cứu sử dụng nylon phế thải trong BTN, nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của phụ gia nylon đến mô đun đàn hồi (MĐĐH) của BTN bao gồm MĐĐH tĩnh ( $E_{đh}$ ), MĐĐH động ( $M_r$ ) và MĐĐH phức ( $|E^*|$ ). Kết quả nghiên cứu cho thấy phụ gia nylon phế thải có thể làm tăng MĐĐH của hỗn hợp BTN.

**Từ khóa:** nylon phế thải, bê tông nhựa, mô đun đàn hồi tĩnh, mô đun đàn hồi động, mô-đun đàn hồi phức

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát triển bền vững là mục tiêu của các nước trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Hiện nay, theo Bộ tài nguyên và môi trường [1], bình quân, mỗi hộ gia đình sử dụng khoảng 1 kg túi nylon/tháng. Riêng Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh trung bình mỗi ngày thải ra môi trường khoảng 80 tấn nhựa và nilon. Để các chất thải từ nhựa và nylon phân hủy hết, phải mất hàng trăm, thậm chí hàng nghìn năm. Điều này gây ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con

người, đe dọa các hệ sinh thái và sự phát triển bền vững của mỗi quốc gia. Vì vậy, việc nghiên cứu tái sử dụng chất thải nhựa trong đó có túi nylon là hết sức cần thiết, có ý nghĩa thực tế, góp phần giảm ô nhiễm môi trường và tiết kiệm tài nguyên.

Trong lĩnh vực giao thông, các nước trên thế giới đang có xu hướng tái sử dụng nhựa phế thải như một loại phụ gia cho hỗn hợp bê tông nhựa (BTN) [2]. Trên thế giới có nhiều nghiên cứu sử dụng các loại phế thải nhựa cho hỗn hợp BTN và ảnh hưởng của nó đến chất lượng mặt đường BTN [3,4,5,6]. Kết quả của các nghiên cứu này chỉ ra rằng, việc sử dụng nhựa phế thải trong hỗn hợp BTN có thể cải thiện tính chất cơ lý của nó (ví dụ như độ ổn định Marshall, độ ổn định nước và khả năng chống nứt truyền). Một số nghiên cứu đánh giá việc sử dụng phế thải nhựa như chất cải thiện chất kết dính asphalt để tăng cường hiệu quả của nó. Hınıslıoglu và Agar [7] đã sử dụng phế thải nhựa với hàm lượng 4%, 6% và 8% theo trọng lượng kết dính tối ưu. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy trộn với chất thải nhựa 4% mang lại hiệu độ ổn định Marshall cao nhất và hỗn hợp cũng có khả năng chống độ lún vệt hằn bánh xe. Humeidawi [8] đã đánh giá việc sử dụng chất thải nhựa để tăng cường các tính chất cơ lý của hỗn hợp BTN. Kết quả cho thấy việc trộn phế thải nhựa vào hỗn hợp mang lại độ ổn định Marshall cao hơn và độ bền kéo gián tiếp cao hơn một hỗn hợp thông thường. Tại Việt Nam, Nguyễn Quang Phúc và các cộng sự [9] nghiên cứu sử dụng phế thải nhựa (mảnh nylon và nắp chai PP) làm phụ gia theo phương pháp trộn khô. Kết quả của nhóm nghiên cứu chứng minh rằng khi dùng phế thải nhựa thì độ ổn định Marshall tăng đáng kể so với mẫu đối chứng dùng nhựa 60/70. Nghiên cứu cũng cho thấy sử dụng mảnh nylon cho độ ổn định Marshall cao hơn so với khi sử dụng nhóm hạt nhựa đùn. Trong một nghiên cứu khác, Nguyễn Hồng Quân và các cộng sự [10] chỉ ra rằng, tỷ lệ phụ gia nylon thích hợp nhất để cải thiện các chỉ tiêu cơ học như độ ổn định Marshall và cường độ chịu kéo gián tiếp của BTN là 8% (theo khối lượng nhựa).

Mặc dù đã có những kết quả nghiên cứu nhất định về sử dụng phế thải nhựa tại Việt Nam [9, 10], việc tiếp tục đánh giá ảnh hưởng của phế thải nhựa đến các tính chất cơ lý của BTN là cần thiết. Trong đó, mô đun đàn hồi (MĐĐH) tĩnh là một trong những chỉ tiêu quan trọng trong việc đánh giá chất lượng cũng như dùng để tính toán kết cấu áo đường mềm theo tiêu chuẩn 22TCN 211 – 06 [11] và là thông số cơ bản nhất để thiết kế kết cấu mặt đường theo phương pháp cơ học-thực nghiệm (MĐĐH phức của BTN). Bên cạnh đó, MĐĐH động (Mr) và hệ số  $a_i$  của BTN được dùng để tính toán kết cấu mặt đường theo AASHTO93 (22TCN 274-01) [12]. Vì vậy, mục tiêu của bài báo này là đánh giá ảnh hưởng của phế thải nhựa, cụ thể là nylon phế thải đến các loại MĐĐH của hỗn hợp BTN.

## 2. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

Trong bài báo này, trước hết, ảnh hưởng của nylon phế thải đến mô đun đàn hồi tĩnh (Edh) được xác định theo 22TCN 211 – 06 [11]. Tuy nhiên, mô hình thí nghiệm tĩnh chưa mô phỏng đúng mô hình cơ học chịu lực của vật liệu BTN trong kết cấu mặt đường. Ngoài ra, với cơ chế gia tải tĩnh cũng hoàn toàn không mô phỏng được điều kiện chịu tải trọng xe chạy của mặt đường, khi mà thời gian tác dụng của tải trọng rất ngắn, phụ thuộc vào tốc độ của xe chạy. Vì vậy, bên cạnh MĐĐH tĩnh, bài báo cũng đánh giá ảnh hưởng của nylon phế thải đến MĐĐH động (Mr), MĐĐH phức (E\*) của BTN. Phế thải nhựa sử dụng trong bài báo này là túi bao gói nylon có gốc LDPE có màu trong (chưa được tái chế) lấy từ rác thải khu vực Hà Nội. Túi nylon được rửa loại bỏ chất bẩn, sấy khô và cắt nhỏ với kích cỡ lọt sàng 2.36mm. Các chỉ tiêu kỹ thuật của vật liệu nylon phế thải được trình bày trên Bảng 1. Cách thức trộn và chế bị mẫu có phụ gia tuân theo trình tự như đã được trình bày trong nghiên cứu của Nguyễn

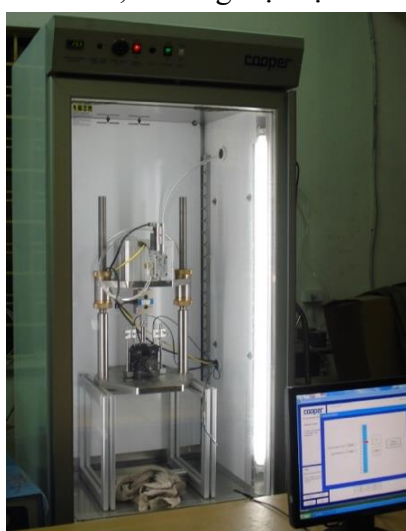
Hồng Quân và các cộng sự [0].

Bảng 1. Yêu cầu về các chỉ tiêu kỹ thuật của vật liệu nylon phế thải.

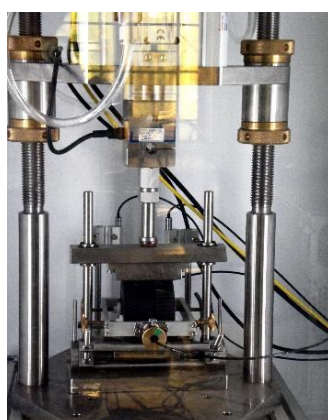
TT	Chỉ tiêu	Quy định	Phương pháp thí nghiệm
1	Loại phụ gia dạng mảnh hoặc dạng hạt	LDPE, HDPE: Loại không bị tái sử dụng nhiều lần, màu đen	Đánh giá bằng mắt ký hiệu nhựa
2	Thành phần hạt	Lọt qua sàng 2.36 và sót trên sàng 0.6mm	TCVN 7572-2: 2006
3	Hàm lượng chung bụi bùn sét, %	≤ 1.00	TCVN 7572-8: 2006
4	Chỉ số chảy MFI, g/10 phút	LDPE từ 0.14-58 HDPE từ 0.02-9	ASTM D1238 – 13
5	Tỷ lệ phụ gia	6% - 8% khối lượng nhựa đường	

### 2.1. Thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh (Edh)

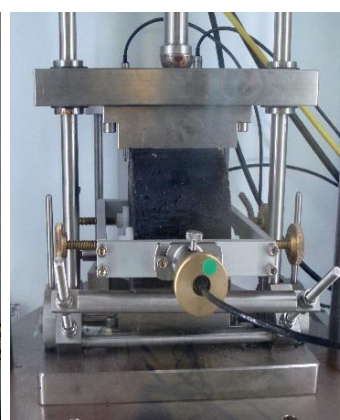
Thí nghiệm xác định MĐĐH của mẫu BTN ở các điều kiện nhiệt độ 15°C; 30°C; 60°C theo 22TCN 211 – 06 [11]. Thí nghiệm được thực hiện với BTNC12.5 ở đầy đủ 3 nhiệt độ nêu trên. Ngoài ra, để so sánh tổng thể hiệu quả của phụ gia nylon, nhóm nghiên cứu thí nghiệm thêm với BTNC19 ở nhiệt độ 15°C. Hàm lượng nylon sử dụng là 8% theo khối lượng nhựa, dựa trên kết quả nghiên cứu của Nguyễn Hồng Quân và các cộng sự [0]. Mẫu đối chứng là BTNC12.5 sử dụng nhựa 60/70 thông thường. Thí nghiệm theo mô hình nén dọc trục nở hông tự do, tải trọng tĩnh theo 22TCN 211 – 06 [11]. Thí nghiệm được thực hiện trong tủ khí hậu điều chỉnh được nhiệt độ. Các biến đầu vào của thiết kế thực nghiệm gồm hai biến “phụ gia” và “nhiệt độ”. Biến phụ gia gồm KPG (Không phụ gia) và CPG (Có 8% nylon). Biến nhiệt độ gồm 3 mức 15°C; 30°C và 60°C. Tổng số thí nghiệm là 2 Phụ gia × 3 Nhiệt độ × 6 mẫu/tổ mẫu = 36 thí nghiệm. Thí nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm trọng điểm UTC-Cienco4, Trường Đại học GTVT.



a) Bộ thiết bị thí nghiệm Cooper



b) Khung thiết bị



c) Khung giá mẫu

Khung giá mẫu thí nghiệm xác định MĐĐH bằng mô hình kéo gián tiếp tải trọng lạp

Hình 1. Thiết bị thí nghiệm Cooper – Trường Đại học GTVT.

## 2.2. Thí nghiệm mô đun đàn hồi động ( $M_r$ )

Thí nghiệm kéo gián tiếp tải trọng lặp là mô hình thí nghiệm thể hiện được đặc điểm vật liệu khi chịu tải trọng thực tế, do mẫu vật liệu trong thí nghiệm gắn tương tự như vật liệu BTN làm lớp mặt đường là chịu kéo xuất phát từ tải trọng nén. Trạng thái phá hoại do ứng suất kéo cũng là trạng thái phá hoại thường thấy đối với lớp BTN mặt đường như là nứt do mỏi và nứt do ứng suất kéo trong điều kiện nhiệt độ thấp. Tải trọng lặp tác dụng trong thời gian ngắn cho phép mô phỏng được điều kiện tác dụng của tải trọng xe chạy trên đường. Thí nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm vật liệu xây dựng, trường Đại học GTVT trên máy Cooper (hình 1), tiêu chuẩn thí nghiệm ASTM D4123 [13], BS EN 12697-26:2004 [14] (phụ lục C) và 22TCN 274 - 01 [12]. Nhiệt độ thí nghiệm là 20°C để phù hợp với quy định của phương pháp thiết kế đường theo hướng dẫn AASHTO 93. Thí nghiệm được tiến hành đối với BTNC12.5 8% nylon có đối chứng với BTNC12.5 60/70 thông thường (mỗi loại 4 mẫu).

## 2.3. Thí nghiệm mô đun đàn hồi phức của BTN

Hiện nay, theo các tiêu chuẩn của Hoa Kỳ, có 3 tiêu chuẩn khác nhau dùng để xác định giá trị MĐĐH của BTN: AASHTO TP 79-13; AASHTO T342-11; AASHTO TP 62 [15]. Thiết bị của Trường Đại học Giao thông vận tải phù hợp để thực hiện thí nghiệm theo tiêu chuẩn AASHTO TP62, do vậy tiêu chuẩn AASHTO TP-62 được áp dụng để thực hiện thí nghiệm MĐĐH phức ( $|E^*|$ ) của các mẫu BTN.

Theo tiêu chuẩn AASHTO TP-62 [15], để thí nghiệm  $|E^*|$  cần xác định các thông số như tần số tác dụng của tải trọng, nhiệt độ thí nghiệm... Do đặc thù thiết bị thí nghiệm CRT-UTM-NU của Trường ĐHGTVT cài đặt các giá trị mặc định sẵn với tần số tải trọng tác dụng cố định là 0.1Hz, 0.5Hz, 1Hz, 5Hz, 10Hz và 25Hz nên các tần số này sẽ được sử dụng trong thí nghiệm  $|E^*|$  của BTN. Về nhiệt độ, các giá trị nhiệt độ thí nghiệm  $|E^*|$  sẽ gồm các nhiệt độ từ thấp tới cao, đủ để kết hợp với phạm vi tần số tác dụng của tải trọng để xây dựng được các đường cong chủ của MĐĐH động của các hỗn hợp BTNC khác nhau đạt độ chính xác phù hợp. Trên nguyên tắc này, các nhiệt độ sử dụng trong thí nghiệm  $|E^*|$  gồm có 10°C, 25°C, 40°C, và 55°C và việc thí nghiệm được tiến hành theo thứ tự từ nhiệt độ thấp nhất tới nhiệt độ cao nhất, và tại mỗi nhiệt độ sẽ tiến hành thí nghiệm theo thứ tự từ tần số lớn nhất tới tần số nhỏ nhất.

Bảng 2. Các mức độ ứng suất động tùy theo nhiệt độ thí nghiệm điển hình [15].

Nhiệt độ thí nghiệm		Phạm vi ứng suất	
(°C)	(°F)	(kPa)	(Psi)
-10	14	1400 -2800	200-400
4	40	700-1400	100-200
21	70	350-700	50-100
37	100	140-250	20-50
54	130	35-70	5-10

Các mức độ ứng suất động tác dụng vào mẫu phụ thuộc vào độ cứng của mẫu, tùy theo các giá trị của nhiệt độ trong thí nghiệm mẫu mà mức độ ứng suất tác dụng vào mẫu thay đổi với nguyên tắc nhiệt độ càng thấp thì giá trị ứng suất sử dụng trong thí nghiệm càng lớn và ngược lại, giá trị ứng suất tác dụng vào mẫu cần điều chỉnh sao cho mức độ biến dạng dọc

trục trong khoảng 50 tới 150 microstrain. Bảng 2 đưa ra các mức ứng suất động điển hình tùy theo các giá trị của nhiệt độ thí nghiệm khác nhau. Các giá trị ứng suất được nội suy từ bảng 2 ứng với nhiệt độ thí nghiệm 10°C, 25°C, 40°C, và 55°C.

Số chu kỳ tác dụng của tải trọng tùy thuộc vào các giá trị tần số sử dụng trong thí nghiệm, tần số bé thì số chu kỳ tác dụng cũng nhỏ, bảng 3 tóm tắt số chu kỳ tác dụng của tải trọng tùy theo các giá trị tần số khác nhau.

Bảng 3. Số các chu kỳ thí nghiệm tùy theo các giá trị của tần số khác nhau [15].

Tần số (Hz)	0.1	0.5	1	5	10	25
Số chu kỳ	15	15	20	100	200	200

Các giá trị của  $|E^*|$  ở các tần số và nhiệt độ khác nếu cần biết, sẽ được xác định bằng việc xây dựng đường cong chủ (master curve) của  $|E^*|$  của các loại BTNC tương ứng.

#### Tóm tắt phương pháp thí nghiệm

Sau khi công tác chuẩn bị mẫu đã xong, các mẫu BTN được gia công hai đầu mẫu để đảm bảo các đầu mẫu có mặt phẳng tiếp xúc tốt với bộ phận gia tải, hạn chế các sai số liên quan tới bề mặt mẫu. Các mẫu sau đó được cho vào tủ kiểm soát nhiệt độ với thời gian duy trì nhiệt độ như bảng 4. Sau khi các mẫu BTNC đã duy trì đủ thời gian cho từng mức nhiệt độ khác nhau ở trên, các mẫu sẽ được tiến hành thí nghiệm bằng việc tác dụng một tải trọng hình sin với độ lớn và chu kỳ tác dụng tùy theo mức nhiệt độ và tần số như các bảng 2 và bảng 3. Các bộ phận cảm biến sẽ ghi lại kết quả của biến dạng phục hồi dọc trục của mẫu và xuất kết quả qua máy tính. Giá trị MĐĐH phức ( $E^*$ ) và MĐĐH động của BTNC ( $|E^*|$ ) sẽ được xác định theo công thức (1) và (2).

Bảng 4. Thời gian duy trì mẫu thí nghiệm ở các nhiệt độ khác nhau.

Nhiệt độ mẫu (°C)	Thời gian với mẫu chưa qua thí nghiệm (nhiệt độ phòng là 25oC), (h)	Thời gian mẫu đã được kiểm tra ở mức nhiệt độ trước đó (h)
10	Qua đêm	4h hoặc qua đêm
25	1	3
40	2	2
55	3	1

$$E^* = \frac{\sigma_o \cdot e^{i\omega t}}{\epsilon_o^{i(\omega t - \delta)}} = E_1 + iE_2 \quad (1)$$

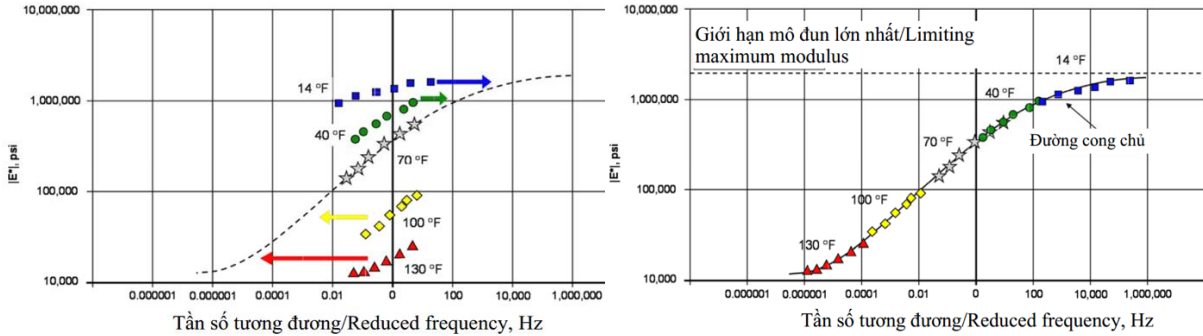
$$|E^*| = \sqrt{\left(\frac{\sigma_o \cos \delta}{\epsilon_o}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_o \sin \delta}{\epsilon_o}\right)^2} = \frac{\sigma_o}{\epsilon_o} \quad (2)$$

Trong đó:  $\sigma_o$  là ứng suất tác dụng dọc trục lớn nhất (maximum stress), psi (kPa);  $\epsilon_o$  là biến dạng phục hồi dọc trục lớn nhất (maximum strain), in/in (m/m);  $\delta$  là góc pha (độ),  $\omega$  là vận tốc góc, và  $t$  là thời gian, (s).

#### Xây dựng đường cong chủ (master curve)

Việc xây dựng đường cong chủ (master curve) của  $|E^*|$  để có thể xác định được giá trị  $|E^*|$  tại nhiệt độ hay tần số bất kỳ. Đường cong chủ master curve được xây dựng từ quy tắc tương quan tần số - nhiệt độ. Hình 2 minh họa nguyên lý xây dựng đường cong chủ của  $|E^*|$ .

Xây dựng đường cong chủ của  $|E^*|$  có ý nghĩa kinh tế-kỹ thuật vì không cần làm thí nghiệm  $|E^*|$  nhiều nhưng vẫn có thể xác định được các giá trị  $|E^*|$  tại bất kỳ mức nhiệt độ/tần số mong muốn. Phương trình đường cong chủ của  $|E^*|$  là một hàm hình sin và đồ thị logarit các hệ số dịch chuyển (shift factors) của  $|E^*|$  theo nhiệt độ được thể hiện công thức (3).



Hình 2. Nguyên lý xây dựng đường cong chủ của  $|E^*|$  và đường cong chủ của  $|E^*|$ .

$$\log |E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log t_r)}} \quad (3)$$

$$\log a(T) = aT^2 + bT + c$$

Trong đó:  $|E^*|$  là MĐĐH động (kpsi);  $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  và  $a$ ,  $b$ ,  $c$  là 7 thông số phù hợp mô hình;  $t_r$  là thời gian tác dụng tương đương tại nhiệt độ tham chiếu  $T_r$  ( $^{\circ}F$ ) ( $s$ ) (được xác định theo công thức 4);  $a(T)$  là hệ số dịch chuyển tại nhiệt độ thí nghiệm  $T$  ( $^{\circ}F$ );  $t$  là thời gian tác dụng của tải trọng ở nhiệt độ thí nghiệm ( $s$ );  $f$  là tần số tác dụng của tải trọng tại nhiệt độ thí nghiệm ( $Hz$ ).

$$\log t_r = \log t - (aT^2 + bT + c) \quad (4)$$

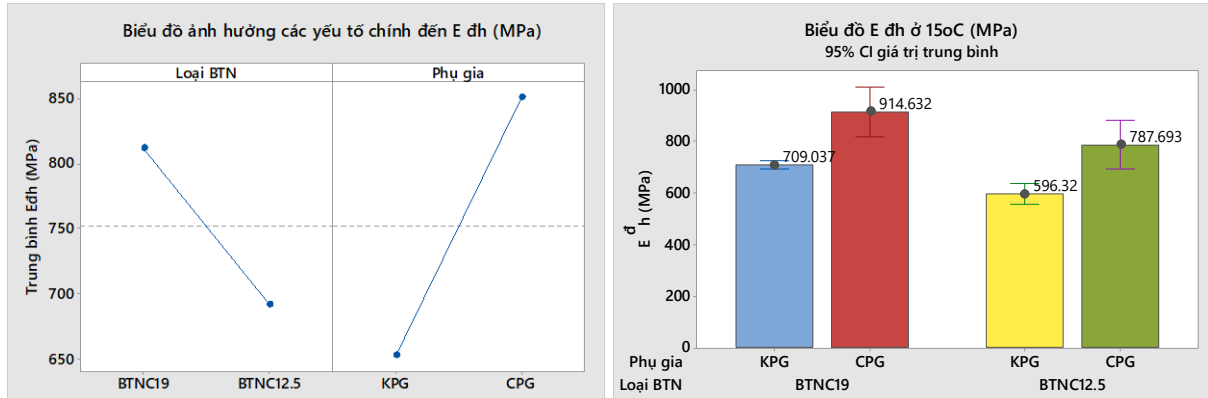
### Quy hoạch thí nghiệm

Các biến đầu vào của thiết kế thực nghiệm bao gồm 4 biến: (1) Loại BTN gồm 2 loại (BTNC19 và BTNC12.5); (2) Phụ gia có 2 loại (KPG (đối chứng) và CPG (8% nylon)); (3) Nhiệt độ có 4 mức (10  $^{\circ}C$ ; 25  $^{\circ}C$ ; 40  $^{\circ}C$ ; 55  $^{\circ}C$ ); (5) Tần số có 6 mức (0.1; 0.5; 1.0; 5.0; 10.0; 25.0 Hz). Tổng số thí nghiệm là  $2 \times 2 \times 4 \times 6 \times 3$  mẫu/tổ mẫu = 288 thí nghiệm.

## 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Mô đun đàn hồi tĩnh ( $E_{dh}$ )

Nhóm nghiên cứu đã phân tích ANOVA để xác định mức độ ảnh hưởng của loại BTN và phụ gia đến MĐĐH tĩnh. Kết quả cho thấy  $p$ -value của các biến nhỏ hơn 0.05, hệ số Lack-of-Fit  $> 0.05$  và hệ số xác định điều chỉnh  $R^2_{đc} = 75.30\%$  nên mô hình có ý nghĩa thống kê. Hình 3a) thể hiện các yếu tố chính ảnh hưởng đến  $E_{dh}$ . Kết quả cho thấy BTNC19 có MĐĐH cao hơn BTNC12.5. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với 22TCN 211 – 06 [11], nghĩa là loại BTN có nhiều đá dăm hơn sẽ có  $E_{dh}$  tĩnh cao hơn. Ngoài ra, hình 3a) cũng cho thấy, phụ gia có ảnh hưởng rất lớn đến  $E_{dh}$  (thể hiện bằng độ dốc của đường thẳng). Khi sử dụng phụ gia nylon có hiệu quả rõ rệt đến MĐĐH tĩnh của BTN. Hình 3b) so sánh giá trị  $E_{dh}$  ở khoảng tin cậy (CI – confident interval) 95%. Có thể nhận thấy sử dụng phụ gia làm tăng rõ rệt MĐĐH tĩnh của BTN. Các kết quả thí nghiệm cũng đảm bảo độ chụm.



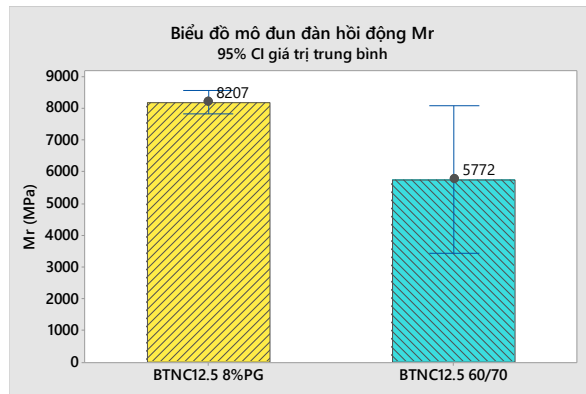
a) Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố chính

b) Biểu đồ tổng hợp E<sub>dh</sub> tĩnh

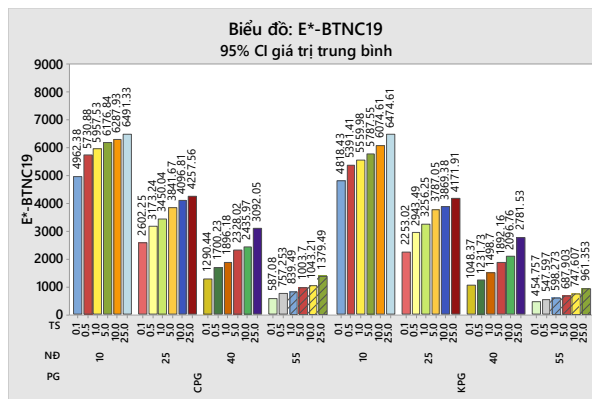
Hình 3. Kết quả so sánh E<sub>dh</sub> tĩnh ở nhiệt độ 15 °C.

### 3.2. Mô đun đàn hồi động (M<sub>r</sub>)

Kết quả thí nghiệm MĐĐH động M<sub>r</sub> được thể hiện trên hình 4. Có thể thấy, BTNC12.5 sử dụng 8% phụ gia có MĐĐH động (M<sub>r</sub> = 8207MPa) cao gấp 1.422 lần so với BTN đối chứng (M<sub>r</sub> = 5772MPa). Độ phân tán của kết quả thí nghiệm M<sub>r</sub> khi sử dụng phụ gia cũng thấp hơn so với mẫu đối chứng. Với kết quả thí nghiệm M<sub>r</sub>, nhóm nghiên cứu kiến nghị hệ số khi thiết kế theo AASHTO93 a<sub>i</sub>=0.44 với BTNC12.5 phụ gia và a<sub>i</sub>=0.4 đối với BTN đối chứng.

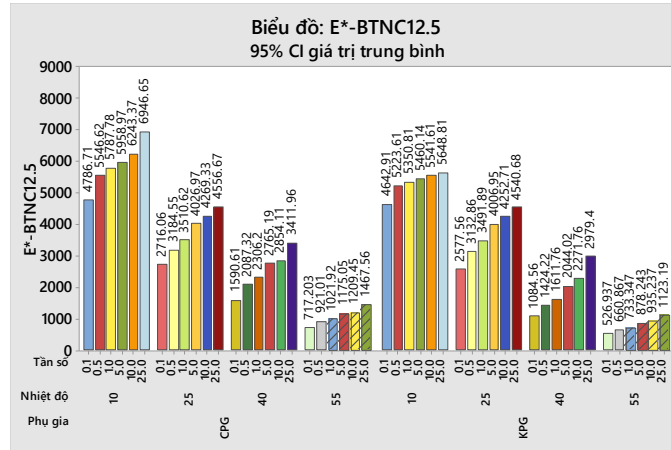


Hình 4. Kết quả thí nghiệm M<sub>r</sub> BTNC12.5.



Hình 5. Kết quả thí nghiệm |E\*| của BTNC19.





Hình 6. Kết quả thí nghiệm  $|E^*|$  của BTNC12.5.

### 3.3. Mô đun phức của BTN

Hình 5 và 6 tổng hợp  $|E^*|$  của BTNC19 và BTNC12.5 ở tất cả các điều kiện nghiên cứu và bảng 5 tập hợp các thông số đường cong chủ xác lập được. Kết quả phân tích mô hình ANOVA (sau khi đã loại các biến không có ý nghĩa thống kê) có  $p$ -value của các biến nhỏ hơn 0.05, hệ số Lack-of-Fit > 0.05 có  $R^2_{dc}=95.90\%$ . Mô hình phân tích ANOVA cho thấy loại BTN, phụ gia, nhiệt độ, tần số có ảnh hưởng tới MĐĐH phức của BTN.

Bảng 5. Các thông số của đường cong chủ.

TT	Loại BTN	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	a	b	c
1	BTNC19-KPG	4.526	1.616	1.086	0.362	-3.38E-04	-0.032	9.942
2	BTNC19-CPG	4.544	1.630	1.082	0.355	-2.35E-04	-0.038	9.943
3	BTNC12.5-KPG	4.678	1.340	1.266	0.458	-2.32E-04	-0.043	9.876
4	BTNC12.5-CPG	4.704	1.395	1.244	0.377	-3.15E-04	-0.024	9.854

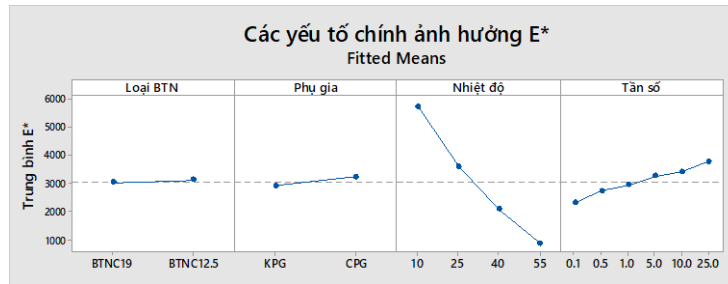
Hình 7 thể hiện các yếu tố ảnh hưởng đến  $|E^*|$ . Phân tích từ hình 7, nhóm nghiên cứu có một số kết luận như sau. (1) Loại BTN: BTNC12.5 có  $|E^*|$  cao hơn BTNC19, tuy nhiên sự sai khác không nhiều thể hiện bằng độ dốc đường thẳng. (2) Loại phụ gia: BTN sử dụng 8% phụ gia nylon có  $|E^*|$  cao hơn so với BTN đối chứng không phụ gia. BTN sử dụng phụ gia có  $|E^*|$  cao hơn trung bình khoảng 1.2 lần khi không sử dụng phụ gia ở tất cả các điều kiện nhiệt độ và tần số. Điều này chứng tỏ hiệu quả của phụ gia trong hỗn hợp BTN. (3) Điều kiện nhiệt độ ảnh hưởng rất lớn đến  $|E^*|$ , khi nhiệt độ tăng lên thì  $|E^*|$  giảm đi rất nhanh. (4) Tần số càng lớn thì thời gian tác dụng càng nhỏ dẫn đến  $|E^*|$  của BTN càng lớn. Trong các yếu tố chính thì nhiệt độ thí nghiệm có ảnh hưởng lớn nhất đến MĐĐH phức, điều này giải thích tính đàn nhớt của BTN. Ảnh hưởng tương tác của các yếu tố cơ bản là như nhau.

### 4. KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP TỤC

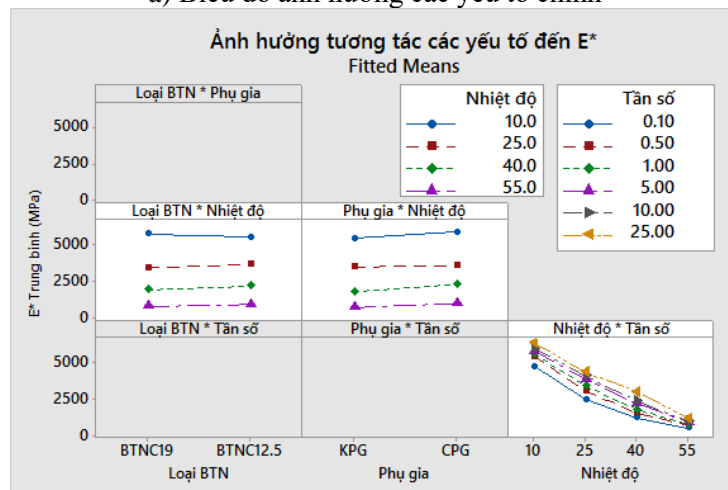
Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm được phân tích thống kê đảm bảo mức độ tin cậy 95%, nhóm đưa ra các kết luận, kiến nghị như sau:

Kết quả thí nghiệm đối với MĐĐH tĩnh ( $E_{dh}$ ) cho thấy BTNC19 có MĐĐH cao hơn BTNC12.5. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với tiêu chuẩn hiện hành 22TCN 211 – 06 (loại

BTN có nhiều đá dăm hơn sẽ có MĐĐH tĩnh cao hơn). Hơn nữa, kết quả thí nghiệm cũng chứng minh việc sử dụng phụ gia nylon làm tăng rõ rệt MĐĐH tĩnh của BTN.



a) Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố chính



b) Biểu đồ ảnh hưởng tương tác

Hình 7. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng  $|E^*|$ .

Trong bài báo này, khi thí nghiệm với MĐĐH động ( $M_r$ ) thì thấy rằng BTNC12.5, khi sử dụng 8% phụ gia, BTN có MĐĐH động cao gấp 1.422 lần so với BTN đối chứng. Ngoài ra, với kết quả thí nghiệm  $M_r$ , nhóm nghiên cứu kiến nghị hệ số khi thiết kế theo AASHTO93  $a_1=0.44$  với BTNC12.5 phụ gia và  $a_1=0.4$  đối với BTN đối chứng.

Đối với MĐĐH phức, kết quả cho thấy BTNC12.5 có  $|E^*|$  cao hơn BTNC19, tuy nhiên sự sai khác không nhiều. BTN sử dụng 8% phụ gia nylon có  $|E^*|$  cao hơn so với BTN đối chứng không phụ gia (trung bình khoảng 1.2 lần khi không sử dụng phụ gia ở tất cả các điều kiện nhiệt độ và tần số). Điều này chứng tỏ hiệu quả của phụ gia trong hỗn hợp BTN. Cùng với đó, điều kiện nhiệt độ ảnh hưởng rất lớn đến  $|E^*|$ . Khi nhiệt độ tăng lên thì  $|E^*|$  giảm đi rất nhanh. Tần số càng lớn thì thời gian tác dụng càng nhỏ dẫn đến  $|E^*|$  của BTN càng lớn. Trong các yếu tố chính thì nhiệt độ thí nghiệm có ảnh hưởng lớn nhất đến MĐĐH phức, điều này giải thích tính đàn nhớt của BTN.

Các kết quả này cho thấy, việc sử dụng phụ gia phế thải nylon có thể cải thiện các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp BTN, cụ thể là các loại MĐĐH của BTN. Tuy nhiên, để áp dụng được vào trong thực tiễn xây dựng mặt đường ở Việt Nam, trong tương lai nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục tập trung vào một số vấn đề sau: (1) Nghiên cứu tác dụng của phụ gia phế thải nylon đến khả năng chống hằn lún vệt bánh xe, chống nứt mỏi của BTN; (2) Nghiên cứu đối với nhiều loại/gốc đá khác nhau; (3) Triển khai nghiên cứu thực nghiệm hiện trường.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ tài nguyên và môi trường, Chung tay hành động chống rác thải nhựa vì một Việt Nam xanh (<http://www.monre.gov.vn/> truy cập 07/07/2020).
- [2]. A. M. Abu Abdo, Utilizing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in New Pavements - A Review, *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*, 12 (2016) 61-66.
- [3]. M. A. J Chavan, Use of Plastic Waste in Flexible Pavements, *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, 2 (2013) 540-552. <https://www.ijaiem.org/Volume2Issue4/IJAIEM-2013-04-29-095.pdf>
- [4]. A. Gawande et al., An Overview on Plastic Waste Utilization in Asphaltting of Roads, *Journal of Engineering Research and Studies*, 3 (2012) 1-5. <https://pdfs.semanticscholar.org/c4f6/cff14e558e1bbf0ae2b624c3abc414a0d9b5.pdf>
- [5]. Sangita, G. Reena, K. Verinder, A Novel Approach to Improve Road Quality by Utilizing Plastic Waste in Road Construction, *Journal of Environmental Research and Development*, 5 (2011) 1036-1042. <http://www.jerad.org/ppapers/dnload.php?vl=5&is=4&st=1036>
- [6]. V. Swami et al., Use of Plastic waste in Construction of Bituminous Road, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4 (2012) 2351-2355. [https://idc-online.com/technical\\_references/pdfs/civil\\_engineering/Use%20of%20waste%20plastic%20in%20con%20struction%20of.pdf](https://idc-online.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/Use%20of%20waste%20plastic%20in%20con%20struction%20of.pdf)
- [7]. S. Hinislioglu, E. Agar, Use of Waste High Density Polyethylene as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix, *Materials Letter*, 58 (2004) 267-271. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(03\)00458-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(03)00458-0)
- [8]. B. H. Al-Humeidawi, Utilization of Plastic waste and Recycle Concrete Aggregate in Production of Hot Mix Asphalt, *Al-Qadisiya Journal for Engineering Sciences*, 7 (2014) 322-330. <https://doi.org/10.30772/qjes.v7i4.365>
- [9]. Nguyễn Quang Phúc, Nguyễn Hồng Quân, Lê Tuấn Anh, Nghiên cứu sử dụng phế thải nhựa làm phụ gia theo phương pháp trộn khô tăng cường độ ổn định Marshall của bê tông asphalt, *Tạp chí giao thông vận tải*, số 1+2 (2018).
- [10]. Nguyễn Hồng Quân và các cộng sự, Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia phế thải LDPE đến một số chỉ tiêu cơ học của bê tông nhựa nóng trong phòng thí nghiệm, *Tạp chí giao thông vận tải*, số 12 (2018).
- [11]. Bộ giao thông vận tải, 22TCN 211-06 Áo đường mềm - Các yêu cầu thiết kế, (2006).
- [12]. Bộ giao thông vận tải, 22TCN 274-01 Tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm, (2006).
- [13]. ASTM D4123, Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures.
- [14]. BS EN 12697-26, Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Stiffness, (2004).
- [15]. AASHTO TP 62, Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA), (2007).