

# Đánh giá khả năng kháng nứt của bê tông nhựa trong điều kiện hóa già dài hạn

## Evaluation of cracking resistance of asphalt concrete under long-term aging condition

Lê Văn Phúc\*, Phan Xuân Hưng

Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

\*Tác giả liên hệ: phuclv\_ph@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 4/8/2023; Ngày chấp nhận đăng: 7/9/2023

### Tóm tắt:

Nứt là một trong những phá hoại chính của mặt đường bê tông nhựa (BTN) trong quá trình khai thác dưới tác dụng tải trọng và thời tiết. Một trong số các nguyên nhân gây nứt BTN là quá trình lão hóa của nhựa đường trong sản xuất, vận chuyển, thi công và khai thác. Do vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện hóa già trong BTN đến khả năng kháng nứt là hết sức cần thiết. Bài báo bước đầu đánh giá khả năng kháng nứt của BTN có cỡ hạt lớn nhất danh định 12.5 mm (BTNC 12.5) khi xét đến điều kiện hóa già dài hạn. Trên cơ sở các thí nghiệm trong phòng, nghiên cứu đã đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật yêu cầu của nhựa đường 60/70, nhựa PMBIII và BTNC 12.5 trong điều kiện hóa già dài hạn. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình hóa già có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng kháng nứt của BTNC 12.5 khi sử dụng nhựa 60/70 và nhựa PMBIII.

**Từ khóa:** BTNC 12.5; Khả năng kháng nứt; Hóa già dài hạn; Nhựa 60/70; Nhựa PMBIII.

### Abstract:

Cracking is one of the primary distresses in asphalt pavements under traffic loading and climate. Asphalt cracking can be caused by aging asphalt binders in production, transportation, construction, and exploitation. Therefore, it is very necessary to study the influence of aging on cracking resistance for asphalt concrete. This paper initially evaluated the cracking resistance of asphalt concrete with a nominal maximum aggregate size of 12.5mm (AC 12.5) under long-term aging conditions. Based on the laboratory experiments, the study evaluated the required technical parameters of 60/70 binder, PMBIII binder, and AC 12.5 considering long-term aging conditions. Test results indicated that the aging of asphalt binder can significantly affect the cracking resistance of asphalt concrete.

**Keywords:** AC 12.5; Cracking resistance; Long-term aging; 60/70 binder; PMBIII binder.

### 1. Giới thiệu

Tính chất của nhựa đường ảnh hưởng đến các tính chất của hỗn hợp BTN trong quá trình sản xuất, vận chuyển, thi công và khai thác. Một số dạng hư hỏng ở lớp mặt đường BTN xảy ra do quá trình hóa già nhựa đường theo thời gian. Quá trình hoá già xuất hiện khi hàm lượng nhóm chất dầu nhẹ giảm đi trong quá trình sản xuất, vận chuyển và thi công hỗn hợp BTN cũng như trong quá trình khai thác. Hư hỏng phá hoại nứt của

mặt đường BTN tồn tại bởi dính bám kém giữa nhựa đường với cốt liệu. Trong nhiều trường hợp, sự suy giảm dính bám này lại do nhựa đường bị lão hóa, quá trình hoá già dẫn đến vật liệu BTN có tính chất cứng và trở nên giòn hơn, điều này dẫn đến giảm khả năng kháng nứt của BTN dưới tác dụng của tải trọng.

Sự hoá già của BTN là nguyên nhân chính gây ra sự suy giảm cường độ và tuổi thọ kết cấu mặt đường BTN. Sự hoá già của nhựa đường

nhận được nhiều quan tâm trong những năm gần đây nhằm nâng cao tuổi thọ của kết cấu mặt đường BTN [1]-[6].

Yin và cộng sự [1] đã chỉ ra rằng thực hiện hóa già ở 85°C trong 5 ngày ở phòng thí nghiệm, tương đương với 12 đến 24 tháng hóa già ở hiện trường.

Michael và cộng sự [2] đề xuất nhiệt độ hóa già dài hạn trong phòng thí nghiệm tốt nhất là 95°C. Khi thực hiện lão hóa ở nhiệt độ trên 100°C có thể làm thay đổi cơ chế oxy hóa của nhựa đường.

Weiguang và cộng sự [3] cho thấy ảnh hưởng của điều kiện khí hậu đối với sự lão hóa của nhựa đường là rõ ràng trong khu vực khô hạn hoặc khu vực đóng băng, trong khi sự khác biệt về lão hóa giữa khu vực khô ráo và đóng băng là không rõ ràng, cần có thêm nhiều nghiên cứu. Đồng thời nghiên cứu [3] cũng chứng minh sự lão hóa của nhựa đường tại hiện trường ảnh hưởng nhiều đến vết nứt dọc hơn là vết nứt ngang. BTN sử dụng nhựa đường PG64 và PG70 nhanh lão hóa hơn nhựa đường PG58 và PG76.

Shashwath và Erdem [4] đã đánh giá ảnh hưởng của hóa già dài hạn đến khả năng kháng mỏi của BTN. Kết quả nghiên cứu cho thấy hóa già của nhựa đường có ảnh hưởng lớn đến khả năng kháng mỏi của BTN. Đồng thời nghiên cứu cũng chỉ ra hóa già dài hạn trong 24 giờ ở 95°C và 72 giờ ở 95°C cho kết quả khả năng kháng nứt mỏi tương đương nhau.

Sung và cộng sự [5] đã nhận thấy quá trình hóa già và phá hoại ảnh hưởng lớn đến tuổi thọ về mỏi của BTN. Nghiên cứu đã cũng đề cập trong giai đoạn 4-5 năm đầu tiên, nhân tố ảnh hưởng làm giảm tuổi thọ về mỏi của BTN là lão hóa chiếm đến khoảng 20% và phá hoại ảnh hưởng chiếm khoảng 55%; trong giai đoạn thứ hai (7-8 năm tiếp theo) ảnh hưởng của lão hóa chiếm khoảng 25% và ảnh hưởng của phá hoại ảnh hưởng chiếm khoảng 50%; trong giai đoạn thứ ba (hơn

10 năm sau) ảnh hưởng của lão hóa và phá hoại mỏi cùng chiếm khoảng 40%.

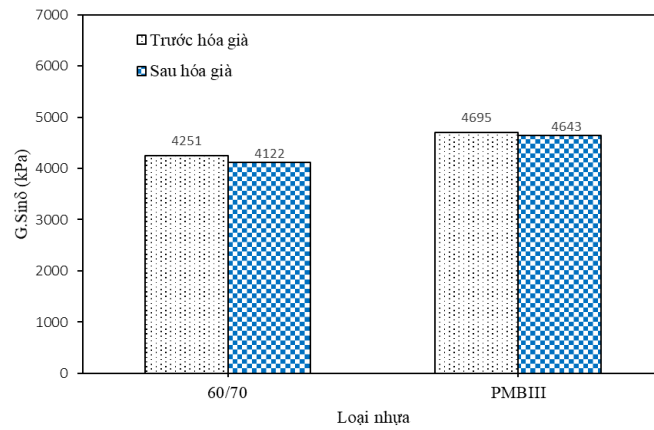
Trong báo cáo [6] thực hiện đánh giá trên 18 loại BTN để nghiên cứu các điều kiện hóa già khác nhau. Kết quả chứng minh rằng nhiệt độ hóa già của BTN tốt nhất là ở 95°C trong phòng thí nghiệm. Đồng thời nghiên cứu cũng tiến hành khoan mẫu hiện trường và thực hiện các điều kiện hóa già ở 4, 8 và 16 ngày tuổi ở 95°C trong phòng thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi động ở 8 và 16 ngày tuổi tương đương nhau. Từ các nghiên cứu trên cho thấy quá trình hóa già ảnh hưởng rõ đến tính chất cơ lý của BTN. Tuy nhiên các nghiên cứu về sự lão hóa đến tính chất cơ lý của BTN hiện nay vẫn chưa được thực hiện nhiều ở Việt Nam.

Thông qua các thí nghiệm trong phòng như cắt động lưu biến (DSR) của nhựa, cường độ nén ép chẻ, kéo gián tiếp Indirect Tensile Asphalt Cracking test, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu để tiến hành phân tích và đánh giá ảnh hưởng của hóa già đến khả năng kháng nứt của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 và nhựa PMBIII.

## **2. Thí nghiệm cắt động lưu biến (DSR) của nhựa sử dụng nhựa 60/70 và PMBIII theo điều kiện hóa già dài hạn**

Đối với điều kiện hóa già dài hạn, nghiên cứu này thực hiện theo báo cáo nghiên cứu [6] như sau: Mẫu nhựa được hóa già ở 135°C trong 4 giờ, sau đó, tiếp tục hóa già ở 95°C trong 8 ngày để thực hiện thí nghiệm cắt động lưu biến (DSR) theo tiêu chuẩn AASHTO T 315-12 [7]. Kết quả thí nghiệm giá trị  $G_{sin \delta}$  ở 25°C của nhựa 60/70 và nhựa PMBIII tại trước và sau khi hóa già dài hạn được thể hiện tại hình 1.

Từ hình 1, giá trị  $G_{sin \delta}$  ở 25°C của nhựa 60/70 tại điều kiện hóa già dài hạn giảm 3% so với trước khi hóa già. Tuy nhiên, giá trị  $G_{sin \delta}$  ở 25°C của nhựa PMBIII hầu như không thay đổi trước và sau khi hóa già.

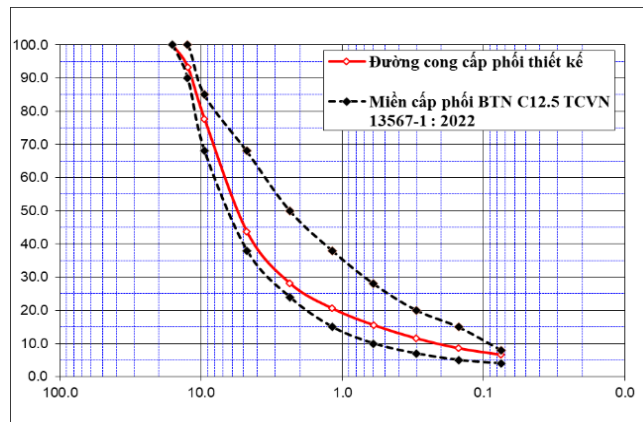


**Hình 1.** Giá trị G.sin δ ở 25°C của nhựa 60/70 và nhựa PMBIII trước và sau khi hóa già dài hạn.

### 3. Thiết kế thành phần BTNC 12.5

Thiết kế thành phần cấp phối BTNC 12.5 được thực hiện theo hướng dẫn của TCVN 13567:2022 [8]. Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu thô, bột khoáng đáp ứng được các yêu cầu của [8] và các chỉ tiêu cơ lý của nhựa 60/70 đáp ứng được các yêu cầu phụ lục A [8], được phép sử dụng chế tạo hỗn hợp BTN. Đường cong cấp phối của hỗn hợp BTNC 12.5 trong nghiên cứu này được trình bày tại hình 2. Để xác định hàm

lượng nhựa tối ưu cho hỗn hợp BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70, tiến hành thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý với các hàm lượng nhựa khác nhau là 3.5%; 4.0%; 4.5%; 5.0%; 5.5% theo hỗn hợp. Căn cứ yêu cầu kỹ thuật đối với BTNC 12.5 theo TCVN 13567:2022 [8], nghiên cứu đề xuất lựa chọn hàm lượng nhựa tối ưu là 4.73% (% tính theo khối lượng hỗn hợp). Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 giới thiệu trong bảng 1.



**Hình 2.** Đường cong cấp phối sau phối trộn của hỗn hợp BTN C12.5.

**Bảng 1.** Tổng hợp các kết quả thí nghiệm cấp phối BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70.

STT	Các chỉ tiêu cơ lý	Kết quả thí nghiệm	Yêu cầu
1	Tỷ trọng khối của mẫu đầm	2.404	-
2	Khối lượng thể tích của mẫu đầm (g/cm <sup>3</sup> )	2.397	-
3	Độ rỗng dư (%)	5.08	3÷6
4	Độ rỗng cốt liệu (%)	15.31	≥15
5	Độ rỗng lấp đầy nhựa (%)	66.80	65÷75
6	Tỷ lệ $P_{0.075}/P_{ae}$	1.49	0.8÷1.6
7	Độ ổn định Marshall (kN)	11.60	≥8,0

STT	Các chỉ tiêu cơ lý	Kết quả thí nghiệm	Yêu cầu
8	Độ dẻo Marshall (mm)	3.56	1.5÷4
9	Độ ổn định Marshall còn lại (%)	88.13	≥80

Tương tự căn cứ yêu cầu kỹ thuật đối với BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII theo tiêu chuẩn [8], nghiên cứu đề xuất lựa chọn hàm lượng nhựa tối ưu là 5.1% (% tính theo khối lượng hỗn hợp). Kết quả thí nghiệm các các chỉ tiêu cơ lý của BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII thể hiện trong bảng 2.

**Bảng 2.** Tổng hợp các kết quả thí nghiệm cấp phối BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII.

STT	Các chỉ tiêu cơ lý	Kết quả thí nghiệm	Yêu cầu
1	Tỷ trọng khối của mẫu đầm	2.418	-
2	Khối lượng thể tích của mẫu đầm (g/cm <sup>3</sup> )	2.529	-
3	Độ rỗng dư (%)	4.37	3÷6
4	Độ rỗng cốt liệu (%)	14.5	≥14
5	Độ rỗng lấp đầy nhựa (%)	69.86	65÷75
6	Tỷ lệ $P_{0.075}/P_{ae}$	1.38	0.8÷1.6
7	Độ ổn định Marshall (kN)	17.6	≥10
8	Độ dẻo Marshall (mm)	5.45	3÷6
9	Độ ổn định Marshall còn lại (%)	96.3	≥85

#### 4. Thí nghiệm xác định cường độ nén ép chế của BTNC 12.5 trước và sau khi hóa già

Thực hiện thí nghiệm xác định cường độ nén ép chế của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 và PMBIII xét điều kiện trước và sau khi hóa già dài hạn trên máy nén Marshall ở nhiệt độ 25°C. Tiến hành tính toán cường độ kéo gián tiếp theo công thức (1):

$$S_t = \frac{2000P}{\pi tD} \quad (1)$$

Trong đó:

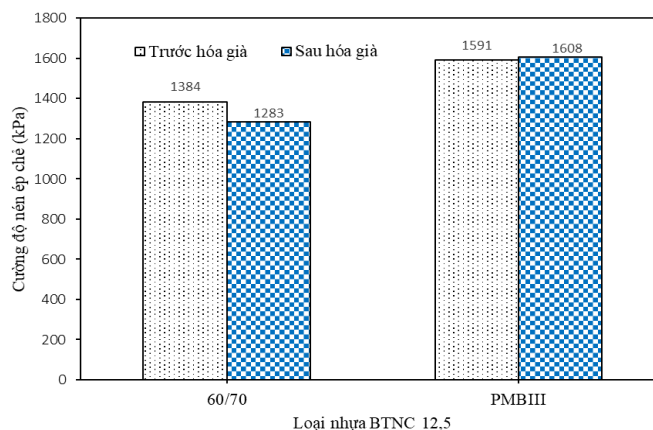
$S_t$ : Cường độ kéo gián tiếp (kPa);

$P$ : Lực nén phá hoại mẫu (N);

$t$ : Chiều cao của mẫu trước khi thí nghiệm (mm);

$D$ : Đường kính của mẫu (mm).

Phân tích giá trị cường độ nén ép chế của BTNC 12.5 trước và sau khi hóa già theo công thức (1) kết quả được thể hiện hình 3.



**Hình 3.** Giá trị cường độ nén ép chế của BTNC 12.5 trước và sau khi hóa già.

Giá trị cường độ nén ép chế của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 7.5% so với trước khi hóa già (hình 3). Tuy nhiên, giá trị cường độ nén ép chế của BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII trước và sau khi hóa già hầu như không thay đổi. Điều này có thể giải thích rằng kết quả cường độ trên thí nghiệm nén ép chế có thể xem là giai đoạn bắt đầu hình thành vết nứt, chưa xét đến giai đoạn phát triển vết nứt. Chính vì vậy, cần thực hiện các thí nghiệm khác để đánh giá khả năng phát triển vết nứt của BTN sử dụng nhựa PMBIII khi xét điều kiện hóa già dài hạn.

### 5. Thí nghiệm kéo gián tiếp Indirect Tensile Asphalt Cracking test (IDEAL) để xác định chỉ số $CT_{index}$ của BTNC 12.5 trước và sau khi hóa già

Tiến hành thí nghiệm kéo gián tiếp theo ASTM D8225-19 [9] để xác định khả năng kháng nứt của hỗn hợp BTN ở nhiệt độ trung gian có thể nằm trong khoảng từ 5°C đến 35°C, tùy thuộc vào điều kiện khí hậu ở các nước. Ở Việt Nam, hầu như các thí nghiệm theo các tiêu chuẩn liên quan cường độ BTN được thực hiện ở 25°C. Do vậy, trong nghiên cứu này thực hiện thí nghiệm để đánh giá khả năng kháng nứt của BTN ở 25°C. Các mẫu thử được tạo trên máy đầm

Superpave có đường kính 150 mm, dày 62 mm. Các mẫu thử được ổn định nhiệt tối thiểu 2 giờ ở 25°C trước khi thực hiện thí nghiệm nén ép chế trên máy nén Marshall với tốc độ gia tải là 50 mm/phút cùng với phần mềm chuyên dụng để thu được dữ liệu lực và chuyển vị. Chỉ số kháng nứt  $CT_{Index}$  được tính toán từ đường cong quan hệ giữa lực-chuyển vị theo các công thức (2).

$$CT_{index} = \frac{t}{62} \times \frac{G_f}{|m_{75}|} \times \left( \frac{l_{75}}{D} \right) \quad (2)$$

Trong đó:

$G_f$ : Năng lượng phá hủy (J/mm<sup>2</sup>), được xác định theo công thức (3):

$$G_f = \frac{W_f}{D \times t} \times 10^6 \quad (3)$$

$W_f$ : Công phá hủy (J);

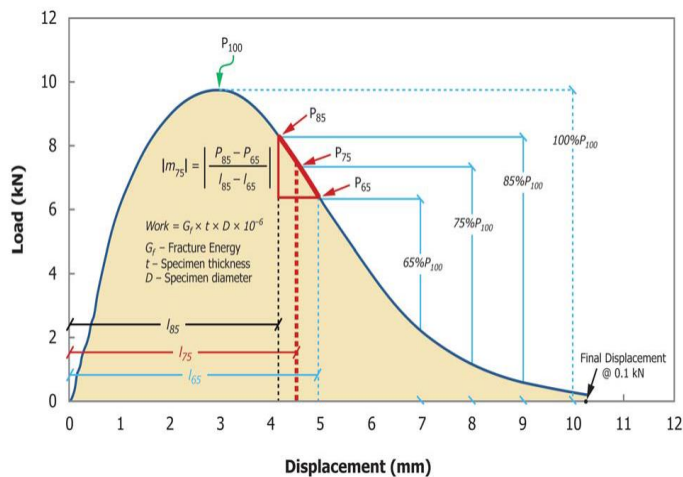
$D$ : Đường kính mẫu thí nghiệm (mm);

$t$ : Chiều dày mẫu thí nghiệm (mm);

$l_{75}$ : Chuyển vị ứng với lực nén bằng 75% lực nén lớn nhất (mm),  $|m_{75}|$  là giá trị tuyệt đối của độ dốc đường cong lực-chuyển vị nằm sau giá trị lực nén lớn nhất (kN/mm) được xác định theo công thức (4):

$$|m_{75}| = \left| \frac{P_{85} - P_{65}}{l_{85} - l_{65}} \right| \quad (4)$$

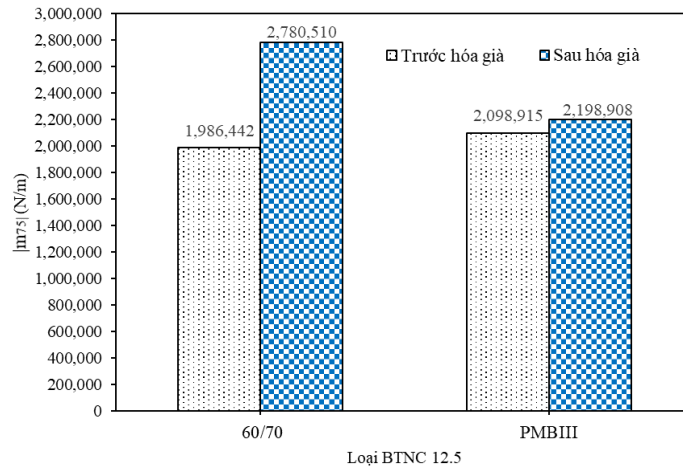
Giá trị  $P_{85}$  và  $P_{65}$  được xác định như ở hình 4.



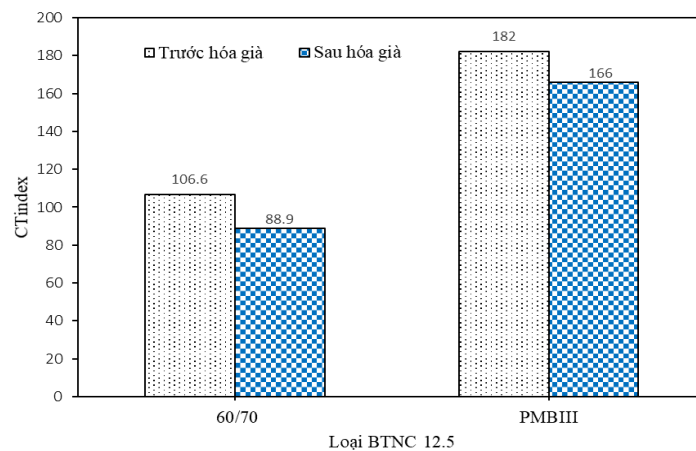
**Hình 4.** Đường cong tải trọng được ghi lại (P) so với độ dịch chuyển của đường tải trọng (l) [9].

Từ kết quả thí nghiệm tiến hành tính toán các giá trị tuyệt đối của độ dốc đường cong lực-chuyển vị nằm sau giá trị lực nén lớn nhất  $|m_{75}|$ , và chỉ số

kháng nứt  $CT_{Index}$  theo các công thức (2) và (4). Kết quả tính toán được thể hiện như hình 5 và hình 6.



**Hình 5.** Giá trị  $|m_{75}|$  của BTNC 12.5 trước và sau khi hóa già.



**Hình 6.** Giá trị  $CT_{index}$  của BTNC 12.5 trước và sau khi hóa già.

Giá trị tuyệt đối của độ dốc sau giá trị lực nén lớn nhất ( $|m_{75}|$ ) thể hiện tốc độ lan truyền vết nứt,  $|m_{75}|$  càng cao có thể sẽ dẫn đến tốc độ lan truyền vết nứt sẽ càng nhanh. Từ hình 5 cho thấy tốc độ lan truyền vết nứt của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 khi thực hiện hóa già dài hạn tăng khoảng 40% so với trước khi hóa già. Trong khi BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII sau khi hóa già tốc độ lan truyền vết nứt tăng 5% so với trước khi hóa già. Chỉ số kháng nứt  $CT_{index}$  được tính toán dựa vào cả  $G_f$  và  $|m_{75}|$  nên đây là thông số thể hiện rõ nhất đặc tính kháng nứt của hỗn hợp BTN. Từ công thức (2) cho thấy nếu loại BTN mặc dù có năng lượng phá hoại nứt  $G_f$  cao nhưng giá trị  $|m_{75}|$  càng lớn cũng có thể dẫn đến chỉ số  $CT_{index}$  thấp và ngược lại.

Từ hình 6 cho thấy giá trị  $CT_{index}$  của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 17% so với trước khi hóa già. Trong

khi đó giá trị  $CT_{index}$  của BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 8% so với trước khi hóa già. Do vậy chúng tôi điều kiện hóa già có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng kháng nứt của BTNC 12.5 khi sử dụng nhựa 60/70 và nhựa PMBIII. Khi so sánh khả năng kháng nứt của 2 loại BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 và PMBIII sau khi hóa già cho thấy BTN sử dụng nhựa PMBIII vẫn tốt hơn so với nhựa 60/70. Đồng thời khi đánh giá khả năng kháng nứt của BTN nên đánh giá theo chỉ số  $CT_{index}$  phản ánh tốt hơn đánh giá theo giá trị cường độ nén ép chế trên mẫu Marshall.

## 6. Kết luận

Trong nghiên cứu này trên cơ sở kết quả thực nghiệm trong phòng cho thấy điều kiện hóa già dài hạn của nhựa đường có ảnh hưởng đến đặc tính kháng nứt của BTN, làm giảm khả năng

kháng nứt của BTN. Đồng thời từ kết quả thí nghiệm trong phòng của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 và nhựa PMBIII khi xét đến điều kiện hóa già dài hạn cho thấy:

- Giá trị  $G_{sin \delta}$  ở 25°C của nhựa 60/70 ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 3% so với trước khi hóa già trong khi giá trị  $G_{sin \delta}$  ở 25°C của nhựa PMBIII hầu như không thay đổi trước và sau khi hóa già;

- Giá trị cường độ nén ép chẻ của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 7.5% so với trước khi hóa già trong khi giá trị cường độ nén ép chẻ của BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII trước và sau khi hóa già hầu như không thay đổi;

- Tốc độ lan truyền vết nứt của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 khi thực hiện hóa già dài hạn tăng khoảng 40% so với trước khi hóa già trong khi BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII sau khi hóa già tốc độ lan truyền vết nứt tăng 5% so với trước khi hóa già;

- Chỉ số kháng nứt, CTindex, của BTNC 12.5 sử dụng nhựa 60/70 ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 17% so với trước khi hóa già. Trong khi đó chỉ số kháng nứt của BTNC 12.5 sử dụng nhựa PMBIII ở điều kiện hóa già dài hạn giảm 8% so với trước khi hóa già. Điều này chứng tỏ quá trình hóa già của nhựa đường có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng kháng nứt của BTNC 12.5 khi sử dụng nhựa 60/70 và nhựa PMBIII;

- Khi đánh giá khả năng kháng nứt của BTN nên đánh giá theo chỉ số CTindex phản ánh tốt hơn đánh giá theo giá trị cường độ nén ép chẻ trên mẫu Marshall.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải thông qua đề tài mã số T2023-PHII\_CT-001.

### Tài liệu tham khảo

[1] F. Yan, E. Arámbula-Mercado, A. E. Martin, D. Newcomb, and N. Tran, “Long-term aging of asphalt mixtures,” *Ro. Mat. and Pav. Des.*,

vol. 18, no.1, pp. 2-27, Jan. 2017, doi: 10.1080/14680629.2016.1266739.

[2] M. D. Elwardany, F. Y. Rad, C. Castorena, and Y. R. Kim, “Evaluation of asphalt mixture laboratory long-term aging methods for performance testing and prediction,” *Ro. Mat. and Pav. Des.*, vol. 18, no. 1, pp. 28-61, Jan. 2017, doi: 10.1080/14680629.2016.1266740.

[3] W. Zhang, S. Shen, S. Wu, and L. N. Mohammad, “Long-term field aging of warm-mix and hot-mix asphalt binders,” *Trans. Res. Rec.*, vol. 2632, no. 1, pp. 140-149, Jan. 2017, doi: 10.3141/2632-15.

[4] S. Sreedhar and E. Coleri, “The effect of long-term aging on fatigue cracking resistance of asphalt mixtures,” *Int. J. of Pav. Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 308-320, Jan. 2022, doi: 10.1080/10298436.2020.1745206.

[5] S. L. Yang, C. Baek, and H. B. Park, “Effect of Aging and Moisture Damage on Fatigue Cracking Properties in Asphalt Mixtures,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 22, Nov. 2021, Art. no. 10543, doi: 10.3390/app112210543.

[6] Y. R. Kim *et al.*, “Long-term aging of asphalt mixtures for performance testing and prediction,” *Trans. Res. Bo., Natl. Acad. Sci. Eng. Med., WA, USA, NCHRP Research Report 871*, Nov. 2018.

[7] *Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*, AASHTO T 315, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), WA, USA, Jan. 2022.

[8] *Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng – thi công và nghiệm thu*, TCVN 13567-1:2022, Bộ Khoa học và Công nghệ, HN, Việt Nam, 6. 2022.

[9] *Standard Test Method for Determination of Cracking Tolerance Index of Asphalt Mixture Using the Indirect Tensile Cracking Test at Intermediate Temperature*, ASTM D8225-19, American Society for Testing and Materials, PA, USA, Apr. 2019.