



Đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng nhựa thiết kế đến khả năng kháng nứt của bê tông nhựa nóng

Evaluating the influence of design asphalt content to cracking resistance of hot mix asphalt

Trần Huy Thiệp¹, Trần Xuân Ba^{1,*}, Nguyễn Thanh Bình²

¹Khoa Công trình, Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

²Phòng Kinh tế và Quản lý đầu tư xây dựng, Sở Xây dựng Tiền Giang

Từ khóa:

BTNC16
Khả năng kháng nứt
Hàm lượng nhựa
Chỉ số kháng nứt
Cường độ nén ép chế

TÓM TẮT

Khả năng kháng nứt là một trong những đặc tính quan trọng của bê tông nhựa (BTN) làm mặt đường. Để khắc phục hoặc hạn chế phá hoại nứt và tăng tuổi thọ mặt đường BTN, cần sử dụng hàm lượng nhựa thiết kế đủ bao bọc và tăng tính dính bám với cốt liệu trong dài hạn. Bài báo bước đầu đánh giá khả năng kháng nứt của BTN có cỡ hạt lớn nhất danh định 16 mm (BTNC16) với các hàm lượng nhựa thiết kế khác nhau. Các thí nghiệm xác định cường độ nén ép chế - Indirect Tensile Strength Test (ITS) và thí nghiệm kéo gián tiếp - Indirect Tensile Asphalt Cracking test (IDEAL-CT) để phân tích khả năng kháng nứt của hỗn hợp với năm mức hàm lượng nhựa khác nhau gồm 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng hàm lượng nhựa thiết kế có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng kháng nứt của BTNC16, cụ thể khi tăng hàm lượng nhựa từ 4.0% lên 5.0%, giá trị ITS và giá trị CT_{index} lần lượt tăng 2.1 lần và 2.5 lần.

Keywords:

Dense-graded hot mix asphalt 16 (BTNC16)
Cracking resistance
Asphalt content
Cracking index
Indirect tensile strength

ABSTRACT

Cracking resistance is one of the critical properties of hot mix asphalt (HMA) pavements. To mitigate cracking failures and enhance the durability of HMA pavements, it is essential to design an asphalt content that adequately coats the aggregates and ensures long-term adhesion. This study presents an initial assessment of the cracking resistance of dense-graded hot mix asphalt with a nominal maximum aggregate size of 16 mm (BTNC16). The Indirect Tensile Strength Test (ITS) and the Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) were conducted to evaluate the cracking resistance of asphalt mixtures at five different asphalt, content levels: 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, and 5.5%. Test results indicate that the design asphalt content significantly influences the cracking resistance of BTNC16; specifically, increasing the asphalt content from 4.0% to 5.0% resulted in a 2.1-fold increase in ITS values and a 2.5-fold increase in CT_{index} values.

* Trần Xuân Ba. Khoa Công trình, Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải.

Email: batx_ph@utc.edu.vn

[https://www.doi.org/10.55228/JTST.14\(2\).67-66](https://www.doi.org/10.55228/JTST.14(2).67-66)

Ngày nhận bài: 04/02/2025; Ngày nhận bài sửa: 03/3/2025; Ngày chấp nhận đăng: 10/3/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/3/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Kết cấu mặt đường BTN hiện đang được sử dụng phổ biến trong hệ thống hạ tầng giao thông tại Việt Nam. Tuy nhiên, với tình trạng biến đổi khí hậu Trái Đất ngày càng trở nên nghiêm trọng, cùng với quá trình phát triển kinh tế, lưu lượng và tải trọng xe gia tăng, đặc biệt là nhiều xe quá tải đã dẫn đến các tuyến đường sau khi đưa vào khai thác trong thời gian ngắn bắt đầu xuất hiện các hư hỏng. Trong thực tế, lún vệt bánh xe (LVBX) và nứt là hai dạng hư hỏng thường gặp trên mặt đường BTN tại Việt Nam. Hai dạng phá hoại này đối lập với nhau, do đó, nếu khắc phục cho một dạng, sẽ dễ dẫn đến phát sinh dạng còn lại. Để lớp BTN không bị LVBX, thường sử dụng cấp phối thô hơn, lượng nhựa ít hơn nhưng sẽ dẫn đến khả năng chịu kéo, chống nứt kém. Bên cạnh đó, phương pháp thiết kế BTN theo tiêu chuẩn Marshall, vốn được sử dụng để xác định hàm lượng nhựa tối ưu là một phương pháp truyền thống, có thể không còn phù hợp hoàn toàn với điều kiện khai thác hiện nay. Phương pháp này có thể dẫn tới tình trạng hàm lượng nhựa chưa đủ, làm suy giảm độ bền của hỗn hợp BTN và gia tăng nguy cơ xuất hiện những hư hỏng nêu trên. Trong những năm gần đây, các nghiên cứu trên thế giới đã tập trung vào phương pháp thiết kế BTN theo hướng cân bằng giữa khả năng kháng nứt và kiểm soát LVBX nhằm cải thiện tuổi thọ mặt đường [1], [2], [3]. Theo phương pháp này, hàm lượng nhựa tối ưu được nâng lên mức cao hơn để tăng khả năng kháng nứt, đồng thời, vẫn đảm bảo trong giới hạn cho phép về LVBX.

Để hạn chế hư hỏng về nứt và kéo dài tuổi thọ mặt đường, việc lựa chọn hàm lượng nhựa hợp lý là yếu tố quan trọng. Hàm lượng nhựa cần đủ để bao phủ cốt liệu, tăng cường độ dính bám trong hỗn hợp BTN, từ đó, đảm bảo sự ổn định và khả năng chịu tải lâu dài. Nghiên cứu [4] chỉ ra loại nhựa đường, đặc

tính cốt liệu và hàm lượng nhựa sử dụng ảnh hưởng tới khả năng kháng nứt của BTN. Nghiên cứu [5], [6] đã cho thấy thí nghiệm IDEAL-CT_{index} vừa đơn giản, vừa phản ánh đúng khả năng kháng nứt của kết cấu BTN (sử dụng các loại cốt liệu, loại nhựa và hàm lượng nhựa khác nhau). Kết quả thí nghiệm tính toán được chỉ số CT_{index}, chỉ số này càng lớn thì kết cấu BTN có khả năng kháng nứt càng cao. Nghiên cứu [7] đã cho thấy, sử dụng thí nghiệm uốn mẫu bán nguyệt theo AASHTO để đánh giá khả năng kháng nứt của các mẫu được khoan BTNC12,5; BTNC19 và các mẫu BTN ẩm chế tạo trong phòng. Nghiên cứu [8] đã thực hiện đánh giá khả năng kháng nứt của BTNC12,5 trong điều kiện hóa già dài hạn thông qua chỉ số CT_{index} và giá trị cường độ ép chẻ trên mẫu Marshall. Đồng thời, nghiên cứu [1] cho thấy hàm lượng nhựa tối ưu thiết kế theo phương pháp Marshall là 4.7%, trong khi thiết kế theo phương pháp cân bằng, hàm lượng nhựa thiết kế là 5.3% cho mặt đường dài hạn. Ngoài ra, trong nghiên cứu đề xuất hàm lượng nhựa thiết kế trong khoảng 4.8% đến 5.7%. Tuy nhiên, hiện tại chưa có nghiên cứu về đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng nhựa thiết kế đến khả năng kháng nứt của BTNC16. Vì vậy, trên cơ sở thí nghiệm trong phòng được thực hiện bao gồm thí nghiệm xác định cường độ nén ép chẻ ITS và thí nghiệm kéo gián tiếp IDEAL-CT với năm hàm lượng nhựa khác nhau 3.5%; 4.0%; 4.5%; 5.0% và 5.5%, nghiên cứu này tiến hành thực nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng nhựa thiết kế đến khả năng kháng nứt của BTNC16 sử dụng nhựa 60/70.

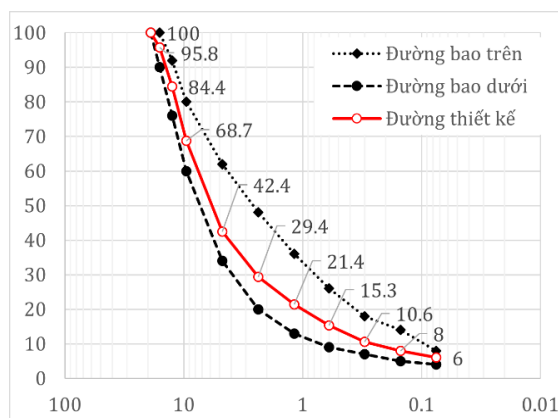
2. Thiết kế thành phần BTNC16

Thiết kế thành phần cấp phối BTNC16 được thực hiện theo Tiêu chuẩn TCVN 13567-1:2022 [9]. Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu thô, bột khoáng đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn này và các chỉ tiêu cơ lý của nhựa

60/70 đáp ứng được các yêu cầu phụ lục A của tiêu chuẩn, đảm bảo được phép sử dụng để chế tạo hỗn hợp BTN chặt. Các chỉ tiêu cơ lý của từng loại vật liệu được trình bày tại **Bảng 1** đến **Bảng 4**, đường cong cấp phối của hỗn hợp BTNC16 trong nghiên cứu này được trình bày tại **Hình 1**. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của BTNC16 sử dụng nhựa 60/70 thể hiện trong **Bảng 5**.

Từ **Bảng 5**, các kết quả thí nghiệm với năm mức hàm lượng nhựa, cùng yêu cầu kỹ thuật đối với BTNC16 sử dụng nhựa 60/70 theo TCVN 13567 - 1:2022, phạm vi hàm lượng nhựa thiết kế theo hỗn hợp đạt yêu cầu là 4.3 - 4.8%. Nghiên cứu đề xuất lựa chọn hàm

lượng nhựa tối ưu là 4.6% (% tính theo khối lượng hỗn hợp). Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của BTNC16 ở hàm lượng nhựa tối ưu được thể hiện trong **Bảng 6**.



Hình 1. Đường cong cấp phối sau phối trộn của hỗn hợp BTNC16.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu.

Vật liệu	Tỷ trọng		Hàm lượng chung bụi, bùn, sét (%)	Hàm lượng hạt thổi dẹt (%)	Hàm lượng hạt mềm yếu, phong hóa (%)	Độ mài mòn LA (%)	Độ hút nước. (hay độ ẩm bột khoáng) (%)
	Khối	Biểu kiến					
Đá 10x19	2.841	2.857	0.90	11.62	0.14	11.73	0.19
Đá 10x16	2.805	2.826	1.02	10.77	0.35	12.36	0.26
Đá 5x10	2.799	2.820	0.69	10.30	0.93	13.57	0.27
Cát nghiền	2.794	2.843	1.98	-	-	-	0.62
Bột khoáng	2.704	2.704					0.23
Nhựa 60/70	1.038						

Bảng 2. Một số chỉ tiêu cơ lý cho cát nghiền (đá 0 x 5mm).

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	Theo TCVN 13567-1:2022
Mô đun độ lớn		TCVN 13567-1:2022	3.68	≥ 2.00
Tỷ trọng khô	g	AASHTO T84	2.682	≥ 2.500
Độ hút nước	%	AASHTO T84	0.67	≤ 2.00
Hệ số đương lượng cát (SE)	%	AASHTO T176	62.30	≥ 60.00
Hàm lượng hạt < 0.075 mm	%	AASHTO T11	2.94	≤ 3.00
Độ góc cạnh	%	TCVN 11807-2017	46.00	≥ 45.00

Bảng 3. Một số chỉ tiêu cơ lý cho bột khoáng.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	Theo TCVN 13567-1:2022
Khối lượng riêng	g/cm ³	TCVN 8735:2012	2.697	≥ 2.500
Độ ẩm	%	TCVN 12884-2:2020	0.31	≤ 1.00
Hệ số thích nước		TCVN 12884-2:2020	0.73	≤ 1.00

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của nhựa đường 60/70.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	Theo TCVN 13567-1:2022
Độ kim lún - 100g ở 25°C. 5 giây	1/10mm	TCVN 7495:2005	63	Min. 60 Max. 70
Chỉ số độ kim lún PI		TCVN 7495:2005	-0.94	-1.50 ÷ 1.00
Nhiệt độ hóa mềm (dụng cụ vòng bi)	°C	TCVN 7495:2005	48.6	Min. 46.0
Độ nhớt động lực học ở 60°	Pa.s	TCVN 8818-5:2011	256	Min. 180
Độ kéo dài ở 25°C - 5cm/phút	cm	TCVN 7496:2005	>100	Min. 100
Hàm lượng Paraphin	%	TCVN 7503:2005	1.36	Max. 2.20
Điểm chớp cháy (cốc mở Cleveland)	°C	TCVN 7498:2005	335	Min. 232
Độ hòa tan trong Trichloethylene	%	TCVN 7500:2005	99.31	Min. 99.00
Khối lượng riêng ở 25°C	g/cm ³	TCVN 7501:2005	1.03	1.00 - 1.05
Tổn thất khối lượng	%	TCVN11711	0.24	Max. 0.80
Tỷ lệ độ kim lún còn lại so với độ kim lún ban đầu ở 25°C	% original	TCVN 7495:2005	76.40	Min. 54.00
Độ kéo dài ở 25oC - 5cm/phút	cm	TCVN 7496:2005	> 50	Min. 50
Độ dính bám với đá	cấp	TCVN 7504:2005	3	Min. cấp 3

Bảng 5. Tổng hợp các kết quả thí nghiệm cấp phối BTNC 16 sử dụng nhựa 60/70.

Số tổ mẫu	Hàm lượng nhựa theo hỗn hợp	Độ ổn định	Độ dẻo	Độ rỗng lấp đầy nhựa	Độ rỗng dư	Độ rỗng cốt liệu
	%	kN	mm	%	%	%
1	3.5	8.25	2.57	47.00	8.70	16.40
2	4.0	9.81	3.07	58.90	6.30	15.30
3	4.5	10.61	3.78	67.00	5.10	15.40
4	5.0	11.62	4.11	76.20	3.60	15.20
5	5.5	11.42	4.50	82.80	2.70	15.50
Yêu cầu kỹ thuật		≥ 8.00	1.50 – 4.00	65.00 – 75.00	4.00 – 6.00	≥ (13.50 - 15.50)

Bảng 6. Tổng hợp các kết quả thí nghiệm cấp phối BTNC 16 sử dụng nhựa 60/70.

STT	Các chỉ tiêu cơ lý	Kết quả thí nghiệm	Yêu cầu
1	Tỷ trọng khối của mẫu đầm	2.491	-
2	Khối lượng thể tích của mẫu đầm (g/cm ³)	2.484	-
3	Độ rỗng dư (%)	4.70	3.00 ÷ 6.00
4	Độ rỗng cốt liệu (%)	15.30	≥ 15.00
5	Độ rỗng lấp đầy nhựa (%)	69.20	65.00 ÷ 75.00
6	Tỷ lệ P _{0.075} /P _{ae}	1.49	0.80 ÷ 1.60
7	Độ ổn định Marshall (kN)	11.22	≥ 8.00
8	Độ dẻo Marshall (mm)	3.89	1.50 ÷ 4.00
9	Độ ổn định Marshall còn lại (%)	86.40	≥ 80.00

3. Thí nghiệm xác định cường độ nén ép chẻ của BTNC16

Thực hiện thí nghiệm xác định cường độ nén ép chẻ của BTNC16 sử dụng nhựa 60/70 với năm mức hàm lượng nhựa khác nhau trên máy nén Marshall ở nhiệt độ 25°C. Tiến hành tính toán cường độ kéo gián tiếp dựa trên công thức (1):

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

Trong đó:

S_t là cường độ nén ép chẻ (kPa);

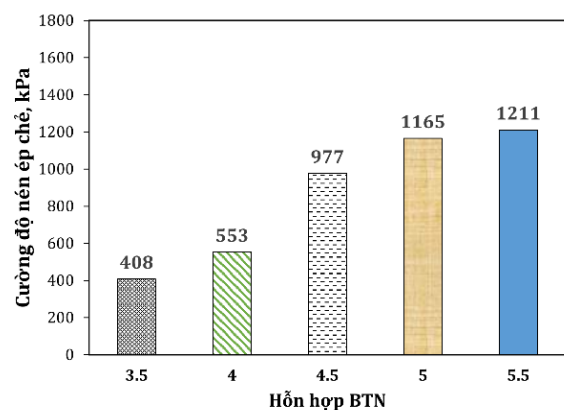
P là lực nén phá hoại mẫu (N);

t là chiều cao của mẫu trước khi thí nghiệm (mm);

D là đường kính của mẫu (mm).

Phân tích giá trị cường độ nén ép chẻ của BTNC16 theo công thức (1) kết quả được thể hiện trên Hình 2. Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ nén ép chẻ tăng theo hàm lượng nhựa từ 3.5% đến 5.0%, với mức tăng mạnh nhất từ 408 kPa lên 1165 kPa (tăng khoảng 186%). Nguyên nhân bởi nhựa đóng vai trò như một chất kết dính, phân bố đều trong hỗn hợp, giúp cải thiện khả năng truyền lực

giữa các hạt cốt liệu, khi hàm lượng nhựa tăng, sự kết dính giữa cốt liệu tốt hơn, giúp hỗn hợp chịu lực kéo gián tiếp cao hơn. Tuy nhiên, khi hàm lượng nhựa tăng từ 5.0% lên 5.5%, cường độ nén ép chẻ không thay đổi đáng kể (1165 kPa đến 1211 kPa, khoảng 4.0%). Điều này có thể do phạm vi hàm lượng nhựa trong khoảng 3.5% đến 5.0%, đã có giá trị hàm lượng nhựa làm cho BTN đạt đến mức tối ưu trong việc kết dính hạt cốt liệu. Việc tăng thêm nhựa không còn gia tăng đáng kể lực liên kết. Đây có thể được xem là hiện tượng dư nhựa, bởi khi lượng nhựa vượt quá ngưỡng tối ưu, có thể tạo màng trơn giữa các hạt cốt liệu, làm giảm thiểu lực ma sát và tương tác giữa chúng, khiến hiệu suất chịu tải không tăng nhiều.



Hình 2. Giá trị cường độ nén ép chẻ của BTNC16 với các hàm lượng nhựa khác nhau.

4. Thí nghiệm kéo gián tiếp Indirect Tensile Asphalt Cracking test

Tiến hành thí nghiệm kéo gián tiếp theo Tiêu chuẩn ASTM D8225-19 [10] để xác định khả năng kháng nứt của hỗn hợp BTN ở nhiệt độ trung gian trong khoảng 5°C đến 35°C, tùy thuộc vào điều kiện khí hậu ở các quốc gia. Tại Việt Nam, phần lớn các thí nghiệm theo những tiêu chuẩn liên quan đến cường độ BTN được thực hiện ở mức nhiệt 25°C. Vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thực hiện thí nghiệm để đánh giá khả năng kháng nứt của BTN ở 25°C. Các mẫu thử được tạo bằng máy đầm Superpave có đường kính 150 mm, dày 62 mm và được ổn định nhiệt tối thiểu 2 giờ ở 25°C trước khi thực hiện thí nghiệm nén ép chế trên máy nén Marshall. Mẫu thí nghiệm thực hiện với tốc độ gia tải là 50 mm/phút, kết hợp phần mềm chuyên dụng để thu thập dữ liệu về 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 sau:

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

Trong đó, G_f là năng lượng phá hủy (J/mm^2) và được xác định theo công thức:

$$G_f = \frac{W_f}{Dt} 10^6 \quad (3)$$

Với,

W_f là công phá hủy (J);

D là đường kính mẫu thí nghiệm (mm);

t là chiều dày mẫu thí nghiệm (mm);

l_{75} là 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:

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

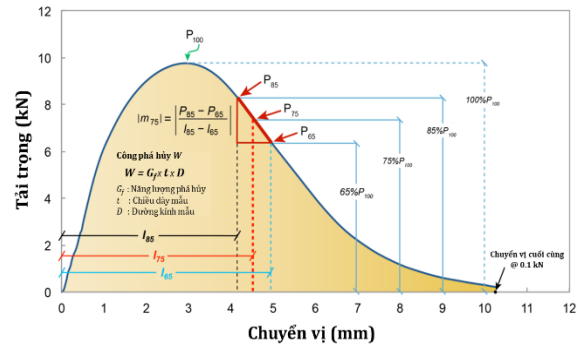
Giá trị P_{85} và P_{65} được xác định như Hình 3 [10]. Từ các công thức (2), (3), (4) và Hình 3 có thể thấy, giá trị tuyệt đối của độ dốc đường cong lực - chuyển vị nằm sau giá trị lực nén lớn nhất $|m_{75}|$, thể hiện tốc độ lan truyền vết nứt; $|m_{75}|$ càng lớn dẫn đến tốc độ lan truyền vết nứt càng nhanh. Chỉ số kháng nứt CT_{Index} được tính toán dựa vào G_f , l_{75} và $|m_{75}|$, vì vậy, đây là thông số thể hiện rõ nhất đặc tính kháng nứt của hỗn hợp BTN. Từ kết quả thí nghiệm triển khai tính toán các giá trị tuyệt đối của độ dốc đường cong lực - chuyển vị nằm sau giá trị lực nén lớn nhất và chỉ số kháng nứt theo các công thức (2), (3) và (4). Kết quả tính toán được thể hiện như Hình 4, Hình 5 và Hình 6.

Đồ thị mối quan hệ ở Hình 6 cho thấy, giá trị CT_{Index} của BTNC16 tăng khi hàm lượng nhựa tăng. Cụ thể, hàm lượng nhựa tăng từ 3,5% lên 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dẫn đến gia tăng tương ứng chỉ số kháng nứt lần lượt là 31,26%, 98,54%, 26,67% và 13,75%. Nguyên nhân của sự gia tăng này được giải thích bởi nhựa đường đóng vai trò là chất kết dính giữa các hạt cốt liệu trong BTN, do đó, khi hàm lượng nhựa tăng, liên kết giữa các hạt cốt liệu trở nên chặt chẽ hơn. Điều này giúp BTN chịu kéo tốt hơn, tăng khả năng hấp thụ năng lượng trước khi xuất hiện vết nứt. Khi mẫu BTN chịu tải trọng kéo gián tiếp, ứng suất kéo tập trung tại vùng trung tâm của mẫu, khi hàm lượng nhựa tăng giúp phân tán ứng suất tốt hơn trong toàn bộ hỗn hợp, làm chậm quá trình hình thành vết nứt. Công thức (2) và biểu đồ Hình 3 chỉ ra rằng, chỉ số CT_{Index} có liên quan đến năng lượng phá hủy G_f , khi hàm lượng nhựa tăng, BTN có xu hướng hấp thụ nhiều năng lượng, chịu được biến dạng lớn hơn trước khi xuất hiện vết nứt và bị phá hủy hoàn toàn. Có thể hiểu

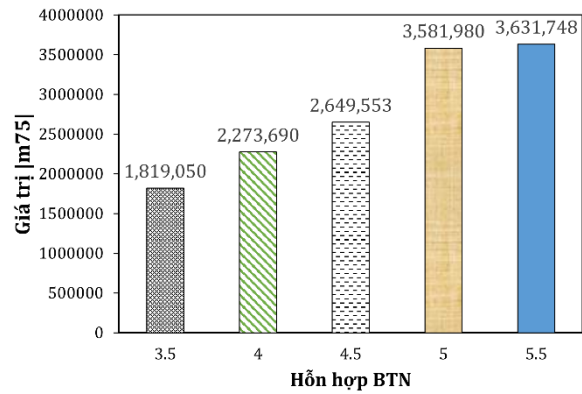
ràng, hàm lượng nhựa tăng, mẫu không bị phá hủy đột ngột, có xu hướng biến dạng nhiều hơn trước khi nứt, giúp tăng CT_{index} .

Cũng với công thức (2) và dựa vào kết quả ở Hình 6 có thể thấy chỉ số CT_{index} tăng mạnh nhất (98,54%) khi hàm lượng nhựa tăng từ 3,5% lên 4%, tuy nhiên, nếu tăng hàm lượng nhựa từ 5% lên 5.5% thì chỉ số này chỉ tăng (13,75%). Điều này cho thấy, cần có nhiều thí nghiệm kiểm chứng để tìm được hàm lượng nhựa phù hợp trong công tác thiết kế hỗn hợp BTN sao cho đảm bảo các tiêu chí về kỹ thuật và giá thành.

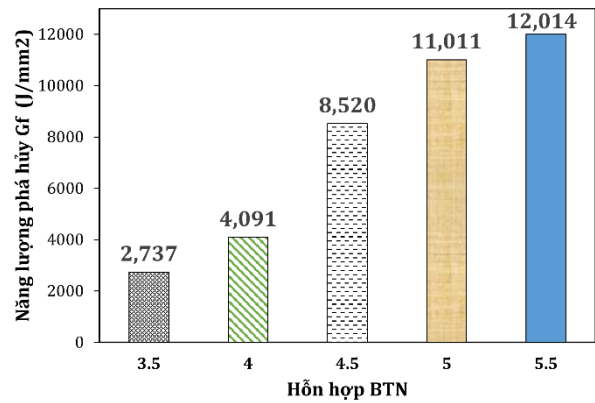
Mối liên hệ giữa cường độ ép chẻ và chỉ số kháng nứt CT_{index} được thể hiện tại Hình 7. Từ giá trị ITS có thể xác định được CT_{index} và ngược lại. Ngoài ra, hiện nay, giá trị ITS tối thiểu trong hỗn hợp BTN chưa được xác định rõ trong các tiêu chuẩn hiện hành. Do đó, căn cứ vào giá trị CT_{index} tối thiểu là 100 theo khuyến nghị của Sở Giao thông vận tải thuộc tiểu bang Tennessee, Hoa Kỳ (TDOT) [11] có thể suy ngược lại giá trị ITS tối thiểu là 850 kPa. Trong khi đó, giá trị hàm lượng nhựa tối thiểu là 4.5% dựa trên chỉ số $CT_{index} = 100$. Tuy nhiên, khi lựa chọn giá trị hàm lượng nhựa thiết kế nên thí nghiệm chỉ số kháng nứt CT_{index} phản ánh đầy đủ bản chất cơ học của BTN hơn so với đánh giá theo giá trị cường độ nén ép chẻ. Vấn đề này được giải thích bởi thí nghiệm giá trị ITS chỉ đánh giá tại điểm phá hủy (nơi lực đạt cực đại), chưa phân tích toàn bộ quá trình phá hủy, nên không phản ánh đầy đủ khả năng chống nứt dài hạn. Ngược lại, thí nghiệm chỉ số CT_{index} được xác định dựa trên toàn bộ quá trình phá hủy, bao gồm năng lượng tiêu hao và biến dạng trước khi phá hủy. Các thông số ảnh hưởng trong công thức (2) thể hiện đầy đủ và rõ nét hơn, phù hợp để đánh giá khả năng chống nứt và hấp thụ năng lượng, phản ánh tuổi thọ thực tế tốt hơn.



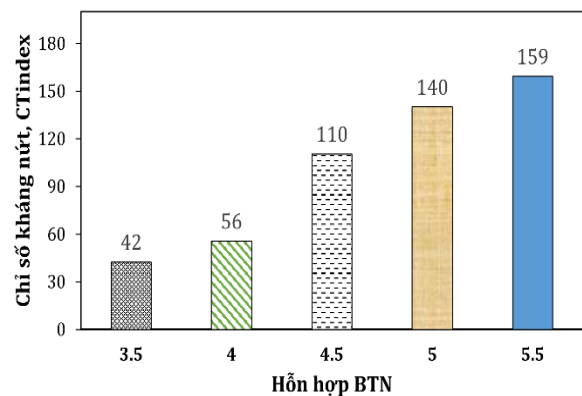
Hình 3. Đường cong tải trọng được ghi lại (P) so với độ dịch chuyển của đường tải trọng.



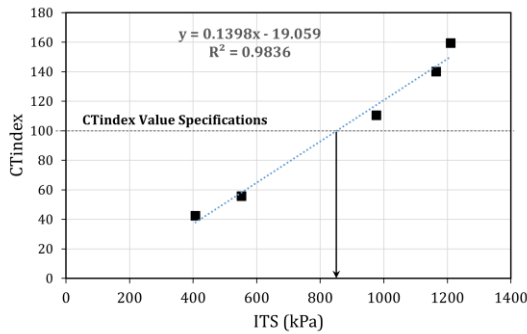
Hình 4. Giá trị $|m_{75}|$ của BTNC16.



Hình 5. Giá trị G_f của BTNC16.



Hình 6. Giá trị CT_{index} của BTNC16.



Hình 7. Giá trị CT_{index} của BTNC16 trong mối tương quan với hàm lượng nhựa.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, từ các kết quả thực nghiệm xác định cường độ nén ép chế và chỉ số kháng nứt trong phòng, đều cho thấy khả năng kháng nứt của BTNC16 tăng đáng kể khi gia tăng hàm lượng nhựa. Nhựa đường đóng vai trò quan trọng trong việc tăng độ bền kéo gián tiếp của BTN, do giúp liên kết tốt hơn, giảm độ rỗng, tăng mật độ hỗn hợp. Thí nghiệm xác định cường độ nén ép chế của BTNC16 cho thấy, khi tăng hàm lượng nhựa từ 4.0% lên 5.0%, giá trị ITS tăng 2.1 lần. Tương tự, thí nghiệm xác định chỉ số kháng nứt của BTNC16, khi tăng hàm lượng nhựa từ 4.0% lên 5.0%, giá trị CT_{index} tăng 2.5 lần. Xét về cơ chế phá hoại mẫu trong quá trình thí nghiệm thì thử nghiệm kéo gián tiếp dựa trên toàn bộ quá trình phá hủy, bao gồm năng lượng tiêu hao và biến dạng trước khi phá hủy. Từ đó, giúp đánh giá khả năng chống nứt do mỏi và nhiệt độ, khả năng hấp thụ ứng suất và năng lượng để rút ra những nhận định chuyên sâu về khả năng chống nứt và độ bền dài hạn của mặt đường BTN.

Bài báo tập trung đánh giá khả năng kháng nứt của BTNC16 dựa trên ảnh hưởng của hàm lượng nhựa. Để tạo nên kết cấu BTN thỏa mãn các tiêu chuẩn kỹ thuật và hạn chế tối đa các hư hỏng cần có thêm những nghiên cứu khác để rút ra được phương pháp thiết kế BTNC16 phù hợp ở Việt Nam. Đặc biệt là trong mối quan hệ giữa hàm lượng nhựa thiết kế đến khả năng kháng nứt, kháng ẩm và LVBX.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Trần Huy Thiệp: Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Thí nghiệm, Tiếp nhận tài trợ, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết - bản thảo gốc. **Trần Xuân Ba:** Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích dữ liệu chính thức, Thí nghiệm, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết - bản thảo gốc. **Nguyễn Thanh Bình:** Phương pháp, Tiếp nhận hỗ trợ, rà soát và chỉnh sửa bản thảo.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2025-PHII_CT-005.

Huy Thiep Tran. *Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications*

Xuan Ba Tran*. *Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications*

Thanh Binh Nguyen. *Department of Economics and Construction Investment Management, Tien Giang Department of Construction*

*Corresponding author: batx_ph@utc.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] V. P. Le, M. P. Bui, Q. P. Nguyen, H. L. Vo, and V. D. Nguyen, "Marshall and balanced mix design in determining the asphalt content for hot mix asphalt mixture: A comparative study," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 21, 2024, Art. no. e03753, doi: [10.1016/j.cscm.2024.e03753](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03753).

- [2] D. Newcomb and F. Zhou, "Balanced design of asphalt mixtures," Minnesota Department of Transportation, MN, USA, Rep. MN/RC 2018-22, 2018. Accessed: Feb. 4, 2025. [Online]. Available: <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/36534>
- [3] F. Zhou, R. Steger, and W. Mogawer, "Development of a coherent framework for balanced mix design and production quality control and quality acceptance," *Constr. Build. Mater.*, vol. 287, 2021, Art. no. 123020, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2021.123020](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123020).
- [4] National Cooperative Highway Research Program, "A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary," Transportation Research Board, WA, USA, NCHRP Report 673, 2011. Accessed: Feb. 4, 2025. [Online]. Available: <https://dl.icdst.org/pdfs/files/b306d3f6b158fcb10c85362eed557b2b.pdf>
- [5] F. Zhou, "Development of an IDEAL Cracking Test for Asphalt Mix Design, Quality Control and Quality Assurance", Transportation Research Board, WA, USA, NCHRP IDEA Project 195, 2019. Accessed: Feb. 4, 2025. [Online]. Available: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/IDEA/FinalReports/Highway/NCHRP195.pdf>
- [6] R. West et al., "Phase VII (2018-2021) NCAT Test Track Findings", National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, AL, USA, NCAT Report 21-03, 2021. Accessed: Feb. 4, 2025. [Online]. Available: <https://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/technical-reports/rep21-03.pdf>
- [7] N. N. Lân và N. Q. Dũng, "Nghiên cứu đánh giá ứng xử nứt của bê tông asphalt thí nghiệm theo mô hình uốn mẫu bán nguyệt," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số tháng 9/2018, 2018.
- [8] L. V. Phúc và P. X. Hung, "Đánh giá khả năng kháng nứt của bê tông nhựa trong điều kiện hóa già dài hạn," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải*, tập 12, số 5, tr. 8–14, 2023.
- [9] *Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng – Thi công và nghiệm thu - Phần 1: Bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường thông thường*, TCVN 13567-1:2022, 2022.
- [10] *Standard test method for determination of cracking tolerance index of asphalt mixture using the indirect tensile cracking test at intermediate temperature*, ASTM D8225-19, 2019.
- [11] F. Yin and R. West, *Balanced Mix Design Resource Guide*. Greenbelt, MD, USA: National Asphalt Pavement Association, 2021. Accessed: Feb. 4, 2025. [Online]. Available: <https://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/NAPA-IS-143-BMD-Resource-Guide-2021.pdf>