

Hiệu quả sử dụng cao su vụn trong bê tông nhựa chặt tái chế nóng

Effectiveness of crumb rubber in hot recycled dense-graded asphalt concrete

> **THS.NCS HUỖNH TRUNG QUỐC, KS TRẦN TỬ HÀO, PGS.TS NGUYỄN MẠNH TUẤN***

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh

*Email: nmanhtuan@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá hiệu quả sử dụng cao su vụn từ lốp xe phế thải đối với bê tông nhựa chặt tái chế nóng (BTNCTCN) 12,5 sử dụng 25% bê tông nhựa thu hồi (RAP). Hai hỗn hợp được so sánh gồm hỗn hợp không bổ sung cao su vụn (RO) và hỗn hợp bổ sung 1,0% cao su vụn theo khối lượng hỗn hợp (RI). Cốt liệu và bột khoáng được lấy từ trạm trộn bê tông nhựa của Công ty Cổ phần Công trình giao thông Sài Gòn, cốt liệu có nguồn gốc từ mỏ đá Tân Cảng, Đồng Nai; nhựa đường mới là nhựa đường 60/70 của Công ty TNHH Nhựa đường Petrolimex; cao su vụn được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Phát triển công nghệ Cao Su, cỡ hạt 0,4 mm. Trên cơ sở cấp phối BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP và hàm lượng nhựa tối ưu 4,8%, hai hỗn hợp RO và RI được đánh giá thông qua độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall, cường độ kéo khi ép chế của mẫu khô và mẫu ngâm, tỷ số cường độ kéo gián tiếp TSR, mô-đun đàn hồi ở 15°C, 30°C và 60°C; đồng thời xem xét hiệu quả áp dụng thông qua kiểm toán kết cấu áo đường và giá thành rải thảm. Kết quả cho thấy hỗn hợp RI có độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall, cường độ ép chế khô cùng ướt và TSR cao hơn hỗn hợp RO. Mô-đun đàn hồi của RI thấp hơn RO ở cả ba mức nhiệt độ thí nghiệm, cho thấy cao su vụn góp phần làm tăng biến dạng đàn hồi phục hồi và giảm độ cứng của BTNCTCN có RAP; đồng thời RI vẫn cho kết quả độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall, cường độ ép chế và TSR cao hơn RO trong phạm vi thí nghiệm. Kết quả kiểm toán kết cấu cho thấy cả hai phương án đều thỏa mãn các điều kiện tính toán, trong khi phương án có cao su vụn có giá thành rải thảm cao hơn do phát sinh chi phí vật liệu cao su. Vì vậy, việc bổ sung 1,0% cao su vụn cho BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP có triển vọng về mặt kỹ thuật, nhưng cần tiếp tục xem xét hiệu quả kinh tế theo điều kiện áp dụng thực tế.

Từ khóa: Bê tông nhựa chặt tái chế nóng; RAP; cao su vụn; lốp xe phế thải; trộn khô; Marshall; TSR; mô-đun đàn hồi.

ABSTRACT

This paper evaluates the effectiveness of waste tire crumb rubber in hot recycled dense-graded asphalt concrete AC 12.5 incorporating 25% reclaimed asphalt pavement (RAP). Two mixtures were compared: a mixture without crumb rubber (RO) and a mixture containing 1.0% crumb rubber by total mixture weight (RI). Aggregates and mineral filler were obtained from the asphalt plant of Saigon Traffic Construction Joint Stock Company, with aggregates originating from Tan Cang quarry, Dong Nai Province. The virgin binder was 60/70 penetration grade asphalt supplied by Petrolimex Asphalt Company, while Rubber Technology Development Joint Stock Company supplied the 0.4 mm crumb rubber. Based on the designed gradation of hot recycled AC 12.5 with 25% RAP and an optimum asphalt content of 4.8%, the two mixtures were evaluated through Marshall stability, Marshall flow, indirect tensile strength of dry and conditioned specimens, tensile strength ratio (TSR) and elastic modulus at 15°C, 30°C and 60°C. A preliminary pavement structure assessment and surfacing cost comparison were also conducted. The results showed that RI provided higher Marshall stability, Marshall flow, dry indirect tensile strength, conditioned indirect tensile strength and TSR than RO. The elastic modulus of RI was lower than that of RO at all tested temperatures, indicating that crumb rubber increased recoverable elastic deformation and reduced the stiffness of the RAP-containing mixture; meanwhile, RI still showed higher Marshall stability, Marshall flow, indirect tensile strength, and TSR than RO within the scope of the laboratory tests. The pavement structure assessment showed that both mixtures satisfied the checking criteria considered in this study, whereas the mixture containing crumb rubber had a higher surfacing cost due to the additional rubber material. Therefore, the incorporation of 1.0% crumb rubber in hot recycled dense-graded asphalt concrete with 25% RAP shows technical potential, although its economic efficiency should be further assessed under practical application conditions.

Keywords: Hot recycled asphalt concrete; reclaimed asphalt pavement; crumb rubber; waste tire; dry process; Marshall; TSR; elastic modulus.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc tái sử dụng bê tông nhựa thu hồi (RAP) và cao su vụn từ lốp xe phế thải là một hướng nghiên cứu có ý nghĩa trong bối cảnh nhu cầu vật liệu cho kết cấu áo đường ngày càng lớn, trong khi nguồn cốt liệu tự nhiên và nhựa đường mới chịu áp lực về khai thác và chi phí. RAP là nguồn vật liệu tái chế có giá trị vì chứa đồng thời cốt liệu cũ và nhựa đường cũ. Khi được xử lý và thiết kế hợp lý, RAP có thể thay thế một phần vật liệu mới trong hỗn hợp bê tông nhựa, qua đó góp phần giảm nhu cầu khai thác tài nguyên và hạn chế khối lượng vật liệu cáo bóc phải xử lý [1, 2].

Tuy nhiên, khó khăn kỹ thuật khi sử dụng RAP nằm ở phần nhựa đường cũ đã bị lão hóa trong quá trình khai thác. Sự hiện diện của nhựa đường lão hóa thường làm hỗn hợp có RAP tăng độ cứng, điều này có thể có lợi cho khả năng chống biến dạng ở nhiệt độ cao nhưng cũng có thể làm giảm khả năng biến dạng của hỗn hợp nếu không được kiểm soát phù hợp [3, 4]. Trong khi đó, cao su vụn là vật liệu có tính đàn hồi, có thể được đưa vào hỗn hợp bê tông nhựa theo phương pháp trộn ướt hoặc trộn khô [5]. So với trộn ướt, phương pháp trộn khô có ưu điểm là quy trình gần với sản xuất bê tông nhựa thông thường, không đòi hỏi chế tạo trước nhựa đường cao su và phù hợp hơn với điều kiện áp dụng tại trạm trộn [6].

Vấn đề nghiên cứu đặt ra là: Khi sử dụng BTNCTCN có cỡ hạt lớn nhất danh định 12,5 mm (BTNCTCN 12,5) có 25% RAP, việc bổ sung một lượng nhỏ cao su vụn từ lốp xe phế thải có tạo ra hiệu quả kỹ thuật đủ rõ để xem xét áp dụng hay không, đồng thời mức tăng chi phí có chấp nhận được hay không. Từ đó, bài báo tập trung so sánh hai hỗn hợp BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP, gồm hỗn hợp không cao su vụn (R0) và hỗn hợp có 1,0% cao su vụn (R1).

Phương pháp nghiên cứu gồm các bước chính: Lựa chọn vật liệu đầu vào, thiết kế cấp phối BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP, xác định hàm lượng nhựa tối ưu, chế tạo hai tổ mẫu R0 và R1, đánh giá các chỉ tiêu cơ học đặc trưng, sau đó xem xét hiệu quả áp dụng thông qua kiểm toán kết cấu áo đường và giá thành rải thảm. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá đồng thời hiệu quả kỹ thuật và kinh tế của việc sử dụng cao su vụn trong BTNCTCN.

2. VẬT LIỆU, CẤP PHỐI VÀ THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ

2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ, bột khoáng, nhựa đường mới, RAP và cao su vụn. Cốt liệu và bột khoáng được lấy từ trạm trộn bê tông nhựa của Công ty Cổ phần Công trình giao thông Sài Gòn, trong đó cốt liệu có nguồn gốc từ mỏ đá Tân Cảng, Đồng Nai. Nhựa đường mới sử dụng là nhựa đường đặc 60/70 của Công ty TNHH Nhựa đường Petrolimex. RAP được lấy từ Công ty Cổ phần Công trình giao thông Sài Gòn, sau đó nghiền và phân loại tại trạm trộn thành các nhóm cỡ hạt phục vụ thiết kế cấp phối. Cao su vụn sử dụng trong nghiên cứu được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Phát triển công nghệ Cao Su, có cỡ hạt 0,4 mm và được bổ sung vào hỗn hợp theo biến thể phương pháp trộn khô.

Trong phạm vi bài báo, RAP được sử dụng với hàm lượng 25% theo khối lượng hỗn hợp cốt liệu; cao su vụn được xem là phụ gia bổ sung để đánh giá ảnh hưởng đến tính chất của BTNCTCN, không xem là vật liệu thay thế cốt liệu và không xem là chất tái sinh cho nhựa đường cũ trong RAP.

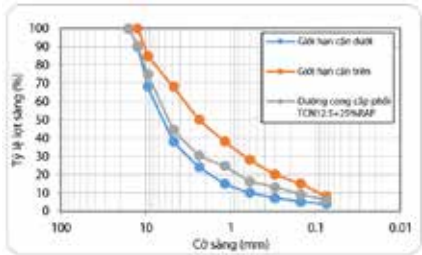
2.2. Cấp phối thiết kế và hàm lượng nhựa tối ưu

RAP được phối hợp theo ba nhóm cỡ hạt 10 - 15 mm, 5 - 10 mm và 0 - 5 mm với tỷ lệ lần lượt là 10%, 10% và 5%; phần cốt liệu mới chiếm 75%. Thành phần cấp phối thiết kế của BTNCTCN 12,5 được lựa chọn dựa trên quy định của TCVN 13567-4:2024 [7]. Bảng 1 thể hiện cấp phối thiết kế của hỗn hợp.

Bảng 1. Cấp phối thiết kế BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP

Cỡ sàng	Giới hạn cận dưới	Giới hạn cận trên	RAP 10-15 mm	RAP 5-10 mm	RAP 0-5 mm	Cốt liệu mới	Hỗn hợp phối trộn
	Tỷ lệ phối trộn		10,0%	10,0%	5,0%	75,0%	
	% Lọt sàng						
mm	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
16	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12,5	90	100	68,6	100,0	100,0	91,7	90,6
9,5	68	85	47,8	92,6	100,0	74,2	74,7

4,75	38	68	34,4	38,8	96,2	42,9	44,3
2,36	24	50	24,1	21,9	71,4	29,5	30,3
1,18	15	38	20,4	19,2	59,3	23,6	24,6
0,6	10	28	15,3	15,4	41,9	14,7	16,2
0,3	7	20	11,9	12,5	30,7	12,2	13,1
0,15	5	15	9,1	10,0	23,3	7,9	9,0
0,075	4	8	6,5	7,3	16,6	4,9	5,9



Hình 1. Đường cong cấp phối BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP

Hàm lượng nhựa tối ưu được xác định theo TCVN 8820:2011 [8]. Kết quả ở hàm lượng nhựa 4,8% cho thấy các chỉ tiêu độ rỗng dư, độ rỗng cốt liệu, độ rỗng lấp đầy nhựa, độ ổn định và độ dẻo nằm trong dải yêu cầu. Do đó, hàm lượng nhựa tối ưu 4,8% được chọn cho các tổ mẫu BTNCTCN nghiên cứu tiếp theo. Trên cơ sở này, hai hỗn hợp R0 và R1 được chế tạo cùng cấp phối, cùng hàm lượng RAP và cùng hàm lượng nhựa; chỉ khác nhau ở việc bổ sung 1,0% cao su vụn trong hỗn hợp R1.



Hình 2. Thí nghiệm độ ổn định và độ dẻo Marshall

2.3. Chế tạo mẫu và thí nghiệm đánh giá

Các mẫu thí nghiệm được chế tạo trong phòng thí nghiệm theo cùng một cấp phối thiết kế, mỗi tổ mẫu gồm 2 mẫu. Đối với hỗn hợp R1, cao su vụn được bổ sung theo biến thể phương pháp trộn khô. Cốt liệu mới, RAP và nhựa đường mới được trộn trước, sau đó cao su vụn được đưa vào hỗn hợp và tiếp tục trộn đến khi phân tán đều [9]. Trình tự này được lựa chọn nhằm hạn chế hiện tượng cao su vụn tập trung cục bộ trong hỗn hợp cốt liệu khô.

Nghiên cứu tiến hành các thí nghiệm đánh giá gồm: Thí nghiệm Marshall để xác định độ ổn định, độ dẻo [10]; thí nghiệm ép chế mẫu khô và mẫu ngâm để xác định R_{kc} và tỷ số cường độ kéo gián tiếp TSR [11]; thí nghiệm mô-đun đàn hồi ở 15°C, 30°C và 60°C để đánh giá sự thay đổi độ cứng của hỗn hợp [12]. Kết quả thí nghiệm sau đó được sử dụng để nhận định hiệu quả kỹ thuật, đồng thời làm thông số tham khảo khi đánh giá sơ bộ kết cấu áo đường và giá thành rải thảm.



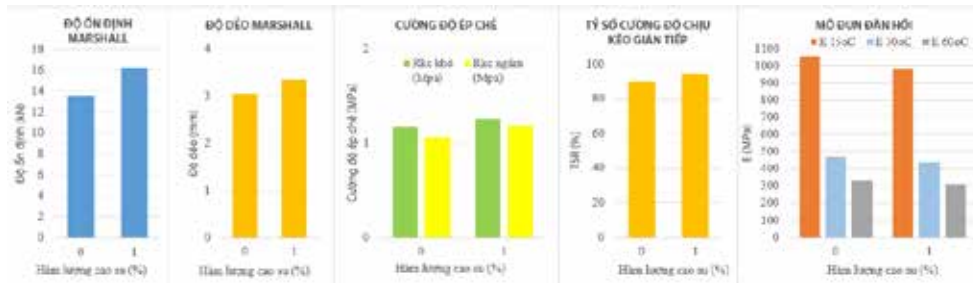
a) - Thí nghiệm nén Marshall b) - Thí nghiệm mô-đun đàn hồi c) - Thí nghiệm ép chế

Hình 3. Thí nghiệm đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật

2.4. Kết quả thí nghiệm và nhận xét

Kết quả thí nghiệm trung bình của các tổ mẫu được tổng hợp trong Bảng 2. Bảng 2. Tổng hợp kết quả thí nghiệm của hai hỗn hợp BTNCTCN nghiên cứu

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng cao su (%)	Thí nghiệm Marshall		Cường độ ép chẻ		Tỷ số cường độ kéo gián tiếp	Mô-đun đàn hồi		
		Độ ổn định (kN)	Độ dẻo (mm)	R_{kc} khô (MPa)	R_{kc} ngâm (MPa)		E 15°C	E 30°C	E 60°C
R0	0	13,49	3,05	1,18	1,06	89,83	1052,8	470,2	329,4
R1	1	16,26	3,36	1,25	1,18	94,80	984,1	439,3	307,5



Hình 4. Quan hệ giữa các chỉ tiêu đánh giá và hàm lượng cao su vụn

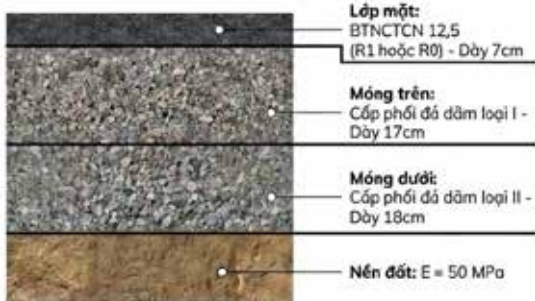
Kết quả thí nghiệm cho thấy khi bổ sung 1,0% cao su vụn, hỗn hợp R1 có độ ổn định Marshall và độ dẻo Marshall cao hơn hỗn hợp R0. Sự gia tăng độ ổn định cho thấy khả năng chịu tải trong điều kiện nén Marshall được cải thiện, trong khi độ dẻo tăng phản ánh mẫu có khả năng biến dạng lớn hơn trước khi phá hoại. Đối với nhóm chỉ tiêu ép chẻ, R1 cũng cho R_{kc} khô, R_{kc} ngâm và TSR cao hơn R0, cho thấy hỗn hợp có cao su vụn duy trì cường độ kéo gián tiếp tốt hơn sau tác động của nước.

Kết quả mô-đun đàn hồi cho thấy R1 có mô-đun thấp hơn R0 ở cả ba mức nhiệt độ thí nghiệm. Sự giảm mô-đun này xuất phát từ việc cao su vụn làm tăng biến dạng đàn hồi phục hồi của mẫu dưới cùng điều kiện tải trọng. Đối với BTNCTCN có RAP, đây là tín hiệu có lợi vì RAP và nhựa đường cũ thường làm hỗn hợp tăng độ cứng. Khi bổ sung cao su vụn, độ cứng đàn hồi được điều chỉnh giảm, giúp hỗn hợp bớt giòn và có khả năng biến dạng đàn hồi tốt hơn khi chịu tải trọng. Do đó, trong phạm vi các thí nghiệm của bài báo, cao su vụn không chỉ cải thiện các chỉ tiêu Marshall và TSR mà còn góp phần hạn chế bất lợi do độ cứng cao của hỗn hợp BTNCTCN có RAP, qua đó hỗ trợ cải thiện khả năng làm việc của hỗn hợp đối với nguy cơ nứt.

3. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ

3.1. Đánh giá hiệu quả kỹ thuật thông qua kết cấu áo đường

Để xem xét khả năng áp dụng của hai hỗn hợp vào kết cấu áo đường, nghiên cứu sử dụng cùng một kết cấu có lớp BTNCTCN 12,5 dày 7 cm, trong đó các lớp phía dưới được giữ nguyên như thể hiện ở Hình 5 và chỉ thay đổi thông số cơ học của lớp BTNCTCN. Cường độ chịu kéo uốn giới hạn tại 25°C, $R_{ku} = 2R_{kc}$ được xác định theo TCCS 38:2022/TCĐBVN [12]. Cường độ chịu kéo uốn giới hạn R_{ku} tại 15°C được quy đổi từ kết quả R_{ku} tại 25°C tham khảo theo nghiên cứu của Vasconcelos và cộng sự [13] thể hiện ở Bảng 3.



Hình 5. Kết cấu áo đường sử dụng trong đánh giá

Bảng 3. Thông số lớp BTNCTCN 12,5 sử dụng trong tính toán kết cấu áo đường

Lớp kết cấu (từ dưới lên)	Bề dày lớp (cm)	E (MPa)			R_{ku} (MPa)	C (MPa)	j (độ)
		Tính độ võng	Tính trượt	Tính kéo uốn			
Nền đất		50				0,0035	35
CPĐĐ loại II	18	250	250	250	0	0	0
CPĐĐ loại I	17	250	250	250	0	0	0
Phương án R0	7	470,2	329,4	1.052,8	4,38	0	0
Phương án R1	7	439,3	307,5	984,1	4,65		

Bảng 4. Kết quả đánh giá sơ bộ kết cấu áo đường đối với hai phương án vật liệu

Phương án	Kiểm toán độ võng đàn hồi ở 30°C	Kiểm toán trượt ở 60°C	Kiểm toán kéo uốn ở 15°C	Kết luận
Phương án R0	Đạt	Đạt	Đạt	Kết cấu thỏa mãn yêu cầu tính toán
Phương án R1	Đạt	Đạt	Đạt	Kết cấu thỏa mãn yêu cầu tính toán

Sau khi kiểm toán kết cấu áo đường theo TCCS 38:2022/TCĐBVN, cả hai phương án vật liệu đều thỏa mãn các điều kiện về độ võng đàn hồi, trượt trong nền đất và kéo uốn ở đáy lớp bê tông nhựa. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiếp tục so sánh giá thành rải thảm cho 100 m² mặt đường, với cùng chiều dày lớp BTN 12,5 là 7 cm.

3.2. Đánh giá hiệu quả kinh tế

Đơn giá vật liệu đầu vào được xác định trên cơ sở công bố giá vật liệu xây dựng của Sở Xây dựng TP.HCM tại thời điểm tính toán và báo giá cao su vụn của đơn vị cung cấp. Trên cơ sở thay thế một phần cốt liệu mới bằng RAP, giá 1 tấn BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP được xác định là 1.443.690 đồng/tấn, tương ứng với phương án R0.

Đối với hỗn hợp BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP có bổ sung cao su

vụn, giá cao su vụn được lấy theo báo giá của Công ty Cổ phần Phát triển công nghệ Cao Su, bằng 12.000 đồng/kg. Với hàm lượng cao su vụn 1% theo khối lượng hỗn hợp, lượng cao su vụn sử dụng cho 1 tấn hỗn hợp là 10 kg, tương ứng chi phí bổ sung 120.000 đồng/tấn. Do đó, giá 1 tấn BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP và 1% cao su vụn được xác định là 1.563.690 đồng/tấn.

Giá thành rải thảm mặt đường bê tông nhựa được tính cho công tác rải thảm lớp BTN 12,5 dày 7 cm, đơn vị tính 100 m². Đơn giá chi tiết được lập trên cơ sở định mức và phương pháp tính chi phí xây dựng theo quy định hiện hành, trong đó các khoản chi phí vật liệu, nhân công, máy thi công, chi phí gián tiếp, thu nhập chịu thuế tính trước và thuế giá trị gia tăng được tính cho từng phương án vật liệu.

Bảng 5. So sánh giá thành rải thảm lớp BTNCTCN 12,5 dày 7 cm cho 100 m²

Phương án	Đơn giá hỗn hợp (đồng/tấn)	Giá thành rải thảm cho 100 m ² (đồng)	Chênh lệch so với R0 (đồng)	Tỷ lệ chênh lệch
Phương án R0	1.443.690	32.990.423	-	-
Phương án R1	1.563.690	35.603.427	2.613.004	+7,9%

Kết quả so sánh cho thấy phương án R1 có giá thành rải thảm cao hơn phương án R0 do phát sinh chi phí cao su vụn. Đây là kết quả phù hợp vì hai phương án được tính trên cùng chiều dày lớp rải, cùng khối lượng hỗn hợp và cùng cơ sở định mức thi công; phần chênh lệch chủ yếu đến từ chi phí vật liệu bổ sung. Tuy nhiên, phần chi phí tăng thêm cần được xem xét cùng với hiệu quả kỹ thuật đạt được. Ở phương án R1, việc bổ sung 1,0% cao su vụn giúp cải thiện độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall, R_{kc} và TSR, đồng thời làm giảm mô-đun đàn hồi của BTNCTCN có RAP, qua đó tăng khả năng biến dạng đàn hồi và góp phần hạn chế bất lợi do hỗn hợp có RAP quá cứng. Như vậy, R1 không phải là phương án có lợi hơn về chi phí ban đầu so với R0, nhưng là phương án có triển vọng khi xét đồng thời yêu cầu kỹ thuật và mục tiêu tận dụng cao su vụn từ lốp xe phế thải. Hiệu quả kinh tế của phương án này cần được tiếp tục đánh giá theo điều kiện sản xuất thực tế và theo hướng chỉ phí vòng đời, thay vì chỉ dựa trên giá thành rải thảm ban đầu.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả thí nghiệm và đánh giá hiệu quả áp dụng của BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP khi bổ sung 1,0% cao su vụn, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Cấp phối BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP được thiết kế nằm trong dải yêu cầu của TCVN 13567-4:2024. Hàm lượng nhựa tối ưu 4,8% được lựa chọn trên cơ sở tính toán dự kiến và kiểm tra bằng thí nghiệm Marshall, sau đó được sử dụng thống nhất cho hai hỗn hợp R0 và R1. Vì vậy, sự khác biệt giữa hai hỗn hợp chủ yếu đến từ việc bổ sung 1,0% cao su vụn.
- Hỗn hợp R1 có độ ổn định Marshall và độ dẻo Marshall cao hơn hỗn hợp R0. Kết quả này cho thấy việc bổ sung 1,0% cao su vụn không làm giảm khả năng chịu tải trong điều kiện nén Marshall, đồng thời làm tăng chuyển vị của mẫu tại thời điểm phá hoại. Như vậy, cao su vụn có tác động tích cực đến trạng thái làm việc của BTNCTCN có RAP trong thí nghiệm Marshall.
- Các chỉ tiêu R_{kc} khô, R_{kc} ngâm và TSR của hỗn hợp R1 đều cao hơn hỗn hợp R0. Điều này cho thấy hỗn hợp có cao su vụn có khả năng duy trì cường độ kéo gián tiếp sau ngâm nước tốt hơn. Đây là kết quả có ý nghĩa đối với BTNCTCN sử dụng RAP, vì hỗn hợp tái chế nóng cần được kiểm soát đồng thời về cường độ và độ bền nước.
- Mô-đun đàn hồi của hỗn hợp R1 thấp hơn R0 ở cả ba mức nhiệt độ thí nghiệm 15°C, 30°C và 60°C. Sự giảm mô-đun này cho thấy cao su vụn góp phần làm tăng biến dạng đàn hồi phục hồi của hỗn hợp dưới tác dụng tải trọng. Đối với BTNCTCN có RAP, đây là dấu hiệu có lợi vì nhựa đường cũ trong RAP thường làm hỗn hợp tăng độ cứng. Khi mô-đun giảm nhưng các chỉ tiêu Marshall, R_{kc} và TSR vẫn được cải thiện, có thể nhận định rằng 1,0% cao su vụn giúp điều chỉnh độ cứng của hỗn hợp theo hướng hợp lý hơn, qua đó hỗ trợ hạn chế nguy cơ nứt do hỗn hợp có RAP quá cứng.
- Kết quả kiểm toán kết cấu áo đường cho thấy cả hai phương án R0 và R1 đều thỏa các điều kiện tính toán về độ võng đàn hồi, cắt trượt trong nền đất và kéo uốn ở đáy lớp bê tông nhựa. Tuy nhiên, phương án R1 có giá thành rải thảm cao hơn khoảng 7,9% so với R0 cho 100 m² lớp BTNCTCN

12,5 dày 7 cm. Phần chi phí tăng thêm chủ yếu do bổ sung cao su vụn. Vì vậy, R1 chưa tạo lợi thế về chi phí xây dựng ban đầu, nhưng có triển vọng khi xét đồng thời hiệu quả kỹ thuật và mục tiêu tận dụng cao su vụn từ lốp xe phế thải.

Từ các kết quả trên, có thể nhận định rằng việc bổ sung 1,0% cao su vụn vào BTNCTCN 12,5 sử dụng 25% RAP là phương án có tiềm năng về mặt kỹ thuật trong phạm vi nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. Hashim, H. Al-Mosawe, H. Mohammed. The Influence of Using Recycled Asphalt Pavement and Crumbed Rubber on Asphalt Pavement: A Review. Al-Nahrain Journal of Engineering Sciences, vol. 26, no. 2, pp. 74-82, 2023.

[2] X. Chen, Q. Li, T. Sesay, Q. You, E. B. Chineche. Valorization of recycled wastes in pavement preventive maintenance: A review on reclaimed asphalt pavement and recycled waste tire. Heliyon, vol. 10, no. 6, Article e27776, 2024.

[3] F. Xiao, S. N. Amirkhanian, J. Shen, B. Putman. Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures. Construction and Building Materials, vol. 23, no. 2, pp. 1028-1034, 2009.

[4] Z. Zhao, F. Xiao, E. Toraldo, M. Crispino, M. Ketabdari. Effect of crumb rubber and reclaimed asphalt pavement on viscoelastic property of asphalt mixture. Journal of Cleaner Production, vol. 428, Article 139422, 2023.

[5] D. Lo Presti. Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. Construction and Building Materials, vol. 49, pp. 863-881, 2013.

[6] E. H. Tân, E. M. M. Zahran, S. J. Tan. The optimal use of crumb rubber in hot-mix asphalt by dry process: A laboratory investigation using Marshall mix design. Transportation Engineering, vol. 10, Article 100145, 2022.

[7] Bộ Khoa học và Công nghệ. Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng - Thi công và nghiệm thu - Phần 4: BTNCTCN tại trạm trộn sử dụng vật liệu cũ không quá 25%. TCVN 13567-4:2024, Hà Nội, 2024.

[8] Bộ Khoa học và Công nghệ. Hỗn hợp bê tông nhựa nóng - Thiết kế theo phương pháp Marshall. TCVN 8820:2011, Hà Nội, 2011.

[9] I. Bakheit, H. Xiaoming. Modification of the dry method for mixing crumb rubber modifier with aggregate and asphalt based on the binder mix design. Construction and Building Materials, vol. 220, pp. 278-284, 2019.

[10] Bộ Khoa học và Công nghệ. Bê tông nhựa - Phương pháp thử - Phần 1: Xác định độ ổn định, độ dẻo Marshall. TCVN 8860-1:2011, Hà Nội, 2011.

[11] Bộ Khoa học và Công nghệ. Bê tông nhựa - Phương pháp xác định tỷ số cường độ kéo gián tiếp của bê tông nhựa sau khi ngâm nước. TCVN 12914:2020, Hà Nội, 2020.

[12] Cục Đường bộ Việt Nam. Tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm. TCCS 38:2022/TCĐBVN, Hà Nội, 2022.

[13] K. L. Vasconcelos, L. B. Bernucci, J. M. Chaves. Effect of Temperature on the Indirect Tensile Strength Test of Asphalt Mixtures. Proceedings of the 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul, Paper P5EE-344, pp. 1-9, 2012.