



EFFECTS OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT CONTENT ON THE CRACKING AND RUTTING RESISTANCE OF HOT RECYCLED ASPHALT MIXTURE

Truong Van Quyet*, Nguyen Ngoc Lan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 18/12/2023

Revised: 28/01/2024

Accepted: 05/02/2024

Published online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.8>

* *Corresponding author*

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: +84970452140

Abstract. Due to the economic, technical and environmental benefits, the use of the Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) to produce recycled asphalt mixtures is increasingly in the world in recent years. Using with low RAP content (from 10% to 20%), the performances of mixture with RAP are not significantly different from mixtures without RAP. However, for mixtures using high RAP content (>25%), the performances of mixture are significantly different and can affect the quality of the asphalt pavement. This paper presents research on the effects of RAP content on the cracking resistance and rutting resistance of hot recycled asphalt mixture. Three mixtures were evaluated including a control mixture (0%RAP), two mixtures using 30%RAP and 50%RAP. The Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT) is used to evaluate rutting resistance according to AASHTO T324. Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) was performed to evaluate cracking resistance according to ASTM D8225. The results show that, when increasing the RAP content in the mixture, rutting resistance is improved but there is a significant decrease in cracking resistance. The rutting depth of mixtures using 30% RAP and 50% RAP decreased by 24.2% and 41.5%, respectively, compared to the control mixture without RAP, but the cracking resistance index CT_{Index} decreased by 60.8% and 63.1% respectively. The CT_{Index} of the mixture using 50% RAP is lower than the minimum threshold of 70 as reported by the State of Virginia, USA.

Keywords: reclaimed asphalt pavement (RAP), high RAP content, hot recycled asphalt mixture, cracking resistance, rutting resistance.

@ 2024 University of Transport and Communications



ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG VẬT LIỆU MẶT ĐƯỜNG ASPHALT CŨ ĐẾN TÍNH NĂNG KHÁNG NỨT VÀ KHÁNG HẤN LÚN VỆT BÁNH XE CỦA BÊ TÔNG ASPHALT TÁI CHẾ NÓNG

Trương Văn Quyết*, Nguyễn Ngọc Lân

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: 18/12/2023

Ngày nhận bài sửa: 28/01/2024

Ngày chấp nhận đăng: 05/02/2024

Ngày xuất bản Online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.8>

* Tác giả liên hệ

Email: quyet.tv@utc.edu.vn; Tel: +84978452140

Tóm tắt. Do những lợi ích về kinh tế, kỹ thuật và môi trường nên việc sử dụng vật liệu mặt đường asphalt cũ (Reclaimed Asphalt Pavement-RAP) để sản xuất bê tông asphalt tái chế đang ngày càng phổ biến trên thế giới trong thời gian gần đây. Khi sử dụng với hàm lượng RAP thấp (từ 10% đến 20%), các tính năng của bê tông asphalt có RAP có sự khác biệt không đáng kể so với hỗn hợp không có RAP. Tuy nhiên, đối với hỗn hợp asphalt sử dụng hàm lượng RAP cao (> 25%), các tính năng có sự khác biệt đáng kể và có thể ảnh hưởng đến chất lượng của mặt đường bê tông asphalt. Bài báo trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng RAP đến tính năng kháng nứt và kháng hấn lún của bê tông asphalt tái chế nóng. Ba hỗn hợp asphalt được đánh giá bao gồm hỗn hợp đối chứng (0%RAP), hỗn hợp sử dụng 30%RAP và 50%RAP. Thí nghiệm Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT) được sử dụng để đánh giá sức kháng hấn lún vệt bánh xe theo tiêu chuẩn AASHTO T324. Trong khi đó, mô hình thí nghiệm kéo gián tiếp (Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT)) được thực hiện để xác định khả năng kháng nứt theo tiêu chuẩn ASTM D8225. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi gia tăng hàm lượng RAP trong hỗn hợp, sức kháng hấn lún được cải thiện nhưng có sự giảm đáng kể khả năng kháng nứt. Chiều sâu lún vệt hấn bánh xe của hỗn hợp asphalt sử dụng 30% RAP và 50% RAP giảm tương ứng 24,2% và 41,5% so với hỗn hợp đối chứng không có RAP nhưng chỉ số kháng nứt CT_{Index} giảm 60,8% và 63,1% tương ứng. Chỉ số kháng nứt của hỗn hợp sử dụng 50%RAP thấp hơn ngưỡng tối thiểu là 70 theo báo cáo của Bang Virginia, Mỹ.

Từ khóa: vật liệu mặt đường asphalt cũ (RAP), hàm lượng RAP cao, bê tông asphalt tái chế nóng, tính năng kháng nứt, hấn lún vệt bánh xe.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, vật liệu mặt đường bê tông asphalt cũ (RAP) được tái sử dụng để sản xuất bê tông asphalt đã phổ biến ở nhiều quốc gia trên thế giới. Một lượng đáng kể vật liệu tái chế này đã được sử dụng trong công nghệ asphalt nóng (RAP-HMA) và công nghệ asphalt ấm (RAP-WMA). Ở Nhật Bản, do hạn chế nguồn cốt liệu thô nên việc tìm kiếm các giải pháp bền vững để tối đa hóa việc bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và giảm thiểu chất thải đã được quan tâm. Dự thảo về sử dụng hàm lượng RAP cao trong hỗn hợp asphalt tái chế nóng để ứng dụng trong xây dựng mặt đường đã được ban hành vào năm 2010 [1]. Tương tự như Nhật Bản, theo báo cáo của Hiệp hội mặt đường Asphalt Mỹ (NAPA) chỉ ra rằng 99% khối lượng RAP đã được tái sử dụng vào năm 2018, ở hầu hết các Bang của Mỹ [2]. Khoảng 60% các Bang ở Mỹ sử dụng 11-20% RAP theo khối lượng hỗn hợp, trong khi 23% các Bang sử dụng từ 21-30% RAP [2]. Theo Hiệp hội mặt đường asphalt Châu Âu (EAPA), công nghệ bê tông asphalt tái chế cũng đã phát triển nhanh chóng [3]. Đức là quốc gia đầu tiên sử dụng vật liệu RAP vào hỗn hợp asphalt tái chế. Pháp và Phần Lan sử dụng vật liệu RAP cho các tuyến đường có lưu lượng giao thông thấp và từ năm 2000, RAP cũng được sử dụng cho mặt đường cấp cao [4]. Mục tiêu hiện tại của EAPA là sử dụng RAP với tỷ lệ trên 50% trong hỗn hợp HMA [5]. Ở Ấn Độ đã ban hành quy định kỹ thuật để thúc đẩy việc sử dụng vật liệu tái chế RAP. Năm 2015, tiêu chuẩn IRC:120 đã ban hành và khuyến cáo việc sử dụng RAP cho công nghệ tái chế nóng [6]. Hàm lượng RAP tối đa trong hỗn hợp có thể lên đến 50%, tuy nhiên hàm lượng 30% RAP được sử dụng phổ biến ở nhiều bang của Ấn Độ. Nghiên cứu chỉ ra rằng sử dụng 30% RAP trong hỗn hợp asphalt không làm ảnh hưởng đến các tính năng và chất lượng mặt đường [4]. Ở Nam Phi, từ năm 2009 đến nay, hàm lượng 40% RAP đã được sử dụng trong hỗn hợp asphalt. Đến năm 2019, hỗn hợp sử dụng 40% RAP đã trở nên phổ biến ở Nam Phi [7].

Khi sử dụng với hàm lượng RAP thấp (từ 10% đến 20%), các tính năng của bê tông asphalt có chứa RAP có sự khác biệt không đáng kể so với hỗn hợp không có RAP. Do đó, sự có mặt của RAP có ảnh hưởng nhỏ đến chất lượng của bê tông asphalt [8]. Tuy nhiên, có sự khác biệt đáng kể về tính năng của bê tông asphalt tái chế khi sử dụng hàm lượng RAP cao. Sondag và các cộng sự [9] đã nghiên cứu ảnh hưởng của RAP đến tính năng của hỗn hợp RAP-HMA. Kết quả nghiên cứu về khả năng kháng nứt môi cho thấy có sự giảm độ bền môi của hỗn hợp bê tông asphalt có chứa RAP. Izaks và các cộng sự [10] chỉ ra rằng hỗn hợp asphalt tái chế với 50%RAP dễ bị nứt môi hơn. Đối với biến dạng không hồi phục, các nghiên cứu chỉ ra rằng hỗn hợp asphalt tái chế có khả năng kháng hàn lún tốt hơn so với hỗn hợp đối chứng không có RAP [10], [11]. Trong nghiên cứu của Izaks và các cộng sự [10], chiều sâu hàn lún trung bình lớn nhất với hỗn hợp không có RAP. Hỗn hợp sử dụng 30%RAP cho sức kháng hàn lún cao nhất. Lee và các cộng sự [12] cũng chỉ ra rằng độ sâu vết hàn bánh xe giảm khi hàm lượng RAP tăng lên. Mogawer và các cộng sự [13], [14] tiến hành nghiên cứu về ảnh hưởng của hàm lượng RAP và loại hỗn hợp đến các tính năng của bê tông asphalt tái chế nóng. Về đánh giá khả năng kháng nứt, khi hàm lượng RAP tăng dẫn đến tuổi thọ môi thấp hơn theo thí nghiệm Overlay Test (tiêu chuẩn Tex-248-F [15]). Hỗn hợp asphalt tái chế có RAP cho thấy khả năng kháng hàn lún tăng lên khi hàm lượng RAP trong hỗn hợp tăng lên.

Hiện nay để đánh giá sức kháng nứt của bê tông asphalt có thể sử dụng nhiều mô hình thí nghiệm khác nhau như thí nghiệm kéo gián tiếp (Indirect tensile - IDT), thí nghiệm Texas Overlay (OT), thí nghiệm uốn mẫu bán nguyệt (Semi-Circular Bending - SCB), thí nghiệm uốn bốn điểm (Four-Point Bending) và thí nghiệm Illinois Flexibility Index (I-FIT). Việc lựa chọn mô hình thí nghiệm nào sẽ phụ thuộc vào việc đánh giá dạng phá hoại nứt, độ tin cậy

của thí nghiệm, tính dễ phổ cập của thí nghiệm. Đối với thí nghiệm hằn lún vết bánh xe, một số thiết bị có thể được sử dụng để thí nghiệm đánh giá chiều sâu lún vết hằn bánh xe của bê tông asphalt ở trong phòng thí nghiệm như thiết bị Asphalt Pavement Analyzer (APA), thiết bị Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD) và thiết bị French Rutting Tester (FRT). Thí nghiệm Hamburg Wheel-Tracking Test (HWTT) được nghiên cứu và phát triển đầu tiên tại Đức, sau đó được áp dụng khá phổ biến tại châu Âu, tại nhiều bang nước Mỹ và nhiều nước châu Á. Trong nghiên cứu này, ba hỗn hợp asphalt được đánh giá bao gồm hỗn hợp asphalt đối chứng (0% RAP), hỗn hợp asphalt sử dụng 30% RAP và 50% RAP. Thí nghiệm theo mô hình kéo gián tiếp (Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT)) được lựa chọn để đánh giá khả năng kháng nứt thông qua chỉ số kháng nứt CT_{Index} theo tiêu chuẩn ASTM D 8225 [16]. Đối với sức kháng hằn lún vết bánh xe, thí nghiệm Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT) được sử dụng để xác định chiều sâu lún vết bánh xe theo tiêu chuẩn AASHTO T324 [17]. Dựa trên kết quả thí nghiệm có thể đánh giá được ảnh hưởng của hàm lượng vật liệu mặt đường cũ đến tính năng kháng nứt và kháng hằn lún vết bánh xe của bê tông asphalt tái chế nóng. Trên cơ sở đó đề xuất giải pháp để cân bằng được tính năng kháng nứt và kháng hằn lún của bê tông asphalt tái chế có hàm lượng RAP cao.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu chế tạo và thành phần hỗn hợp asphalt

Vật liệu RAP: Vật liệu RAP sử dụng cho nghiên cứu được lấy ở trạm trộn Tân Càng, Biên Hòa, Đồng Nai (Hình 1). RAP là sản phẩm từ quá trình cào bóc mặt đường bê tông asphalt cũ, sau đó tiến hành nghiền sàng theo kích thước sàng đã chọn để thu được vật liệu RAP. Hàm lượng bitum trong RAP được xác định bằng phương pháp chiết sử dụng máy quay ly tâm theo TCVN 8860-2:2011. Kết quả hàm lượng bitum trong RAP và một số chỉ tiêu kỹ thuật của bitum RAP sau khi được chiết và thu hồi từ vật liệu RAP được thể hiện ở Bảng 1 [18], [19].



(a) RAP chứa tại trạm



(b) RAP được chuẩn bị ở phòng thí nghiệm

Hình 1. Vật liệu RAP.

Bảng 1. Một số chỉ tiêu kỹ thuật của bitum RAP.

Chỉ tiêu	Kết quả	Yêu cầu
Hàm lượng bitum trong RAP, %	3,0	-
Chỉ tiêu bitum RAP:		

Độ kim lún ở 25 °C, 0,1 mm	25,4	> 20
Nhiệt độ hóa mềm, °C	64,6	-
Độ nhớt ở 60°C, Pa.s	24500	-
G*/sinδ ở 82 °C, kPa	1,1	-

Chất kết dính bitum mới: Chất kết dính bitum mới là loại bitum 60/70 của Công ty TNHH Nhựa đường Petrolimex. Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của bitum 60/70 được thể hiện ở Bảng 2 [18], [19]. Kết quả cho thấy, các chỉ tiêu của bitum được thí nghiệm đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 13567-1-2022 [20].

Bảng 2. Một số chỉ tiêu kỹ thuật của bitum 60/70.

TT	Chỉ tiêu	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật
1	Độ kim lún ở 25 °C, 0,1 mm	63,5	60-70
2	Nhiệt độ hoá mềm, °C	49,6	≥ 46
3	Khối lượng riêng ở 25 °C, g/cm ³	1,032	-
4	Độ dính bám đối với đá, cấp	Cấp 4	Cấp 3
5	Độ nhớt ở 60°C, Pa.s	199	≥ 180
6	G*/sinδ ở 64 °C, kPa	1,80	≥ 1,0

Cốt liệu: Hỗn hợp cốt liệu mới được sử dụng để chế tạo bê tông asphalt bao gồm đá 10-16, đá 5-10, đá 0-5 và bột khoáng. Các loại cốt liệu này được lấy ở các hotbin của trạm trộn thuộc Công ty Cổ phần Đầu tư xây dựng BMT (Tân Cang, Biên Hòa, Đồng Nai). Các chỉ tiêu kỹ thuật của các loại cốt liệu được thể hiện ở Bảng 3 và Bảng 4. Bảng 5 thể hiện thành phần hạt của các loại cốt liệu khác nhau.

Bảng 3. Một số chỉ tiêu kỹ thuật của đá 10-16, đá 5-10 và đá 0-5.

STT	Chỉ tiêu	Kết quả			Yêu cầu kỹ thuật
		Đá 10-16	Đá 5-10	Đá 0-5	
1	Tỷ trọng khối	2,712	2,768	2,667	-
2	Tỷ trọng biểu kiến	2,782	2,854	2,758	-
3	Độ hấp phụ, %	0,929	1,088	1,248	-
4	Mô đun độ lớn	-	-	3,12	
5	Cường độ chịu nén, MPa	110	110	-	Min 80
6	Độ hao mòn Los Angeles, %	12,20	13,45	-	Max 30
7	Độ dính bám với bitum, cấp	Cấp 4	Cấp 4	-	Min cấp 3

Bảng 4. Một số chỉ tiêu kỹ thuật của bột khoáng.

STT	Tên chỉ tiêu	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật
1	Tỷ trọng khối	2,763	-

2	Phân trăm lượng lọt qua sàng, %	0,6 mm	100	100
		0,3 mm	97,9	95-100
		0,075 mm	95,8	70-100
3	Độ ẩm, %		0,26	< 1

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm thành phần hạt của cốt liệu mới và cốt liệu RAP.

Kích thước mắt sàng (mm)	Phân trăm lọt sàng (%)				
	Đá 10-16	Đá 5-10	Đá 0-5	Bột khoáng	Cốt liệu RAP
16	100	100	100	100	100
12,5	64,6	99,0	100	100	96,7
9,5	8,6	82,8	100	100	87,6
4,75	0,4	12,0	84,4	100	44,0
2,36	0	8,3	49,7	100	24,1
1,18	0	7,0	31,2	100	18,5
0,6	0	5,5	21,0	100	13,2
0,3	0	0	13,8	100	10,5
0,15	0	0	9,4	97,9	8,2
0,075	0	0	3,7	95,8	5,7

Trong nghiên cứu này, ba hỗn hợp asphalt được đánh giá bao gồm hỗn hợp asphalt đối chứng không sử dụng RAP (V) và hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 30%RAP (R30) và 50%RAP (R50). Do hỗn hợp asphalt tái chế được thiết kế để đạt được các tính năng tương đương như với hỗn hợp bê tông asphalt nóng truyền thống. Do vậy, các chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp asphalt tái chế nóng được thiết kế cần thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 13567-1-2022. Kết quả tỷ lệ thành phần phối trộn các loại cốt liệu được thể hiện ở Bảng 6. Đối với hỗn hợp asphalt tái chế, việc thiết kế thành phần hỗn hợp vẫn tuân theo trình tự thiết kế như hỗn hợp không có RAP (MS-2, Viện Asphalt, Mỹ [21]). Theo hướng dẫn hướng dẫn của MS-2, vật liệu RAP được gia nhiệt ở nhiệt độ 110°C trong 2 giờ. Nhiệt độ cao hơn hoặc thời gian gia nhiệt dài hơn có thể dẫn đến những thay đổi về tính chất của vật liệu RAP. Cốt liệu mới được gia nhiệt ở nhiệt độ 180-200°C. Để bù cho việc nhiệt độ của RAP thấp hơn, cốt liệu mới nên được gia nhiệt cao hơn nhiệt độ trộn. Nhiệt độ hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nóng cũng đạt được tương đương bê tông asphalt nóng đối chứng. Các chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp theo phương pháp Marshall được thể hiện ở Bảng 7. Kết quả cho thấy, ứng với hàm lượng bitum 5%, các chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp asphalt đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 13567-1-2022.

Bảng 6. Kết quả tính toán thành phần phối trộn cốt liệu.

Loại hỗn hợp	Tỷ lệ phối trộn ứng với loại cốt liệu				
	Đá 10-16	Đá 5-10	Đá 0-5	RAP	Bột khoáng
Hỗn hợp V (0%RAP)	18	30	48	0	4
Hỗn hợp R30 (30%RAP)	16	18	32	30	4
Hỗn hợp R50 (50% RAP)	12	13	22	50	3

Bảng 7. Kết quả thiết kế thành phần các hỗn hợp asphalt.

Chỉ tiêu	Loại hỗn hợp			TCVN 13567-1-2022
	V	R30	R50	
Tổng hàm lượng bitum, %	5	5	5	-
Hàm lượng bitum RAP, %	-	0,9	1,4	-
Hàm lượng bitum mới, %	5	4,1	3,6	-
Tỷ trọng lớn nhất của hỗn hợp asphalt, G_{mm}	2,566	2,557	2,542	-
Tỷ trọng khối của mẫu bê tông asphalt sau đầm nén, G_{mb}	2,456	2,431	2,424	-
Độ rỗng dư, V_a , %	4,28	4,93	4,64	4 - 6
Độ rỗng hỗn hợp vật liệu khoáng, VMA, %	14,8	14,5	14,3	Min 14
Độ rỗng lấp đầy bitum, VFA, %	70,9	66,0	67,8	65 - 75
Độ ổn định Marshall, kN	10,78	12,48	15,55	Min 8,0
Độ dẻo Marshall, mm	3,52	3,31	3,22	1,5 - 4

2.2. Thực nghiệm đánh giá khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe

Trong nghiên cứu này, thiết bị Hamburg Wheel Tracking Device (HWTĐ) được sử dụng để xác định chiều sâu lún vệt hằn bánh xe của các mẫu bê tông asphalt theo tiêu chuẩn AASHTO T324. Các hỗn hợp được hóa già trong tủ sấy 4 giờ ở 135°C trước khi đầm nén theo tiêu chuẩn AASHTO R30 [22]. Sự hóa già này được mô tả là quá trình hóa già ngắn hạn (short-term aging). Quá trình này mô tả sự hoá già xảy ra do hàm lượng nhóm chất dầu nhẹ giảm đi trong quá trình sản xuất, vận chuyển và thi công hỗn hợp asphalt. Sau khi hoá già ngắn hạn, các mẫu được chế bị trong phòng thí nghiệm với kích thước $300 \times 260 \times 50$ mm, độ rỗng dư bằng $7 \pm 1,0$ %. Đối với thí nghiệm Hamburg Wheel Tracking, nhiệt độ thí nghiệm được lựa chọn là 50°C trong môi trường nước với số lượt tác dụng của bánh xe tiêu chuẩn thí nghiệm là 20000 lượt. Chiều sâu độ lún vệt hằn bánh xe cho phép thí nghiệm tối đa là 12,5 mm. Hình 2 thể hiện quá trình thí nghiệm lún vệt hằn bánh xe và mẫu sau khi thí nghiệm.



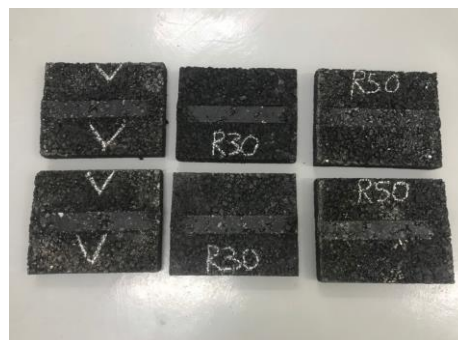
(a) Đầm mẫu



(b) Mẫu thí nghiệm hằn lún vệt bánh xe



(c) Tiến hành thí nghiệm



(d) Mẫu sau khi thí nghiệm hằn lún vết bánh xe

Hình 2. Thí nghiệm hằn lún vết bánh xe.

2.3. Thục nghiệm đánh giá khả năng kháng nứt

Hiện nay để đánh giá sức kháng nứt của bê tông asphalt có thể sử dụng nhiều mô hình khác nhau, việc lựa chọn mô hình thí nghiệm nào sẽ phụ thuộc vào việc đánh giá dạng phá hoại nứt, độ tin cậy của thí nghiệm, tính dễ phổ cập của thí nghiệm. Trong nghiên cứu này, mô hình thí nghiệm kéo gián tiếp (IDEAL-CT) trên mẫu trụ tròn được lựa chọn để đánh giá khả năng kháng nứt thông qua chỉ số kháng nứt (CT_{Index}) theo tiêu chuẩn ASTM D8225-19. Số lượng mẫu cho một tổ mẫu là 4 mẫu. Tổng số mẫu chế bị để thí nghiệm CT_{Index} của các hỗn hợp là 12 mẫu.



(a) Đầm mẫu



(b) Mẫu sau khi đầm

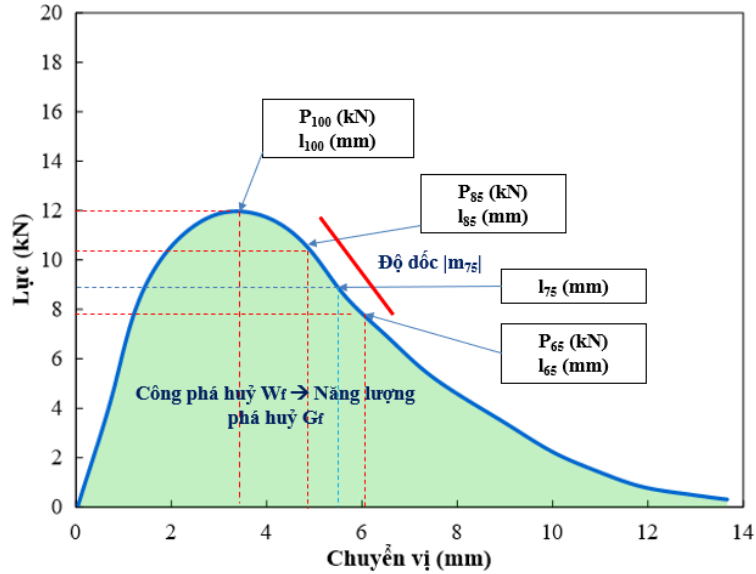


(c) Tiến hành thí nghiệm kháng nứt

Hình 3. Thí nghiệm khả năng kháng nứt.

Thí nghiệm được thực hiện với mẫu có đường kính bằng 150 mm, chiều cao bằng 62 ± 1 mm và độ rỗng dư bằng $7 \pm 0,5$ %. Hỗn hợp sau khi trộn xong cũng sẽ được cho vào trong tủ

sấy 4 giờ ở $135 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ để mô phỏng quá trình hóa già ngắn hạn. Sau đó các hỗn hợp sẽ được đầm để tạo mẫu sử dụng thiết bị đầm xoay. Trước khi thí nghiệm IDEAL-CT, mẫu được bảo ôn tối thiểu 4 giờ ở 25°C , sau đó tiến hành thí nghiệm nén ép chế trên máy nén với tốc độ tăng tải là 50 mm/phút, có thiết bị ghi dữ liệu lực và chuyển vị. Kết quả thí nghiệm thu được của thí nghiệm thể hiện bằng biểu đồ quan hệ giữa lực và chuyển vị như được thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Tính toán chỉ số kháng nứt CT_{Index} .

Từ số liệu biểu đồ lực và chuyển vị sẽ được sử dụng để tính toán chỉ số kháng nứt CT_{Index} . Chỉ số kháng nứt CT_{Index} được xác định theo công thức (1) như sau.

$$CT_{Index} = \frac{t}{62} \times \frac{G_f}{|m_{75}|} \times \left(\frac{l_{75}}{D} \right) \quad (1)$$

trong đó:

G_f là năng lượng phá hủy nứt (J/m^2) được xác định theo công thức (2)

$$G_f = \frac{W_f}{D \times t} \times 10^6 \quad (2)$$

W_f là công phá hoại (J) là vùng diện tích phía dưới của đường cong quan hệ lực – chuyển vị, xác định theo công thức sau:

$$W_f = \sum_{i=1}^{n-1} \left((l_{i+1} - l_i) \times P_i + \frac{1}{2} \times (l_{i+1} - l_i) \times (P_{i+1} - P_i) \right) \quad (3)$$

với P_i – lực (kN) ở vị trí thứ i

P_{i+1} – lực (kN) ở vị trí thứ $i + 1$

l_i – chuyển vị (mm) ở vị trí thứ i

l_{i+1} – chuyển vị (mm) ở vị trí thứ $i + 1$

l_{75} - chuyển vị ứng với lực nén bằng 75% lực nén lớn nhất (mm)

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 (peak load) (mm)

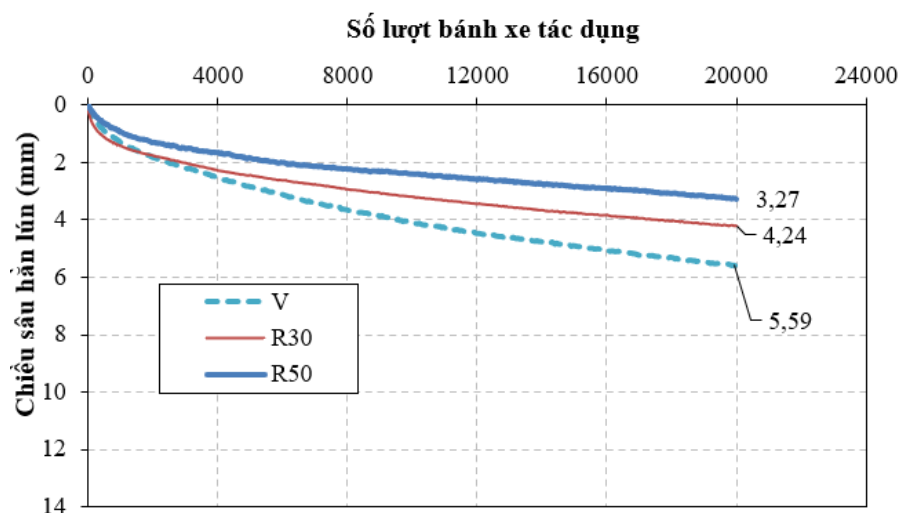
$|m_{75}|$ là giá trị tuyệt đối của độ dốc đường cong lực - chuyển vị sau giá trị lực nén lớn nhất (N/m). Giá trị (P_{85}, l_{85}) và (P_{65}, l_{65}) được xác định như ở Hình 4.

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

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng RAP đến sức kháng hằn lún vết bánh xe

Kết quả thí nghiệm lún hằn vết bánh xe của các hỗn hợp được thể hiện ở Hình 5 và Bảng 8. Bảng 8 thể hiện kết quả chiều sâu lún vết hằn bánh xe của các hỗn hợp asphalt tái chế có hàm lượng RAP khác nhau sau 20000 lượt bánh xe tác dụng với độ chụm đều được đảm bảo. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng, giá trị độ lún của các mẫu thử đều thấp hơn so với giá trị giới hạn tối đa cho phép là 12,5 mm. Ngoài ra, khi gia tăng hàm lượng RAP trong hỗn hợp, chiều sâu độ lún vết bánh xe có xu hướng giảm xuống. Với hỗn hợp asphalt sử dụng 30% RAP và 50% RAP, chiều sâu lún giảm tương ứng 24,2% và 41,5% so với hỗn hợp không có RAP. Như vậy có thể thấy rằng, hỗn hợp asphalt tái chế nóng có sức kháng hằn lún tăng lên khi tăng hàm lượng RAP trong hỗn hợp.



Hình 5. Chiều sâu lún vết hằn bánh xe sau các lượt bánh xe tác dụng.

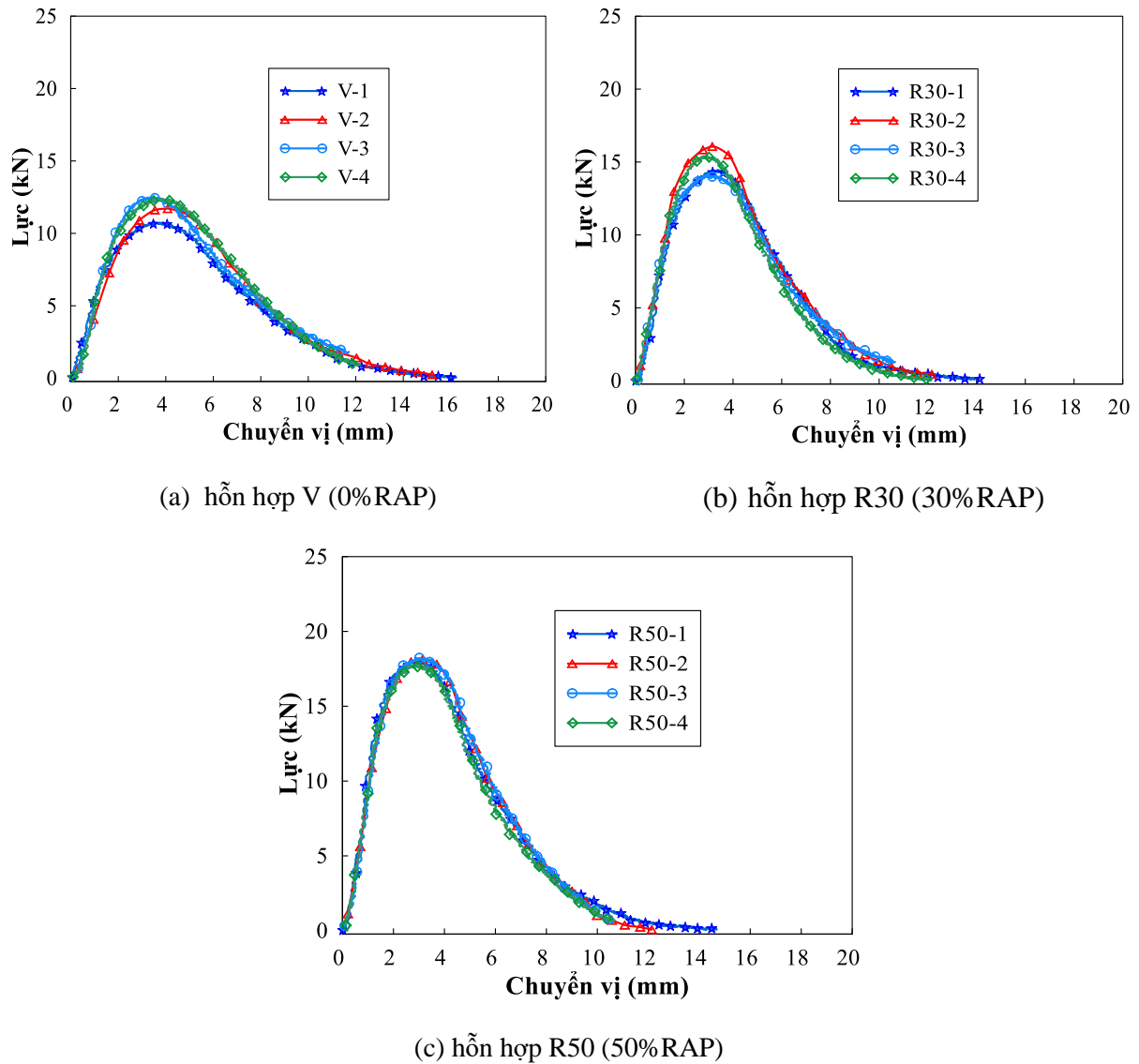
Bảng 8. Kết quả chiều sâu lún vết bánh xe của các mẫu sau 20000 lượt tác dụng.

TT	Chỉ tiêu	Mẫu	V	R30	R50
1	Chiều sâu vết lún bánh xe, mm	1	5,76	3,89	3,24
		2	5,42	4,58	3,30
		TB	5,59	4,24	3,27
2	Khoảng chênh lệch R: max-min	mm	0,34	0,69	0,06
3	Khoảng chấp nhận cho phép, d2s	%	40	40	40

TT	Chỉ tiêu	Mẫu	V	R30	R50
4	Giá trị độ lệch cho phép: TB*(3)	mm	2,24	1,69	1,31
5	Đánh giá: So sánh (2) và (4)	-	Đạt	Đạt	Đạt

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng RAP đến sức kháng nứt

Kết quả thí nghiệm kéo gián tiếp (IDEAL-CT) của các mẫu bê tông được thể hiện bằng đường cong lực-chuyển vị như ở Hình 6. Kết quả cho thấy rằng, có sự khác nhau về đường cong lực-chuyển vị của các loại hỗn hợp bê tông asphalt có hàm lượng RAP khác nhau.



Hình 6. Đường cong lực-chuyển vị của các hỗn hợp.

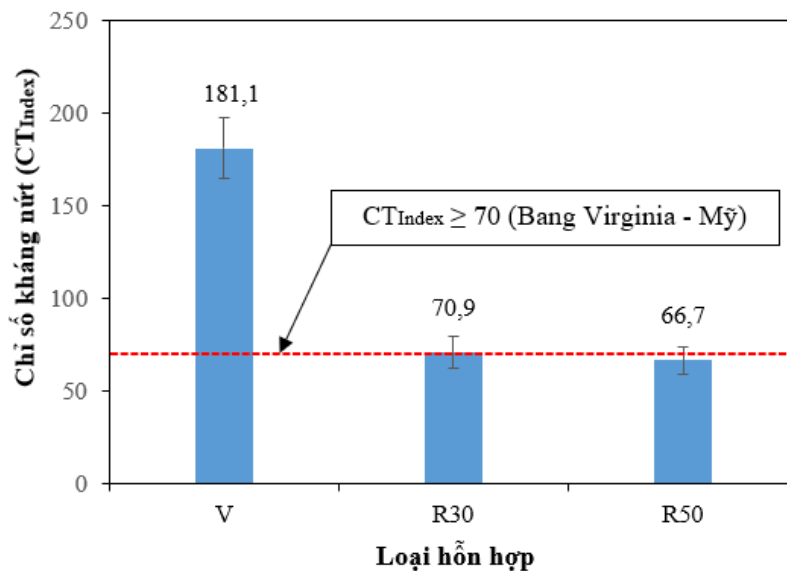
Bảng 9. Kết quả tính toán các thông số kháng nứt theo mô hình thí nghiệm IDEAL-CT.

TT	Ký hiệu mẫu	P_{100} , kN	Chuyển vị l_{75} , mm	Độ dốc $ m_{75} $, N/m	Năng lượng phá hủy G_f , J/m ²	Chỉ số kháng nứt, CT _{Index}
1	V-1	10,8	6,0	2,0	7815,2	159,1
	V-2	12,0	6,1	1,9	8686,6	192,9
	V-3	11,8	6,3	2,1	8465,8	177,1
	V-4	12,4	6,1	1,9	8738,9	195,0
	Trung bình	11,7	6,1	2,0	8426,6	181,1
2	Khoảng chênh lệch R: max-min					35,9
3	Độ lệch chuẩn cho phép, 1s					13,5
4	Giá trị độ lệch cho phép: 3,6x1s					48,6
5	Đánh giá: So sánh (2) và (4)					Đạt
1	R30-1	14,5	5,1	3,6	8215,5	79,6
	R30-2	16,1	4,6	4,9	8981,4	58,8
	R30-3	14,1	5,0	4,0	8439,7	72,5
	R30-4	14,1	5,0	4,0	8439,7	72,5
	Trung bình	14,7	4,9	4,1	8519,1	70,9
2	Khoảng chênh lệch R: max-min					20,9
3	Độ lệch chuẩn cho phép, 1s					13,5
4	Giá trị độ lệch cho phép: 3,6x1s					48,6
5	Đánh giá: So sánh (2) và (4)					Đạt
1	R50-1	18,0	4,6	4,8	10395,1	69,1
	R50-2	18,2	5,0	4,6	10348,2	76,2
	R50-3	17,1	4,2	4,0	8525,8	62,1
	R50-4	17,8	4,6	5,1	9728,3	59,6
	Trung bình	17,8	4,6	4,6	9749,4	66,7
2	Khoảng chênh lệch R: max-min					16,5
3	Độ lệch chuẩn cho phép, 1s					13,5
4	Giá trị độ lệch cho phép: 3,6x1s					48,6
5	Đánh giá: So sánh (2) và (4)					Đạt

Bảng 9 thể hiện kết quả tính toán các thông số kháng nứt từ đường cong lực – chuyển vị theo mô hình thí nghiệm IDEAL với độ chụm đều được đảm bảo theo yêu cầu của tiêu chuẩn ASTM C670 [23]. Kết quả cho thấy, khi tăng hàm lượng RAP trong hỗn hợp, giá trị lực nén lớn nhất (peak load – P_{100}) tăng lên. Giá trị P_{100} đạt được lần lượt là 11,7 ; 14,7 và 17,8 kN

trương ứng với hỗn hợp sử dụng 0%RAP (V), 30%RAP (R30) và 50%RAP (R50). Trong khi đó, giá trị chuyển vị ứng với giá trị lực lớn nhất (l_{100}) có xu hướng giảm. Giá trị chuyển vị l_{100} có giá trị lần lượt là 6,1 mm; 4,9 mm và 4,6 mm tương ứng với hỗn hợp sử dụng 0%RAP (V), 30%RAP (R30) và 50%RAP (R50). Giá trị độ dốc sau khi đạt được lực lớn nhất ($|m_{75}|$) có xu hướng gia tăng khi tăng hàm lượng RAP sử dụng trong hỗn hợp. Điều này cho thấy rằng, hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng RAP trở nên cứng và giòn hơn so với hỗn hợp asphalt đối chứng. Nguyên nhân này có thể được giải thích do sự có mặt của bitum cũ bị hóa già trong vật liệu RAP. Kết quả này cũng thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm hằn lún vết bánh xe của các hỗn hợp asphalt. Khả năng kháng nứt của bê tông asphalt được đánh giá thông qua các chỉ số kháng nứt CT_{Index} . Khi chỉ số kháng nứt càng lớn cho thấy hỗn hợp asphalt có khả năng kháng nứt càng cao. Đối với hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng RAP, chỉ số CT_{Index} được yêu cầu tối thiểu là 70 theo báo cáo của Bang Virginia, Mỹ [24]. Kết quả từ Bảng 9 và Hình 7 cho thấy rằng, có sự giảm đáng kể về chỉ số CT_{Index} của hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng RAP so với hỗn hợp asphalt không sử dụng RAP (0%RAP), chỉ số kháng nứt giảm 60,8% và 63,1% tương ứng với hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng từ 30% RAP và 50% RAP.

Như vậy, kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, với hỗn hợp asphalt sử dụng RAP đã cải thiện được sức kháng hằn lún vết bánh xe, nhưng khả năng kháng nứt giảm xuống. Hàm lượng RAP 30% có thể được sử dụng cho hỗn hợp asphalt tái chế. Tuy nhiên, với hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng 50%RAP, chỉ số kháng nứt CT_{Index} thấp hơn so với ngưỡng giới hạn quy định bởi Bang Virginia, Mỹ. Do vậy, để cân bằng giữa sức kháng hằn lún vết bánh xe và sức kháng nứt, một số giải pháp có thể được áp dụng như sử dụng phụ gia tái sinh để làm mềm hóa bitum lão hóa trong RAP hoặc sử dụng bitum mềm hơn (cấp PG - Performance Grade thấp hơn).



Hình 7. Chỉ số kháng nứt CT_{Index} của các hỗn hợp.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sức kháng hằn lún vết bánh xe và sức kháng nứt của hỗn hợp asphalt có hàm lượng RAP lần lượt là 0%, 30% và 50%, một số kết luận sau được đưa ra:

Hỗn hợp asphalt tái chế nóng có khả năng kháng hàn lún tốt hơn khi tăng hàm lượng RAP sử dụng trong hỗn hợp. Chiều sâu lún vết bánh xe của hỗn hợp asphalt sử dụng 30% RAP và 50% RAP giảm tương ứng 24,2% và 41,5% so với hỗn hợp đối chứng không có RAP (0% RAP).

Khả năng kháng nứt của bê tông asphalt tái chế nóng giảm khi gia tăng hàm lượng RAP sử dụng trong hỗn hợp. So với hỗn hợp asphalt không sử dụng RAP (0%RAP), chỉ số kháng nứt CT_{Index} giảm 60,8% và 63,1% tương ứng với hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng từ 30% RAP và 50% RAP.

Việc sử dụng vật liệu RAP cũng như hàm lượng RAP đưa vào hỗn hợp cần đảm bảo cân bằng giữa khả năng kháng nứt và khả năng kháng hàn lún của hỗn hợp asphalt tái chế. Hiện nay, một số cách tiếp cận cho phép gia tăng sử dụng vật liệu RAP mà không làm suy giảm các đặc tính độ bền như sử dụng bitum mới mềm hơn (cấp PG thấp hơn), sử dụng phụ gia tái sinh (rejuvenator), hay áp dụng công nghệ asphalt ấm (WMA - warm mix asphalt), hoặc kết hợp của các phương pháp. Trong các nghiên cứu tiếp theo, sẽ đề xuất giải pháp sử dụng phụ gia tái sinh để cải thiện khả năng kháng nứt của hỗn hợp asphalt tái chế sử dụng với hàm lượng RAP cao.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giao thông vận tải trong Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ, mã số DT2304.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. P. Dahhan, D. Gallagher, NAPA Scanning Tour of Japan, 2018.
- [2]. Information Series 138, Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage, NAPA, 2020.
- [3]. European Asphalt Pavement Association (EAPA), Key Figures of the European Asphalt industry in 2018, 2018.
- [4]. A. Sharma, G. R. Rongmei Naga, P. Kumar, P. Rai, Mix design, development, production and policies of recycled hot mix asphalt: A review, J. Traffic Transp. Eng., 9 (2022) 765–794, [https://doi: 10.1016/j.jtte.2022.06.004](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.06.004)
- [5]. A. Bonicelli, P. Calvi, G. Martinez-Arguelles, L. Fuentes, F. Giustozzi, Experimental study on the use of rejuvenators and plastomeric polymers for improving durability of high RAP content asphalt mixtures, Constr. Build. Mater., 155 (2017) 37–44, [doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.013](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.013)
- [6]. IRC 120, Recommended practice for recycling of bituminous, India, 2022. [Available: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Recommended Practice for Recycling of Bituminous Pavements. IRC%3A 120&author=IRC&publication_year=2015](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Recommended+Practice+for+Recycling+of+Bituminous+Pavements.+IRC%3A+120&author=IRC&publication_year=2015)
- [7]. Manual 16/TRH 21 - Sabita, Use of reclaimed asphalt in the production of asphalt, 2017, pp. 1–54. [Available: http://www.sabita.co.za/wp-content/uploads/2021/03/sabitamanual-36-trh-21.pdf](http://www.sabita.co.za/wp-content/uploads/2021/03/sabitamanual-36-trh-21.pdf)
- [8]. FHWA, Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method: technician's manual, National Asphalt Pavement Association, 2022. [Available: https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/15417](https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/15417)
- [9]. M. S. Sondag, B. A. Chadbourn, A. Drescher, Investigation of Recycled Asphalt Pavement (RAP) Mixtures, Center for Transportation Studies, Research Reports, 2022. [Available: https://www.cts.umn.edu/publications/report/investigation-of-recycled-asphalt-pavement-rap-mixtures](https://www.cts.umn.edu/publications/report/investigation-of-recycled-asphalt-pavement-rap-mixtures)

- [10]. R. Izaks, V. Haritonovs, I. Klasa, M. Zaumanis, Hot Mix Asphalt with High RAP Content, *Procedia Eng.*, 114 (2015) 676–684. <https://doi: 10.1016/J.PROENG.2015.08.009>
- [11]. J. R. Willis, M. Marasteanu, Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management Practices for Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content, 2013. <https://doi: 10.17226/22554>
- [12]. J. Lee, E. Denneman, Y. Choi, Maximising the re-use of reclaimed asphalt pavement: outcomes of year two: RAP mix design, *Austrroads*, 2015, pp. 1-60. <Available: www.austrroads.com.au>
- [13]. W. Mogawer, T. Bennert, J. S. Daniel, R. Bonaquist, A. Austerman, A. Booshehrian, Performance characteristics of plant produced high RAP mixtures, 13 (2012) 183–208. <https://doi: 10.1080/14680629.2012.657070>
- [14]. W. S. Mogawer, A. Booshehrian, S. Vahidi, A. J. Austerman, Evaluating the effect of rejuvenators on the degree of blending and performance of high RAP, RAS, and RAP/RAS mixtures, *Road Mater. Pavement Des.*, 14 (2013) 193–213. <https://doi: 10.1080/14680629.2013.812836>
- [15]. Tex–248–F, Test Procedure for Overlay Test, Texas Department of Transportation, 2007.
- [16]. ASTM D8225, Standard Test Method for Determination of Cracking Tolerance Index of Asphalt Mixture Using the Indirect Tensile Cracking Test at Intermediate Temperature, American Society for Testing and Materials, 2019. <Available: https://www.astm.org/d8225-19.html>
- [17]. AASHTO T324, Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA), American Association of State Highway and Transportation Officials, 2023.
- [18]. Trương Văn Quyết, Nguyễn Ngọc Lân, Đào Văn Đông, Phạm Minh Trang, Ảnh hưởng của phụ gia tái sinh đến độ kim lún và nhiệt độ hoá mềm của bitum hỗn hợp, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 74 (2023) 175-185. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.7>
- [19]. Trương Văn Quyết, Nguyễn Ngọc Lân, Đào Văn Đông, Phạm Duy Hữu, Lương Xuân Chiểu, Nghiên cứu một số đặc tính lưu biến của bitum hỗn hợp sử dụng phụ gia tái sinh gốc dầu mỏ bằng thiết bị cắt động lưu biến, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 74 (2023) 655-670. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.5.8>
- [20]. TCVN 13567-1-2022, Lốp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng - Thi công và nghiệm thu - Phần 1: Bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường thông thường, Tiêu chuẩn Việt Nam, 2022.
- [21]. Asphalt Institute, Asphalt Mix Design Methods, 7th Edition MS-2, 2014.
- [22]. AASHTO R30, Standard Practice for Laboratory Conditioning of Asphalt Mixtures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022.
- [23]. ASTM C670, Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials, American Society for Testing and Materials. <Available: https://www.astm.org/c0670-15.html>
- [24]. Virginia Transportation Research Council, Special Provision for High RAP content surface mixtures designed using performance criteria, Virginia Department of Transportation, 2018.