

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ MỘT SỐ TÍNH NĂNG CỦA BÊ TÔNG ASPHALT TÁI CHẾ NGUỘI

Nguyễn Ngọc Lân^{a,*}, Lư Thị Yến^b

^a*Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải,
03 phố Cầu Giấy, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải,
54 phố Triều Khúc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 07/10/2021, Sửa xong 08/11/2021, Chấp nhận đăng 10/11/2021

Tóm tắt

Tái chế nguội vật liệu mặt đường asphalt cũ (Reclaimed Asphalt Pavement - RAP) là một giải pháp công nghệ “vật liệu xanh” phát triển bền vững. Để tái chế nguội RAP, có thể sử dụng công nghệ tái chế tại chỗ (Cold In-place Recycling - CIR) hoặc tái chế tại trạm trộn theo công nghệ Cold Central Plant Recycling (CCPR). Công nghệ CIR đã được sử dụng khá phổ biến ở Việt Nam hiện nay, tuy nhiên công nghệ CCPR vẫn chưa được nghiên cứu ứng dụng nhiều. Nghiên cứu này đưa ra kết quả thiết kế thành phần và thực nghiệm đánh giá một số tính năng của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội sử dụng nhũ tương và xi măng trong phòng thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, hỗn hợp tái chế nguội đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật để làm lớp móng hoặc lớp mặt đường ô tô. Ngoài ra, các hiệu quả về mặt môi trường đạt được của công nghệ CCPR tốt hơn so với công nghệ bê tông asphalt tái chế nóng và tái chế ẩm.

Từ khoá: tái chế asphalt; tái chế asphalt nguội tại chỗ; tái chế asphalt nguội tại trạm.

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF COLD-MIX RECYCLED ASPHALT CONCRETE

Abstract

Cold recycling of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is a sustainable development “green material” technology solution. For cold recycling of RAP, it is possible to use Cold In-place Recycling (CIR) or Cold Central Plant Recycling (CCPR) technology. CIR technology has been used quite commonly in Vietnam, however, CCPR technology has not been researched and applied. This study presents the results of component design and experimental results to evaluate performances of cold recycled asphalt mixtures using emulsion and cement in the laboratory. The research results show that the cold recycled mixture meets the technical requirements for a base course or binder course of pavement. In addition, the environmental effects achieved by CCPR technology are better than those of hot mix asphalt and warm asphalt with RAP technologies.

Keywords: reclaimed asphalt pavement; cold in-place recycling; cold central plant recycling.

[https://doi.org/10.31814/stce.huice\(nuce\)2021-15\(6V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.huice(nuce)2021-15(6V)-10) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Đặt vấn đề

Tái chế vật liệu cào bóc mặt đường bê tông asphalt cũ RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) là một trong những giải pháp công nghệ đem lại hiệu quả để cải tạo mặt đường. Tái chế RAP ngày càng được sử dụng nhiều hơn vì những ưu điểm như: giảm chi phí xây dựng, bảo tồn nguồn cốt liệu và chất kết dính, bảo tồn cao độ mặt đường hiện có, bảo vệ môi trường, bảo tồn năng lượng. Bốn phương pháp tái

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: nguyennngoclan@utc.edu.vn (Lân, N. N.)

chế chính được sử dụng phổ biến nhất theo hiệp hội tái chế asphalt (ARRA) là tái chế nóng tại trạm, tái chế nóng tại chỗ, tái chế nguội tại trạm và tái chế nguội tại chỗ. Việc lựa chọn giải pháp kỹ thuật cụ thể phụ thuộc vào các vấn đề về kỹ thuật (như tình trạng hư hỏng của mặt đường và sức chịu tải còn lại), tính chủ động của các thiết bị cần thiết, kinh nghiệm của nhà thầu, chi phí ban đầu, tác động của việc thi công đến giao thông và chi phí bảo trì dài hạn.

Trong các phương pháp tái chế, tái chế nguội là một giải pháp công nghệ tái chế đem lại hiệu quả về kinh tế do không phải gia nhiệt vật liệu cào bóc mặt đường bê tông asphalt cũ RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) trong quá trình sản xuất. Các nghiên cứu ứng dụng được thực hiện ở Mỹ cho thấy, giải pháp công nghệ này không chỉ đem lại hiệu quả trong việc hạn chế biến dạng hằn lún vệt bánh xe và nứt mối của mặt đường asphalt mà còn tăng hiệu quả và giảm chi phí vòng đời sử dụng của kết cấu mặt đường, bảo tồn nguồn tài nguyên không tái tạo và năng lượng [1–6]. Do có những giá trị hiệu quả về kinh tế và tính bền vững, nên công nghệ tái chế nguội vật liệu RAP hiện đang được ứng dụng ngày càng nhiều ở Mỹ cho những kết cấu mặt đường ô tô cấp cao. Hiện nay, hai công nghệ tái chế nguội vật liệu RAP đang được sử dụng phổ biến đó là: (i) công nghệ tái chế nguội tại chỗ (Cold In-place Recycling - CIR) và (ii) công nghệ tái chế nguội tại trạm trộn cố định (Cold Central Plant Recycling - CCPR). Các vật liệu được sử dụng cho công nghệ asphalt tái chế nguội bao gồm chất kết dính bitum bột hoặc nhũ tương, các chất phụ gia hóa học (ví dụ: vôi thủy hoá, xi măng hoặc tro bay) và nước.

Với nhiều kinh nghiệm thực tế trong lĩnh vực tái chế nguội, Hiệp hội tái chế RAP (ARRA, 2015) đã phát triển các phương pháp thiết kế hỗn hợp mới cho hỗn hợp asphalt tái chế nguội sử dụng chất kết dính asphalt dạng bột và nhũ tương kết hợp với phụ gia để làm lớp móng mặt đường. Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá mô đun đàn hồi động $|E^*|$ của các hỗn hợp tái chế nguội sử dụng nhũ tương, bitum bột và xi măng cho thấy, hỗn hợp tái chế nguội ít phụ thuộc vào nhiệt độ và tần số hơn so với hỗn hợp asphalt nóng [7–11]. Ngoài ra, nghiên cứu của Niazi và Jalili, Khosravifar và các cộng sự đã chứng minh được hiệu quả cải thiện sức kháng hằn lún vệt bánh xe của hỗn hợp tái chế nguội bằng nhũ tương và xi măng [8, 12]. Nghiên cứu đánh giá sức kháng mỏi của hỗn hợp tái chế nguội [13, 14] đã chỉ ra rằng, đặc tính mỏi của hỗn hợp dùng bitum bột và nhũ tương đạt được tương tự như đối với hỗn hợp bê tông asphalt nóng. Diefenderfer và cộng sự (2012, 2016) đã đánh giá các dự án sử dụng công nghệ CCPR ở đường cao tốc I-81 thuộc Bang Virginia và đoạn đường thử nghiệm ở Trung tâm Công nghệ asphalt Quốc gia Hoa Kỳ (NCAT). Kết quả cho thấy, tất cả các đoạn đường thử nghiệm có lớp móng là hỗn hợp CCPR có độ lún khoảng 7,35 mm và trên bề mặt đường vẫn chưa xuất hiện vết nứt tại thời điểm 2 năm khai thác sau khi thi công xong. Vào tháng 6 năm 2021, Hội thảo báo cáo các kết quả thử nghiệm ở NCAT (NCAT Test Track Conference 7th) với nhiều báo cáo đánh giá về tính năng dài hạn các đoạn đường thử nghiệm công nghệ CCPR sau 9 năm thi công và khai thác [15]. Nhìn chung những đoạn kết cấu thử nghiệm công nghệ CCPR từ năm 2012 đến thời điểm khảo sát đánh giá là cuối năm 2020, các chỉ tiêu tính năng khai thác vẫn đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật sau 29,9 triệu trục xe tiêu chuẩn tác dụng. Các kết quả quan trắc ở những đoạn kết cấu thử nghiệm bằng công nghệ CCPR vẫn sẽ được tiếp tục đánh giá ở những chu kỳ tiếp theo.

Như vậy, các nghiên cứu đã cho thấy được hiệu quả về mặt kỹ thuật của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội theo công nghệ CIR và công nghệ CCPR trên thế giới. Với công nghệ CIR, Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn TCVN 13150 để hướng dẫn việc thiết kế thành phần, thi công và nghiệm thu vào năm 2020 [16, 17]. Nhược điểm lớn nhất của công nghệ asphalt tái chế nguội tại chỗ CIR là việc kiểm soát chất lượng hỗn hợp còn nhiều hạn chế, số lượng máy móc thiết bị huy động cho công nghệ nhiều vì toàn bộ quá trình sản xuất và thi công hỗn hợp được thực hiện ngay tại chỗ, do vậy, trong một số trường hợp việc sử dụng công nghệ này sẽ kém hiệu quả cả về mặt kinh tế và kỹ thuật [18]. Trong khi đó với công nghệ CCPR sẽ giúp cho việc kiểm soát và đảm bảo chất lượng hỗn hợp được tốt hơn

và chủ động hơn cho các ứng dụng, thiết bị thi công hoàn toàn giống như công nghệ asphalt truyền thống [18]. Tác giả Tuấn và cs., [19] đã có những nghiên cứu bước đầu về hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội sử dụng 70% cốt liệu mới phối trộn với 30% cốt liệu RAP và nhũ tương CSS-1h. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra được tỷ lệ nhũ tương tối ưu của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội được thiết kế theo hướng dẫn của MS-21 là 8,6% theo khối lượng hỗn hợp.

Có thể thấy rằng, hiện nay công nghệ asphalt tái chế nguội được coi là một giải pháp công nghệ phục hồi bền vững và hiệu quả về chi phí. Tuy nhiên, những nghiên cứu so sánh hiệu quả của công nghệ tái chế nguội tại chỗ và tái chế nguội tại trạm trộn về tính năng kỹ thuật, chi phí vòng đời và lợi ích môi trường vẫn còn hạn chế. Những so sánh này sẽ có lợi cho những cơ quan quản lý, nhà đầu tư, nhà thầu lựa chọn công nghệ tái chế nguội phù hợp cho lưu lượng giao thông, môi trường và kết cấu mặt đường nhất định. Xuất phát từ yêu cầu thực tế này, báo cáo trình bày kết quả nghiên cứu bước đầu đánh giá tính năng của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội theo công nghệ CCPR trong phòng thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu đã thiết kế được thành phần hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội có các chỉ tiêu kỹ thuật đáp ứng được theo yêu cầu của tiêu chuẩn AASHTO MP 31. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm cho thấy, các tính năng của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội đều đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật cho lớp móng hoặc lớp mặt đường ô tô.

2. Vật liệu chế tạo

2.1. Vật liệu cào bóc mặt đường asphalt cũ RAP

Vật liệu RAP được cào bóc từ mặt đường bê tông asphalt cũ, loại bê tông asphalt cũ là bê tông asphalt chặt có kích thước hạt lớn nhất danh định là 12,5 mm. Sau khi đã có mẫu vật liệu RAP tiến hành nghiên, xử lý và xác định những chỉ tiêu quan trọng. Hình 1 thể hiện vật liệu RAP được nghiên trong phòng thí nghiệm Bộ môn Vật liệu xây dựng, Trường Đại học GTVT.



(a) Quá trình nghiền RAP



(b) RAP sau khi nghiền sàng

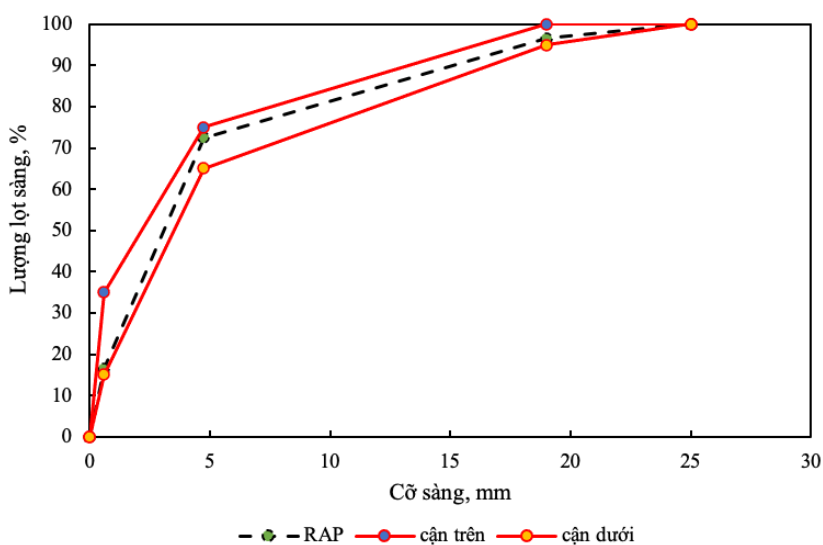
Hình 1. Xử lý vật liệu RAP trong phòng thí nghiệm

RAP có vai trò quan trọng trong hỗn hợp vật liệu tái chế, đóng vai trò là bộ khung chịu lực. Để làm tốt vai trò này, cốt liệu RAP phải đảm bảo tính chất về thành phần hạt được quy định trong tại Bảng 1. Đường cấp phối hạt của vật liệu RAP thông thường là cấp phối đều và chặt thỏa mãn tiêu chuẩn AASHTO-MP 31 [20].

Bảng 1. Bảng thành phần cấp phối hạt theo AASHTO-MP31 [20]

Cỡ sàng	Hàm lượng lọt sàng, %
31,5 mm (1,25 in)	100
25 mm (1 in)	100
19 mm (3/4 in)	95-100
4,75 mm	65-75
600 μ m	15-35

Vật liệu RAP sau khi nghiền, được tiến hành chiết tách bỏ bitum và kiểm tra thành phần hạt. Kết quả được thể hiện như ở Hình 2. Có thể nhận thấy, thành phần hạt của RAP sau khi nghiền đảm bảo theo yêu cầu của AASHTO MP 31.



Hình 2. Thành phần hạt của RAP sau khi nghiền

2.2. Phụ gia khoáng

Nghiên cứu sử dụng phụ gia là xi măng portland hỗn hợp PCB30 với các chỉ tiêu đáp ứng theo yêu cầu của AASHTO MP31. Theo khuyến cáo của tiêu chuẩn AASHTO PP86 và ARRA-CR201, lựa chọn hàm lượng xi măng từ 0,25 đến 2,5% theo khối lượng RAP. Theo AASHTO PP86 và trong quá trình trộn có điều chỉnh, nghiên cứu lựa chọn được hàm lượng xi măng theo kinh nghiệm là 1,5% (so với khối lượng khô của RAP) [21].

2.3. Nước

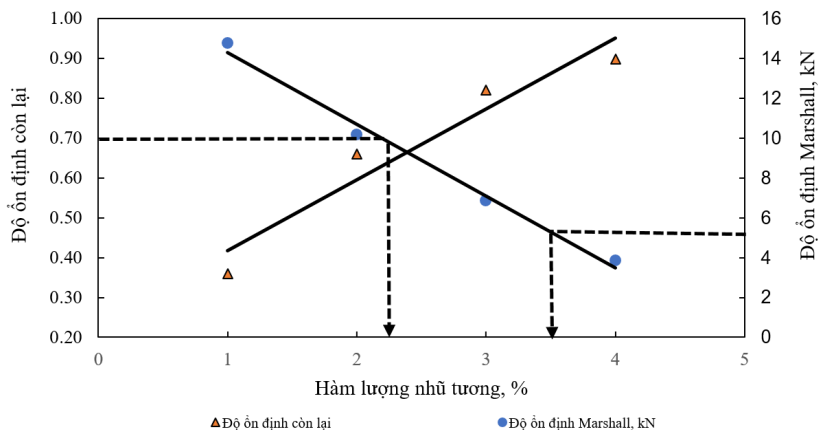
Nước được sử dụng cho hỗn hợp tái chế với vai trò cải thiện độ chặt đầm nén. Nước dùng để trộn phải là nước sạch và có các chỉ tiêu kỹ thuật phù hợp với AASHTO MP 31. Theo khuyến cáo của tiêu chuẩn AASHTO PP86 và ARRA_CR201 lựa chọn hàm lượng nước từ 1,5 đến 3,5 phần trăm theo khối lượng khô của RAP [22]. Theo AASHTO PP86 và trong quá trình trộn có thể điều chỉnh hàm lượng nước lựa chọn theo kinh nghiệm.

2.4. Nhũ tương

Nhũ tương sử dụng trong nghiên cứu là loại CSS-1h. Chọn bốn hàm lượng nhũ tương sơ bộ lần lượt là 1, 2, 3, và 4,0% với các bước tăng dần 1,0% bao gồm một phạm vi thường từ 1,0% đến 4,0% khối lượng khô của RAP [20]. Từ những hàm lượng nhũ tương lựa chọn trên, tiến hành đúc mẫu thí nghiệm xác định các chỉ tiêu thỏa mãn theo quy định AASHTO MP31.

2.5. Kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp

Trên cơ sở các tỷ lệ thành phần sơ bộ lựa chọn, nghiên cứu tiến hành đúc mẫu theo hướng dẫn của ARRA-CR201, sau đó thí nghiệm Marshall và độ ổn định Marshall còn lại. Kết quả thí nghiệm được thể hiện ở Hình 3. Căn cứ vào yêu cầu kỹ thuật của AASHTO MP31, nghiên cứu xác định được khoảng hàm lượng nhũ tương thỏa mãn độ ổn định Marshall và độ ổn định còn lại của hỗn hợp tái chế nguội là 2,3-3,8%.



Hình 3. Khoảng hàm lượng nhũ tương thỏa mãn độ ổn định Marshall và độ ổn định còn lại

Nghiên cứu lựa chọn hàm lượng nhũ tương là 3,2% để kiểm tra lại các chỉ tiêu kỹ thuật, kết quả thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 2. Kết quả thí nghiệm thể hiện ở Bảng 2 đều thỏa mãn theo yêu cầu kỹ thuật quy định của AASHTO MP31.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm độ ổn định Marshall và độ ổn định còn lại ứng với hàm lượng nhũ tương 3,2%

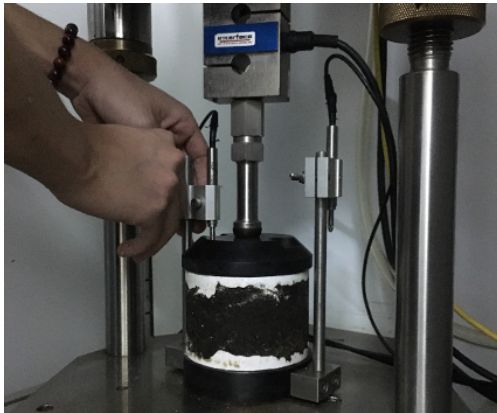
STT	Tên mẫu	Lực nén Marshall (kN)	Chiều cao (mm)	Hệ số K	Độ ổn định Marshall (kN)	Độ ổn định còn lại
1	C3,2-1k	9,96	66,9	0,924	9,2	0,82
2	C3,2-2k	9,23	67,5	0,911	8,4	
3	C3,2-3k	9,14	68,1	0,897	8,2	
					8,6	
4	C3,2-1bh	7,37	68,1	0,897	6,6	
5	C3,2-2bh	7,86	68,4	0,888	7,0	
6	C3,2-3bh	8,4	67,9	0,899	7,6	
					7,0	

3. Kết quả thí nghiệm và phân tích đánh giá một số tính năng của hỗn hợp

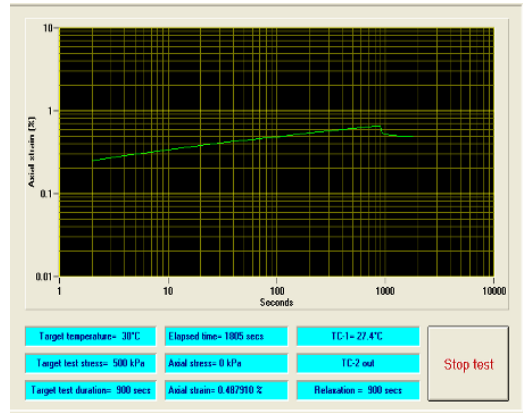
Trên cơ sở tỷ lệ thành phần hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội sơ bộ đã được xác định, nghiên cứu tiến hành thí nghiệm đánh giá một số tính năng của hỗn hợp trong phòng thí nghiệm.

3.1. Nghiên cứu đánh giá mô đun đàn hồi tĩnh theo mô hình nén từ biến

Mô đun đàn hồi tĩnh được thí nghiệm theo mô hình nén từ biến và tham khảo theo phụ lục C của tiêu chuẩn 22 TCN 211:2006 [23], bằng cách nén mẫu trụ tròn có đường kính bằng 100 mm, chiều cao bằng $101 \pm 2,0$ mm trong điều kiện nở hông tự do (Hình 4). Số mẫu thí nghiệm của một tổ mẫu ứng với mỗi nhiệt độ là 03 mẫu.



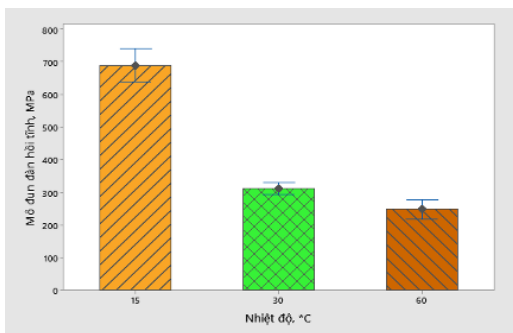
(a) Lắp đầu đo chuyển vị



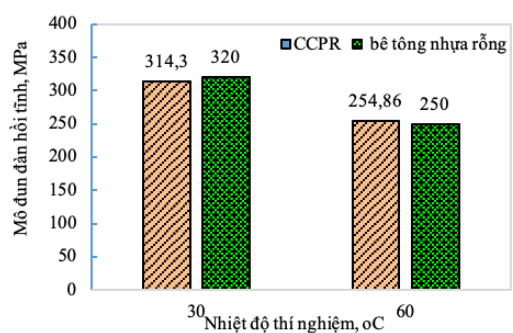
(b) Quan hệ biến dạng-thời gian

Hình 4. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tĩnh

Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh của các mẫu thử ở 15 °C, 30 °C và 60 °C được thể hiện như ở Hình 5(a).



(a) Mô đun đàn hồi tĩnh của hỗn hợp CCPR



(b) So sánh mô đun đàn hồi của hỗn hợp CCPR so với hỗn hợp BTAR

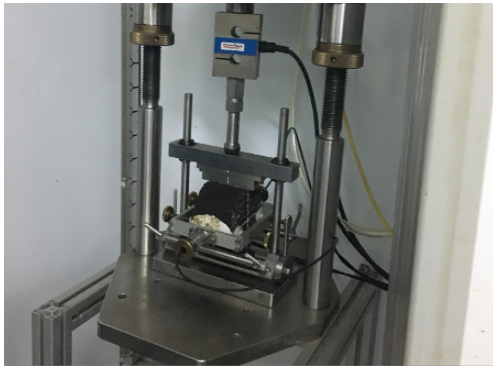
Hình 5. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh

Kết quả thí nghiệm thể hiện như ở Hình 5(a) cho thấy, mô đun đàn hồi tĩnh của các mẫu thí nghiệm giảm khi nhiệt độ thí nghiệm tăng lên. Cụ thể, mô đun ở 30 °C giảm 54,4%, ở 60 °C giảm 63,02% so với giá trị mô đun đàn hồi tĩnh ở 15 °C. Kết quả này thể hiện đúng bản chất của vật liệu đàn nhớt.

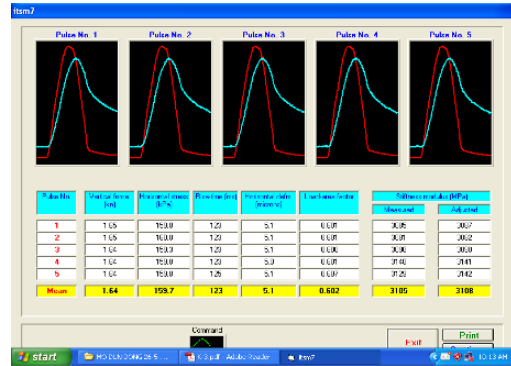
So sánh kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh ở 30 °C và 60 °C của hỗn hợp tái chế nguội so với hỗn hợp bê tông asphalt rỗng để làm lớp móng kết cấu áo đường mềm [23] thể hiện như ở Hình 5(b). Kết quả so sánh thể hiện như ở Hình 6 cho thấy, hỗn hợp tái chế nguội và bê tông asphalt rỗng có giá trị mô đun đàn hồi tĩnh chênh lệch không hề đáng kể. Cụ thể, mô đun đàn hồi tĩnh của hỗn hợp tái chế nguội ở 30 °C chỉ thấp hơn khoảng 1,78%, ở nhiệt độ 60 °C cao hơn khoảng 1,9% so với mô đun đàn hồi tĩnh của bê tông asphalt rỗng. Với kết quả này cho thấy, vật liệu CCPR hoàn toàn có thể được sử dụng cho lớp móng trên hoặc lớp mặt dưới của kết cấu áo đường.

3.2. Nghiên cứu đánh giá mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp (M_R)

Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi động theo mô hình thí nghiệm kéo gián tiếp tải trọng lặp được thí nghiệm theo EN 12697-26 [24]. Theo tiêu chuẩn thí nghiệm, mẫu thử có đường kính bằng 101 mm, chiều cao bằng $64 \pm 2,0$ mm, nhiệt độ thí nghiệm được lựa chọn là 20 °C và 30 °C, số lượng mẫu thí nghiệm của một tổ mẫu ứng với mỗi nhiệt độ là 3 mẫu. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi động kéo gián tiếp tải trọng lặp (M_R) được sử dụng để thiết kế kết cấu áo đường mềm theo tiêu chuẩn AASHTO 93 [25]. Thí nghiệm được thể hiện như ở Hình 6.

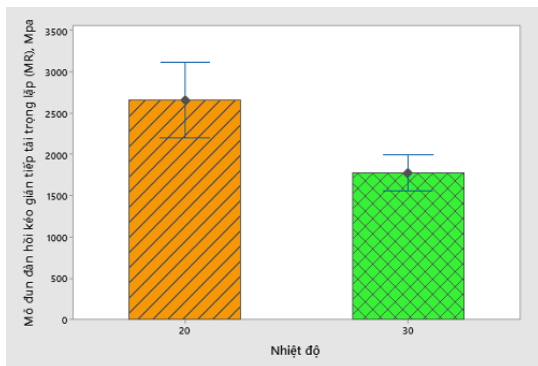


(a) Mẫu thí nghiệm M_R

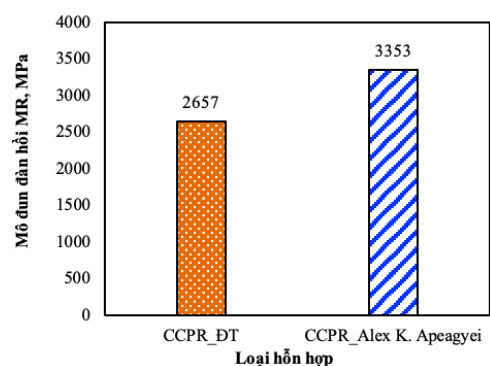


(b) Đường cong lực – chuyển vị

Hình 6. Thí nghiệm mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp



(a) Kết quả M_R của hỗn hợp ở 20 °C và 30 °C



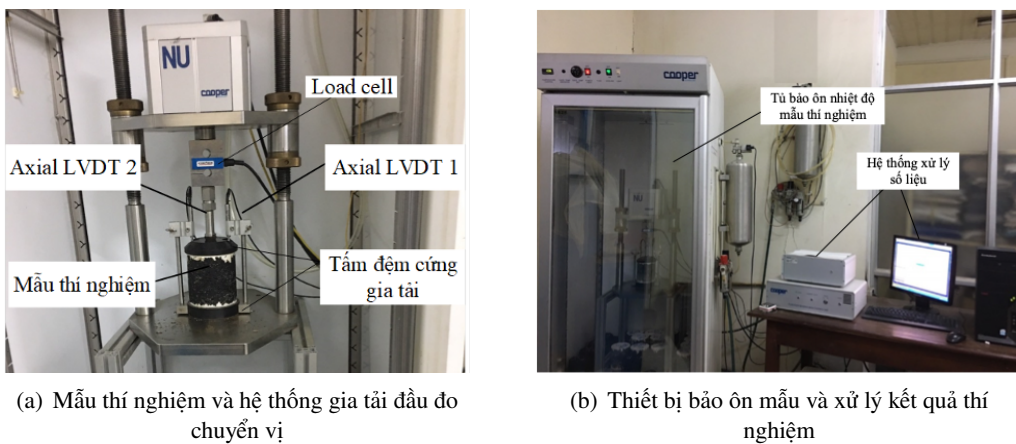
(b) So sánh giá trị M_R thí nghiệm với kết quả nghiên cứu của Apeageyi và cs. ở 20 °C

Hình 7. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh

Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp (M_R) của các tổ mẫu ở nhiệt độ 20 °C và 30 °C được thể hiện ở Hình 7(a). Từ kết quả thí nghiệm M_R thể hiện như ở Hình 7b cho thấy, giá trị mô đun kéo gián tiếp tải trọng lặp của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội ở 20 °C đạt trung bình là 2657 (MPa), giá trị này nằm trong khoảng giá trị quy định tham khảo của AASHTO 93 [25]. Ở 30 °C giá trị mô đun kéo gián tiếp tải trọng lặp của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội giảm xuống 33,2%. So với kết quả M_R của tác giả Apeagyei và cs. [26], kết quả M_R của đề tài nghiên cứu thấp hơn 20%. Kết quả này đòi hỏi cần có thêm nghiên cứu cải tiến để nâng cao giá trị M_R cho hỗn hợp CCPR.

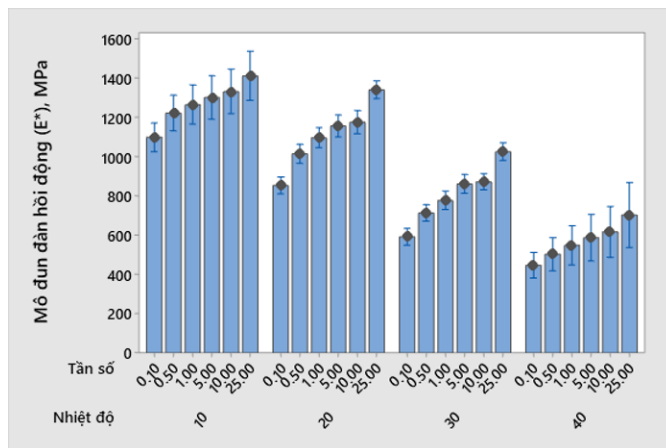
3.3. Thí nghiệm đánh giá mô đun đàn hồi động

Thí nghiệm mô đun đàn hồi động được thực hiện theo hướng dẫn tiêu chuẩn AASHTO TP62 [27] trên thiết bị NU 14 ở Phòng thí nghiệm Bộ môn Vật liệu xây dựng, Trường Đại học GTVT (Hình 8).



Hình 8. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh

Các kết quả thí nghiệm $|E^*|$ ở dải tần số từ 0,1 Hz đến 25 Hz và nhiệt độ từ 10 °C đến 40 °C được thể hiện như ở Hình 9.



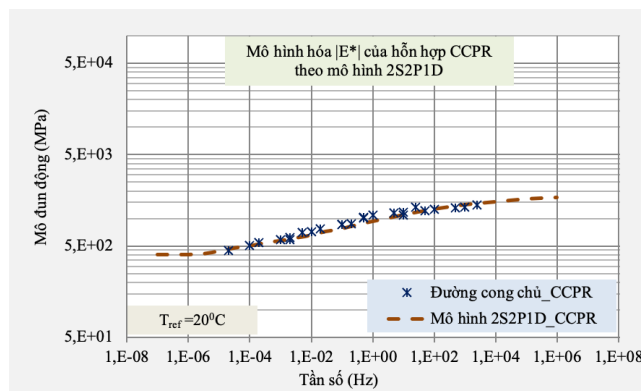
Hình 9. Kết quả thí nghiệm $|E^*|$ ở các nhiệt độ và tần số

Kết quả thí nghiệm thể hiện như ở Hình 9 cho thấy, giá trị mô đun đàn hồi động ở các tần số giảm dần khi nhiệt độ thí nghiệm tăng từ 10 °C lên 40 °C, cụ thể ở 20 °C giảm 13%, ở 30 °C giảm 35% và ở 40 °C giảm 50%. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm cho thấy, ở các nhiệt độ thí nghiệm, khi tần số thay đổi tăng từ 0,1 Hz đến 25 Hz thì giá trị trung bình mô đun đàn hồi động tăng dần. Có thể rút ra nhận xét, ở nhiệt độ càng cao, tần số càng thấp thì giá trị $|E^*|$ của hỗn hợp CCPR càng giảm và ngược lại. Kết quả này cũng cho thấy, bê tông asphalt tái chế nguội cũng thể hiện đặc tính đàn hồi nhớt như đối với hỗn hợp bê tông asphalt truyền thống.

Trên cơ sở số liệu thí nghiệm $|E^*|$ ở các nhiệt độ và tần số khác nhau, nghiên cứu tiến hành thiết lập đường cong chủ $|E^*|$, đường cong chủ $|E^*|$ có thể được sử dụng trong thiết kế kết cấu mặt đường theo phương pháp cơ học thực nghiệm [28]. Việc xây dựng đường cong chủ $|E^*|$ được thực hiện bằng cách chọn nhiệt độ tham chiếu là 20 °C như trong nghiên cứu. Các đường cong đẳng nhiệt tương ứng với nhiệt độ cao hơn 20 °C sẽ được dịch chuyển sang bên trái và các đường cong tương ứng với nhiệt độ thấp hơn 20 °C sẽ được dịch chuyển sang phải. Quá trình dịch chuyển này được lặp lại cho đến khi các đường cong hòa vào nhau tạo ra một đường trơn liên tục [29]. Kết quả xây dựng đường cong chủ $|E^*|$ của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội được thể hiện như ở Hình 10. Đánh giá sự phù hợp giữa đường cong chủ $|E^*|$ với đường mô hình 2S2P1D [30] được xác định theo công thức sau:

$$E^*(\omega) = E_{00} + \frac{E_0 - E_{00}}{1 + \delta(i\omega\tau)^{-k} + (i\omega\tau)^{-h} + (i\omega\beta\tau)^{-1}} \quad (1)$$

trong đó: E_{00} là mô đun đàn hồi động ở tần số rất thấp hoặc nhiệt độ rất cao; E_0 là mô đun đàn hồi động ở tần số rất cao hoặc nhiệt độ rất thấp; i là đơn vị ảo với $i^2 = -1$; ω là vận tốc góc, $\omega = 2\pi f$ (f là tần số); β là hằng số thứ nguyên; k, h là các hằng số ($0 < k, h < 1$); τ là thời gian đặc trưng, là thông số phụ thuộc vào nhiệt độ; δ là hằng số.



Hình 10. Đường cong chủ và 2S2P1D đường mô hình của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội

Kết quả đánh giá sự phù hợp giữa đường cong chủ $|E^*|$ với đường theo mô hình 2S2P1D được thể hiện như ở Bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp các hệ số của mô hình và đánh giá mô hình 2S2P1D

E_{00} (MPa)	E_0 (MPa)	k	h	δ	τ (s)	β	R^2	S_e/S_y
400	3,600	0,21	0,0010	5,55	1,26E+00	500	0,91	0,32

Kết quả đánh giá mô hình cho thấy, hệ số tương quan (R^2) giữa đường cong chủ $|E^*|$ với đường cong theo mô hình 2S2P1D bằng 0,91 và S_e/S_y bằng 0,32. Kết quả này thỏa mãn được yêu cầu ở mức cao.

4. Đánh giá hiệu quả môi trường của công nghệ CCPR

Công nghệ CCPR còn được biết đến là một trong những giải pháp công nghệ “vật liệu xanh” đáp ứng được yêu cầu phát triển bền vững. Nhằm mục đích lượng hóa hiệu quả môi trường đạt được của công nghệ CCPR, các tác động môi trường bao gồm lượng phát thải khí nhà kính (KNK) và mức tiêu thụ năng lượng của công nghệ CCPR đã được tính toán và so sánh với các công nghệ tái chế nóng tại trạm trộn (HCPR), tái chế ẩm tại trạm trộn (WCPR) và tái chế nguội tại chỗ (CIR).

4.1. Phương pháp tính toán phát thải KNK và tiêu thụ năng lượng

Trong vòng đời của vật liệu bê tông asphalt có nhiều hoạt động tiêu thụ năng lượng và phát thải KNK (CO_2 , CH_4 và N_2O) như hoạt động của các thiết bị, máy móc thi công, phương tiện vận chuyển, gia nhiệt cốt liệu, gia nhiệt bitum. Trong nghiên cứu này, phương pháp kiểm kê vòng đời sản phẩm [31] được sử dụng để tính toán mức tiêu thụ năng lượng và phát thải KNK trong 4 giai đoạn, bao gồm: giai đoạn sản xuất nguyên vật liệu, giai đoạn sản xuất hỗn hợp bê tông, giai đoạn vận chuyển và giai đoạn thi công mặt đường.

Vì mỗi loại KNK khi thải vào bầu khí quyển sẽ gây tác động nóng lên toàn cầu khác nhau nên chúng thường được chuyển đổi về giá trị tương đương với khí CO_2 và được gọi là CO_2 quy đổi hay $\text{CO}_2\text{-eq}$ bằng cách sử dụng hệ số GWP (Global Warming Potential – tiềm năng nóng lên toàn cầu). Khi đó, tổng lượng phát thải $\text{CO}_2\text{-eq}$ của tất cả các giai đoạn trong quá trình sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt được tính theo công thức [32]:

$$\text{CO}_2\text{-eq} = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^3 AD_{jk} \times Q_j \times EF_{ij} \times GWP_i \quad (2)$$

trong đó: AD_{jk} là lượng tiêu thụ năng lượng j trong giai đoạn k (lít dầu diesel, kg dầu FO hoặc kWh điện, ...); Q_j là hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng j (MJ/lít dầu diesel, MJ/kg dầu FO, MJ/kWh điện, ...); EF_{ij} là hệ số phát thải của KNK i do sử dụng loại năng lượng j (g/MJ); GWP_i là hệ số tiềm năng nóng lên toàn cầu của KNK i .

Hệ số Q_j được thể hiện ở Bảng 4. Hệ số phát thải KNK của tiêu thụ nhiên liệu được lấy theo giá trị mặc định [32], hệ số phát thải điện của Việt Nam được lấy theo số liệu công bố mới nhất của Cục Biến đổi khí hậu - Bộ của Tài nguyên và Môi trường [33] và được thể hiện ở Bảng 5. Hệ số GWP của khí CO_2 , CH_4 và N_2O lần lượt là 1,296 và 23 [32].

Bảng 4. Hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng [34]

Năng lượng	Điện	Dầu diesel	Dầu nhiên liệu (dầu FO)
Đơn vị	kWh	Lít	Kg
Hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng, MJ	3,6	36,845	41,451

Số liệu về phát thải KNK và tiêu thụ năng lượng trong công đoạn sản xuất cốt liệu mới, xi măng và bitum được kế thừa từ nghiên cứu [35]. Các số liệu khác về lượng tiêu thụ năng lượng trong các

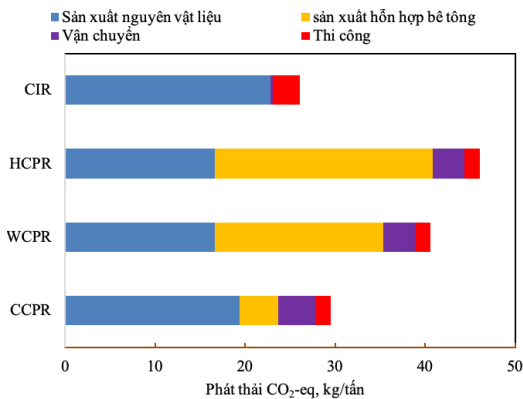
Bảng 5. Hệ số phát thải KNK

Loại năng lượng		Dầu nhiên liệu	Dầu diesel	Điện
Hệ số phát thải, g/MJ	CO ₂	77,4	74,1	253,6
	CH ₄	0,003	0,003	-
	N ₂ O	$6,0 \times 10^{-4}$	$6,0 \times 10^{-4}$	-

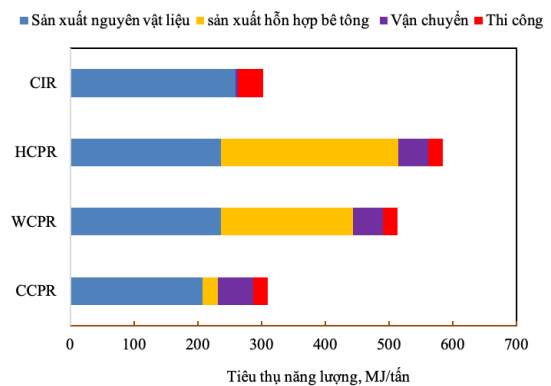
công đoạn sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt được khảo sát, thu thập trực tiếp tại các trạm trộn bê tông nhựa Tân Cang thuộc Công ty cổ phần đầu tư xây dựng BMT (Địa chỉ trạm trộn: ấp Tân Cang, xã Phước Tân, TP. Biên Hoà, tỉnh Đồng Nai) và trạm trộn bê tông nhựa nóng Bến Lức thuộc Công ty cổ phần đầu tư xây dựng BMT (Địa chỉ trạm trộn: Lô G, Đường Số 1, Khu công nghiệp Nhứt Chánh, huyện Bến Lức, tỉnh Long An).

4.2. Kết quả đánh giá giá tổng lượng phát thải khí nhà kính

Kết quả tính toán tổng lượng khí nhà kính phát thải trong công nghệ sản xuất và thi công các hỗn hợp bê tông asphalt tái chế được thể hiện ở Hình 11. Kết quả tính toán cho thấy tổng lượng phát thải khí nhà kính trong quá trình sản xuất và thi công hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội tại trạm và tái chế nguội tại chỗ có giá trị tương ứng là 29,52 kg CO₂-eq/tấn và 26,1 kg CO₂-eq/tấn. Trong khi đó, lượng phát thải KNK này đối với công nghệ tái chế ẩm và tái chế nóng tại trạm có giá trị tương ứng là 40,57 kg CO₂-eq/tấn và 46,03 kg CO₂-eq/tấn. So sánh với các công nghệ tái chế ẩm và tái chế nóng tại trạm sử dụng RAP với hàm lượng RAP bằng 20% thì các công nghệ tái chế nguội có lợi ích về mặt môi trường ở khía cạnh cắt giảm KNK tốt hơn. Như vậy, có thể kết luận khi hàm lượng RAP thay thế cho cốt liệu mới trong hỗn hợp bê tông càng tăng thì hiệu quả giảm phát thải khí nhà kính mà nó đạt được càng tốt.



Hình 11. Tổng lượng phát thải CO₂-eq của các công nghệ bê tông asphalt tái chế



Hình 12. Tổng mức tiêu thụ năng lượng của các công nghệ tái chế

4.3. Kết quả tính toán tổng mức tiêu thụ năng lượng

Để đánh giá hiệu quả môi trường đạt được của công nghệ bê tông asphalt tái chế nguội, các kết quả tính toán mức tiêu thụ năng lượng của các công nghệ bê tông asphalt tái chế được thể hiện như ở Hình 12. Kết quả tính toán tổng năng lượng tiêu thụ của các công nghệ tái chế bê tông asphalt được

thể hiện như ở Hình 12 cho thấy rằng, các công nghệ tái chế nguội làm giảm được mức tiêu thụ năng lượng trung bình từ 40-48% so với công nghệ tái chế nóng HCPR và tái chế ẩm WCPR. Kết quả này có được là do công nghệ tái chế nguội CCPR cho phép tái chế 100% RAP và quá trình chế tạo không phải gia nhiệt cốt liệu.

5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

Từ những nghiên cứu thực nghiệm bước đầu đánh giá tính năng của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội tại trạm trộn, một số kết luận sau được rút ra:

- Trên cơ sở nguồn RAP có được, nghiên cứu đã thiết kế được thành phần hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội theo công nghệ CCPR trong phòng thí nghiệm đảm bảo theo yêu cầu của AASHTO MP31.

- Ứng xử cơ học của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội theo công nghệ CCPR tương tự như hỗn hợp bê tông asphalt truyền thống.

- Mô đun đàn hồi tĩnh của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội theo công nghệ CCPR đạt được tương đương với giá trị mô đun đàn hồi tĩnh của hỗn hợp bê tông asphalt rỗng quy định trong tiêu chuẩn 22TCN 211:2006 để làm lớp móng trên hoặc lớp mặt dưới kết cấu áo đường.

- Mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp và mô đun đàn hồi động của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nguội theo công nghệ CCPR vẫn thấp hơn so với các kết quả nghiên cứu đã công bố.

- Đường cong chủ Master curves của bê tông asphalt tái chế nguội được thiết lập hoàn toàn phù hợp với mô hình 2S2P1D.

- Các công nghệ tái chế nguội có lợi ích về mặt môi trường ở khía cạnh cắt giảm KNK tốt hơn và mức tiêu thụ năng lượng ít hơn so với công nghệ bê tông asphalt tái chế nóng và bê tông asphalt tái chế ẩm.

5.2. Kiến nghị

Công nghệ CCPR để tái chế vật liệu mặt đường bê tông asphalt cũ là một công nghệ mới, có nhiều ưu điểm hơn so với công nghệ CIR đang được ứng dụng ở Việt Nam, nghiên cứu mới chỉ bước đầu đánh giá các tính năng trong phòng thí nghiệm, để có thể ứng dụng được công nghệ này trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam thời gian tới, cần có thêm những nghiên cứu sau:

- Thí nghiệm đánh giá các tính năng độ bền của bê tông asphalt tái chế nguội trong phòng thí nghiệm với số lượng mẫu đủ lớn.

- Thiết kế, chế tạo hỗn hợp ở trạm trộn để có những điều chỉnh về quy trình công nghệ.

- Thi công đánh giá thí điểm hiện trường của công nghệ.

- Xây dựng định mức kinh tế và quy trình chỉ dẫn kỹ thuật cũng cần thực hiện để có thể ứng dụng được công nghệ này trong xây dựng đường ô tô ở Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gu, F., Ma, W., West, R. C., Taylor, A. J., Zhang, Y. (2019). [Structural performance and sustainability assessment of cold central-plant and in-place recycled asphalt pavements: A case study](#). *Journal of Cleaner Production*, 208:1513–1523.
- [2] Diefenderfer, B. K., Diaz-Sanchez, M., Timm, D. H., Bowers, B. F. (2016). Structural study of cold central plant recycling sections at the National Center for Asphalt Technology (NCAT) test track. Technical report, VTRC 17-R9, Virginia Department of Transportation.

- [3] Stimilli, A., Ferrotti, G., Graziani, A., Canestrari, F. (2013). [Performance evaluation of a cold-recycled mixture containing high percentage of reclaimed asphalt](#). *Road Materials and Pavement Design*, 14(sup1): 149–161.
- [4] Diefenderfer, B. K., Apeagyei, A. K., Gallo, A. A., Dougald, L. E., Weaver, C. B. (2012). [In-Place Pavement Recycling on I-81 in Virginia](#). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2306(1):21–27.
- [5] Apeagyei, A. K., Diefenderfer, B. K. (2013). [Evaluation of Cold In-Place and Cold Central-Plant Recycling Methods Using Laboratory Testing of Field-Cored Specimens](#). 25(11):1712–1720.
- [6] Salomon, A., Newcomb, D. (2000). Cold In-Place Recycling Literature Review. Technical report, No. MN/RC 2000-21, Minnesota Department of Transportation, Saint Paul, MN.
- [7] Kim, Y., Lee, H. D., Heitzman, M. (2009). [Dynamic Modulus and Repeated Load Tests of Cold In-Place Recycling Mixtures Using Foamed Asphalt](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(6):279–285.
- [8] Khosravifar, S., Schwartz, C. W., Goulias, D. G. (2014). [Mechanistic structural properties of foamed asphalt stabilised base materials](#). *International Journal of Pavement Engineering*, 16(1):27–38.
- [9] Diefenderfer, B. K., Apeagyei, A. K., Gallo, A. A., Dougald, L. E., Weaver, C. B. (2012). [In-Place Pavement Recycling on I-81 in Virginia](#). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2306(1):21–27.
- [10] Diefenderfer, B. K., Bowers, B. F., Schwartz, C. W., Farzaneh, A., Zhang, Z. (2016). [Dynamic Modulus of Recycled Pavement Mixtures](#). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2575(1):19–26.
- [11] Lin, J., Hong, J., Xiao, Y. (2017). [Dynamic characteristics of 100% cold recycled asphalt mixture using asphalt emulsion and cement](#). *Journal of Cleaner Production*, 156:337–344.
- [12] Niazi, Y., Jalili, M. (2009). [Effect of Portland cement and lime additives on properties of cold in-place recycled mixtures with asphalt emulsion](#). *Construction and Building Materials*, 23(3):1338–1343.
- [13] Yan, J., Ni, F., Yang, M., Li, J. (2010). [An experimental study on fatigue properties of emulsion and foam cold recycled mixes](#). *Construction and Building Materials*, 24(11):2151–2156.
- [14] Cheng, H., Sun, L., Liu, L., Li, H. (2018). [Fatigue characteristics of in-service cold recycling mixture with asphalt emulsion and HMA mixture](#). *Journal of Construction and Building Materials*, 192:704–714.
- [15] West, R., Timm, D., Powell, B., Tran, N., Yin, F., Bowers, B., Rodezno, C., Leiva, F., Vargas, A., Gu, F., Moraes, R., Nakhaei, M. (2021). *NCAT Report PHASE VII (2018-2021) NCAT Test Track Findings*. National Center for Asphalt Technology at Auburn University, Alabama, US.
- [16] TCVN 13150-1:2020. *Lớp vật liệu tái chế nguội tại chỗ dùng cho kết cấu áo đường ô tô - Thi công và nghiệm thu - Phần 1 "Tái chế sâu sử dụng xi măng hoặc xi măng và nhũ tương nhựa đường"*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [17] TCVN 13150-2:2020. *Lớp vật liệu tái chế nguội tại chỗ dùng cho kết cấu áo đường ô tô - Thi công và nghiệm thu - Phần 2 "Tái chế sâu sử dụng nhựa đường bột và xi măng"*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [18] Christopher J. Hedges, Lori L. Sundstrom, T. Z. S. L. C. E. P. D. N. B. (2021). *Practice and Performance of Cold In-Place Recycling and Cold Central Plant Recycling*. NCHRP 569, The National Academies Press, Washington, DC.
- [19] Tuấn, N. M., Tha, N. N. (2016). Bước đầu thiết kế cấp phối bê tông nhựa tái chế bằng phương pháp trộn nguội tại trạm trộn theo MS-21. *Tạp Chí Giao Thông Vận Tải*, 11:67–69.
- [20] AASHTO (2019). *Standard Specification for Materials for Cold Recycled Mixtures with Emulsified Asphalt*. MP31-17, Washington, DC.
- [21] AASHTO (2019). *Standard Practice for Emulsified Asphalt Content of Cold Recycled Mixture Designs*. PP86-17, Washington, DC.
- [22] Asphalt Recycling & Reclaiming Association (ARRA) (2016). *Recommended Mix Design Guidelines For Cold Recycling Using Emulsified Asphalt Recycling Agent CR 201*. Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Glen Ellyn, IL.
- [23] 22 TCN 211:2006. *Áo đường mềm -Yêu cầu thiết kế*. Bộ Giao thông vận tải.
- [24] EN 12697-26. *Bituminous mixtures-Test methods Stiffness*.
- [25] AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC.

- [26] Apeagyei, A. K., Diefenderfer, B. K. (2013). [Evaluation of Cold In-Place and Cold Central-Plant Recycling Methods Using Laboratory Testing of Field-Cored Specimens](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(11):1712–1720.
- [27] AASHTO (2007). *Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt*. TP-62, Washington, DC.
- [28] Widyatmoko, I. (2008). [Mechanistic-empirical mixture design for hot mix asphalt pavement recycling](#). *Construction and Building Materials*, 22(2):77–87.
- [29] Dougan, C. E., Stephens, J. E., Mahoney, J., Hansen, G. (2003). *E*-Dynamic modulus - Test protocol - Problems and Solutions*. Connecticut Transportation Institute, University of Connecticut, USA.
- [30] Yusoff, N. I. M. (2012). *Modelling the Linear Viscoelastic Rheological Properties of Bituminous Binders*. The Nottingham University.
- [31] TCVN ISO 14040:2009. *Quản lý môi trường - Đánh giá vòng đời sản phẩm - Nguyên tắc và khuôn khổ*.
- [32] IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- [33] [Nghiên cứu, xây dựng hệ số phát thải \(EF\) của lưới điện Việt Nam](#).
- [34] Thông tư số 20/2016/TT-BCT. *Quy định mức tiêu hao năng lượng trong ngành công nghiệp thép*. Bộ Công Thương, Hà Nội.
- [35] Stripple, H. (2001). *Life Cycle Assessment of Road: a Pilot Study for Inventory Analysis*. IVL Swedish Environmental Research Institute.