



ANALYSIS AND EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES USING HOT ASPHALT TREATED DENSE-GRADED AGGREGATES AND SEMI-OPEN-GRADED HOT MIX ASPHALT AS BASE-COURSE

Nguyen Quang Phuc¹, Tran Thi Cam Ha^{1*}, Tran Danh Hoi¹, Pham Van Hien²

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²The University of Transportation and Communication Limited Company, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 24/10/2023

Revised: 09/12/2023

Accepted: 03/01/2024

Published online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.4>

* *Corresponding author*

Email: tranthcamha@utc.edu.vn; Tel: +84912067633

Abstract. Bituminous macadam is used as base course layer of flexible pavement structures in many countries in the world such as American, some European countries, Australia, China, India... These pavement structures have the advantage of reducing the thickness compared to these with base-courses using granular materials and reducing the risk of reflective cracking compared to these using cement treated aggregate base-courses. A few highway projects in Vietnam have used this material as base-course showing good results. Along with hot asphalt treated dense-graded aggregates (ĐGCN), semi-open-graded hot mix asphalt (HHBR) according to TCVN 13567-3:2022 is also used as the upper base layer of flexible pavement structures in many expressway projects. However, no studies comparing these base-courses in flexible pavement structures have been conducted. This article presents the results of laboratory research on some mechanical and physical properties of hot asphalt treated dense-graded aggregates and semi-open-graded hot mix asphalt with the same 25mm nominal maximum particle (ĐGCN 25 và HHBR 25) and the results of analyzing flexible pavement structures using Mechanistic-Empirical Pavement Design with these two materials as base-courses. The results of this study show that the elastic modulus and indirect tensile strength of ĐGCN 25 are greater than HHBR 25. It is recommended to use ĐGCN 25 as the base-course layer in the design and repair of flexible pavement structures of expressways and high-traffic highways in Vietnam.

Keywords: bituminous macadam, hot asphalt treated dense-graded aggregates, semi-open-graded hot mix asphalt, base-course.



PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG MỀM CẤP CAO SỬ DỤNG LỚP MÓNG CẤP PHỐI ĐÁ CHẶT GIA CỐ NHỰA NÓNG VÀ BÊ TÔNG NHỰA BÁN RỖNG

Nguyễn Quang Phúc¹, Trần Thị Cẩm Hà^{1*}, Trần Danh Hợi¹, Phạm Văn Hiến²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Công TNHH 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: 24/10/2023

Ngày nhận bài sửa: 09/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 03/01/2024

Ngày xuất bản Online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.8>

* Tác giả liên hệ

Email: tranthicamha@utc.edu.vn; Tel: +84912067633

Tóm tắt. Hỗn hợp đá – nhựa được sử dụng làm lớp móng của kết cấu áo đường (KCAĐ) mềm ở nhiều nước trên thế giới như Mỹ, châu Âu, Úc, Trung Quốc, Ấn Độ,... Kết cấu áo đường mềm sử dụng lớp móng đá – nhựa có ưu điểm là giảm được chiều dày thiết kế so với khi sử dụng lớp móng bằng vật liệu rời rạc, tăng khả năng kháng mỏi và không xảy ra nứt phản ánh so với trường hợp sử dụng lớp móng gia cố xi măng. Một vài dự án đường cao tốc ở Việt Nam đã sử dụng loại vật liệu này cho kết quả tốt. Bên cạnh hỗn hợp cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng (ĐGCN), hỗn hợp bê tông nhựa bán rỗng (HHBR) theo tiêu chuẩn TCVN 13567-3:2022 cũng được sử dụng làm lớp móng trên của kết cấu áo đường mềm ở nhiều dự án cao tốc. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý của ĐGCN và HHBR có cùng cỡ hạt lớn nhất danh định 25mm (ĐGCN 25 và HHBR 25) và kết quả phân tích một số KCAĐ mềm cấp cao có sử dụng hai loại vật liệu này làm lớp móng trên theo phương pháp cơ học – thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô đun đàn hồi, khả năng chịu mỏi của ĐGCN 25 đều lớn hơn HHBR 25 từ đó kiến nghị sử dụng ĐGCN 25 làm lớp móng trên trong KCAĐ cho các dự án xây dựng các tuyến đường cao tốc và đường ô tô cấp cao ở Việt Nam.

Từ khóa: Hỗn hợp đá – nhựa, cấp phối đá chặt gia cố nhựa, ĐGCN, hỗn hợp bê tông nhựa bán rỗng, HHBR, lớp móng trên.

@2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở nhiều nước trên thế giới như Mỹ, châu Âu, Úc, Trung Quốc, Ấn Độ,... hỗn hợp đá – nhựa chặt và hỗn hợp đá – nhựa rỗng đều đã và đang được sử dụng làm lớp móng trên trong kết cấu áo đường mềm [1-3]. Trong thời gian gần đây, ở Việt Nam, kết cấu áo đường mềm cấp cao sử dụng lớp móng bằng hỗn hợp bê tông nhựa bán rỗng (HHBR) hoặc cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng (ĐGCN) ngày càng được sử dụng rãi cho các dự án xây dựng các tuyến đường cao tốc và đường ô tô cấp cao có quy mô giao thông lớn. HHBR 25 đã được sử dụng ở một số dự án như cao tốc Bắc Giang – Lạng Sơn, đường nội thành phố Hạ Long với cầu Bạch Đằng, dự án nâng cấp tuyến đường Pháp Vân – Cầu Giẽ (giai đoạn 2) và một số dự án khác. ĐGCN 25 cũng được sử dụng làm lớp móng trên của kết cấu áo đường cho một số dự án đường cao tốc như Hà Nội – Hải Phòng, Long Thành – Dầu Giây, Trung Lương – Mỹ Thuận, Mỹ Thuận – Cần Thơ với chiều dày thiết kế từ 10 – 19 cm. Việc sử dụng lớp móng đá – nhựa (ĐGCN hoặc HHBR) đã được chứng minh làm giảm chiều dày thiết kế của KCAĐ mềm so với phương án sử dụng lớp móng trên bằng cấp phối đá dăm loại 1 và không bị nứt phản ánh so với trường hợp kết cấu sử dụng lớp móng cấp phối đá dăm gia cố xi măng.

Đã có một số nghiên cứu về ĐGCN và HHBR được thực hiện ở nước ta bước đầu cho thấy ưu điểm của hai loại vật liệu này khi sử dụng làm lớp móng trên của kết cấu áo đường mềm cấp cao là giảm được chiều dày thiết kế so với khi sử dụng lớp móng bằng vật liệu rời rạc, tăng khả năng kháng môi [4-8]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào tiến hành so sánh các chỉ tiêu cơ lý của ĐGCN và HHBR cũng như phân tích ứng xử của các kết cấu áo đường sử dụng các lớp móng này để chỉ ra ưu nhược điểm của 2 loại vật liệu trên khi sử dụng làm móng của kết cấu áo đường mềm. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, so sánh trong phòng thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý của ĐGCN 25 và HHBR 25 và kết quả phân tích, đánh giá, so sánh một số KCAĐ mềm cấp cao có sử dụng hai loại vật liệu này làm lớp móng trên từ đó đề xuất loại hỗn hợp nên sử dụng.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Nội dung nghiên cứu được tiến hành bao gồm và lần lượt theo trình tự sau:

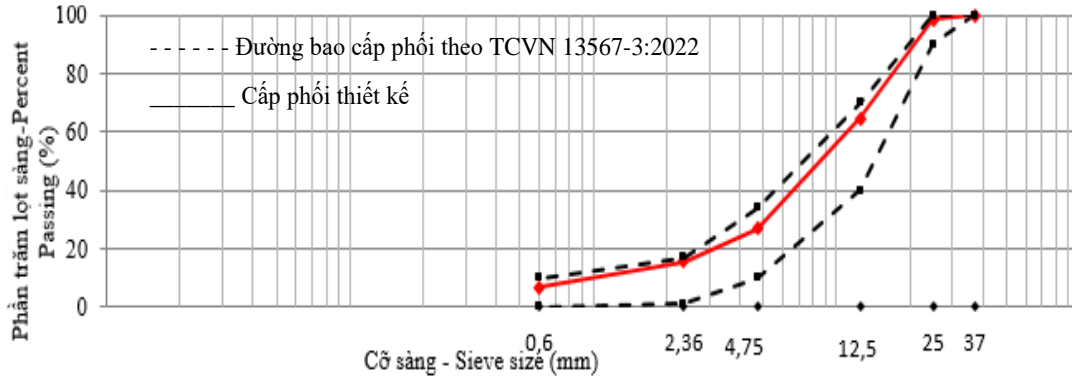
- 1) Thiết kế thành phần hỗn hợp ĐGCN 25 và HHBR 25 theo phương pháp Marshall;
- 2) Thí nghiệm xác định độ ổn định, độ dẻo Marshall, độ ổn định còn lại, môđun đàn hồi tĩnh, môđun đàn hồi động, cường độ kéo gián tiếp của ĐGCN 25 và HHBR 25;
- 3) Phân tích các KCAĐ mềm cấp cao sử dụng lớp móng trên bằng ĐGCN và HHBR theo các tiêu chuẩn hiện hành ở Việt Nam theo phương pháp thiết kế cơ học – thực nghiệm (ME).

Các thử nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm bộ môn Vật liệu xây dựng và phòng thí nghiệm trọng điểm LasXD 1256 của Trường Đại học GTVT. Với thiết kế thực nghiệm và phân tích thống kê bằng phần mềm Minitab 18 ở mức tin cậy 95%, số mẫu thí nghiệm là 3 mẫu/tổ mẫu đảm bảo phát hiện sai khác trong phạm vi $\pm 1,4\sigma$. Các kết quả thí nghiệm được đánh giá độ chụm theo ASTM D4867-2014 và ASTM D6927-2015.

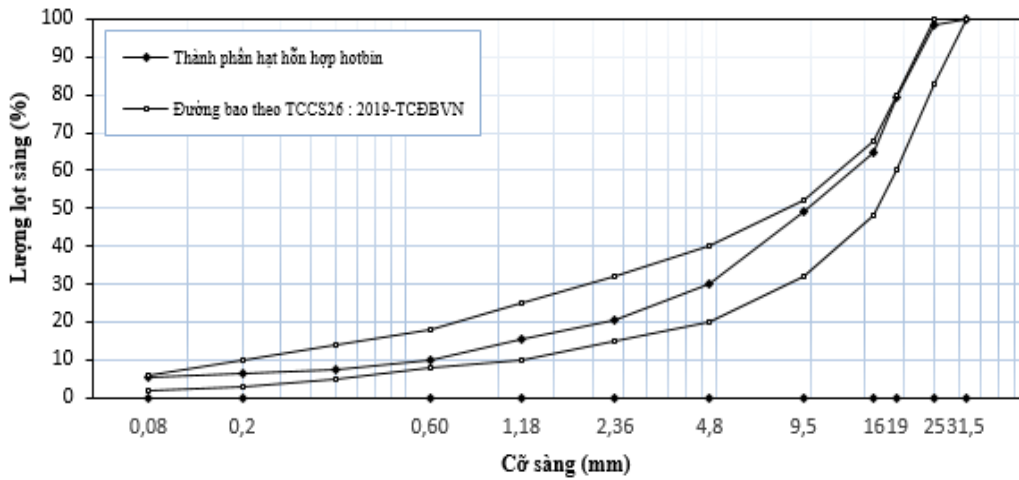
2.1. Thiết kế thành phần hỗn hợp ĐGCN và HHBR

Cốt liệu thô, cốt liệu mịn, bột khoáng sử dụng trong nghiên cứu được lấy tại mỏ đá Transmeco huyện Thanh Liêm, tỉnh Hà Nam; Nhựa đường 60/70 của công ty TNHH nhựa đường Petrolimex. Cốt liệu thô, cốt liệu mịn và bột khoáng đảm bảo yêu cầu kỹ thuật đối với vật liệu chế tạo HHBR và ĐGCN theo TCVN 13567-3:2022 [9] và TCCS 26:2019/TCĐBVN [10]. Nhựa đường 60/70 thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 7493:2005. Thành phần cấp phối thiết kế HHBR 25 và ĐGCN 25 được thể hiện lần lượt ở Hình 1 và Hình 2. Thiết kế

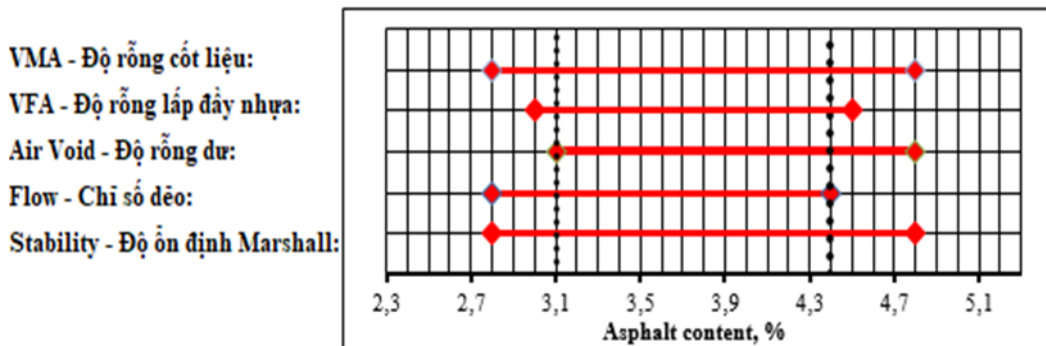
thành phần hỗn hợp HHBR 25 bằng phương pháp Marshall xác định được khoảng hàm lượng nhựa tối ưu của hỗn hợp HHBR 25 từ 3,0 ÷ 4,1%, hàm lượng tối ưu lựa chọn là 3,5%. Kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp ĐGCN 25 bằng phương pháp Marshall thể hiện ở Hình 3 với hàm lượng nhựa tối ưu lựa chọn là 3,7%.



Hình 1. Đường cong cấp phối của hỗn hợp cốt liệu HHBR 25 sau phối trộn.



Hình 2. Đường cong cấp phối của hỗn hợp cốt liệu ĐGCN 25 sau phối trộn.



Khoảng hàm lượng nhựa đáp ứng các chỉ tiêu (% tính theo khối lượng hỗn hợp)	(3,1-4,4%)
Hàm lượng nhựa lựa chọn (% tính theo khối lượng hỗn hợp)	3,7%

Hình 3. Kết quả xác định hàm lượng nhựa tối ưu theo phương pháp Marshall của ĐGCN 25.

2.2 Thí nghiệm độ ổn định, độ dẻo Marshall, độ ổn định còn lại

Thí nghiệm nén Marshall xác định các đặc tính thể tích và độ ổn định, độ dẻo của các tổ mẫu trong 2 điều kiện thí nghiệm là ngâm mẫu ở 60°C trong thời gian 40 phút và 24 giờ. Trong nghiên cứu này thử nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 8860:2011. Số lượng thí nghiệm Marshall được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Số lượng mẫu thí nghiệm Marshall.

STT	Chỉ tiêu	Loại hỗn hợp		Tổng số mẫu
		HHBR 25	ĐGCN 25	
1	Các chỉ tiêu thể tích	3	3	6
2	Độ ổn định và độ dẻo Marshall sau ngâm nước 60°C trong 40 phút			
3	Độ ổn định và độ dẻo Marshall sau ngâm nước 60°C trong 24h	3	3	6



a. Xác định các chỉ tiêu thể tích



b. Nén mẫu xác định độ ổn định, độ dẻo Marshall

Hình 4. Thí nghiệm Marshall.

2.3 Thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh

Thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh theo phụ lục C của tiêu chuẩn TCVN 8860:2011 (mô hình nén từ biên), bằng cách nén mẫu trụ tròn trong điều kiện nở hông tự do. Mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng máy đầm xoay có đường kính D=10 cm, H=10 cm. Mẫu được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng ít nhất 16 giờ và được giữ ở nhiệt độ thí nghiệm trong 2,5 giờ trước khi tiến hành thí nghiệm. Số lượng thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Số lượng mẫu thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh.

STT	Loại hỗn hợp	Nhiệt độ thí nghiệm, °C	Số lượng mẫu
1	HHBR 25	15	3
		30	3
		60	3
2	ĐGCN 25	15	3
		30	3
		60	3
Tổng số mẫu thí nghiệm, mẫu			18



Hình 5. Thí nghiệm Mô đun đàn hồi tĩnh.

2.4 Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo gián tiếp

Để đánh giá khả năng kháng ẩm của hỗn hợp đã đầm chặt, tiến hành thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo gián tiếp theo tiêu chuẩn TCVN 12914 – 2020, sử dụng thiết bị đầm Marshall theo TCVN 8860-1:2011 để tạo và đầm nén mẫu, mẫu có đường kính 100 mm và chiều cao là $63,5 \pm 2,5$ mm. Thí nghiệm được thực hiện trên hai tổ hợp mẫu: Tổ hợp mẫu ở điều kiện khô và tổ hợp mẫu ở điều kiện bão hòa; nhiệt độ thí nghiệm 25°C ; số lượng mẫu được thể hiện trong Bảng 3. Tỷ số cường độ kéo gián tiếp là tỷ lệ giữa cường độ kéo gián tiếp ở trạng thái bão hòa chia cho cường độ kéo gián tiếp ở trạng thái khô.

Bảng 3. Số lượng mẫu thí nghiệm xác định độ cường độ chịu kéo gián tiếp.

STT	Loại hỗn hợp	Trạng thái mẫu	
		Mẫu khô, mẫu	Mẫu bão hòa, mẫu
1	HHBR 25	3	3
2	ĐGCN 25	3	3
Tổng cộng		12	



Hình 6. Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo gián tiếp.

2.5 Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi động

Thí nghiệm mô đun đàn hồi động được tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM D 4123 - phương pháp kéo gián tiếp tải trọng tác dụng trùng phục. Mẫu thí nghiệm được chế bị theo phương pháp Marshall, thí nghiệm được thực hiện trên thiết bị thí nghiệm Cooper của Phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng – Trường đại học Giao thông vận tải. Thiết bị có dụng cụ đo lực bằng Loadcell, đo biến dạng bằng LVDT, toàn bộ quá trình thí nghiệm được thực hiện tự động nhờ phần mềm điều khiển đi kèm máy (EN 12697-26). Kết quả thí nghiệm được lưu

trong máy tính dưới dạng file số liệu gồm các thông tin cần thiết và các số liệu dạng cột có thể mở trong excel. Thí nghiệm thực hiện ở điều kiện nhiệt độ mẫu 20°C (nhiệt độ tính toán của mặt đường theo AASHTO 93), tần số gia tải 1,0 Hz , mỗi loại hỗn hợp tiến hành thử nghiệm trên 1 tổ hợp gồm 3 mẫu, tổng số mẫu là 6 mẫu.



Hình 7. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi động trên thiết bị Cooper.

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Kết quả thí nghiệm độ ổn định, độ dẻo Marshall, độ ổn định còn lại của HHBR 25 và ĐGCN 25.

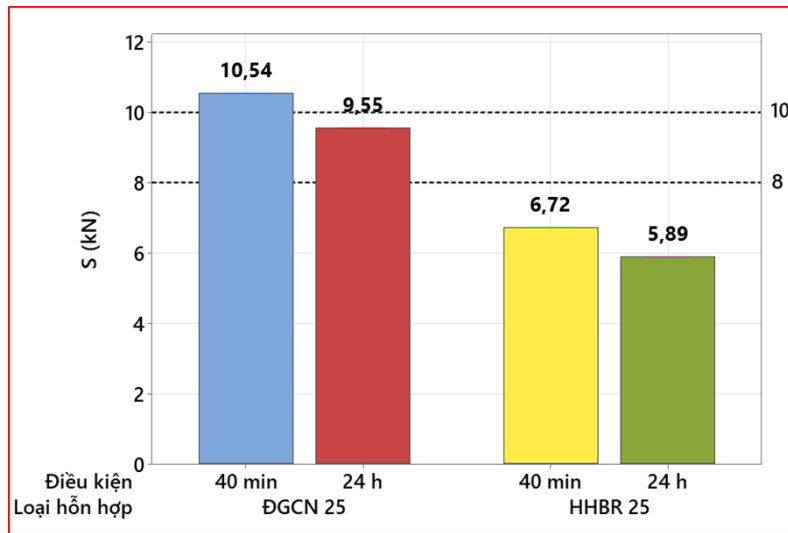
Kết quả thí nghiệm Marshall được đánh giá độ chụm theo tiêu chuẩn ASTM D6927-15, cho thấy kết quả thí nghiệm đảm bảo độ chụm (Bảng 4). Tổng hợp kết quả được thể hiện trong Bảng 5 và Hình 8.

Bảng 4. Đánh giá kết quả xác định độ ổn định Marshall theo ASTM D6927-15.

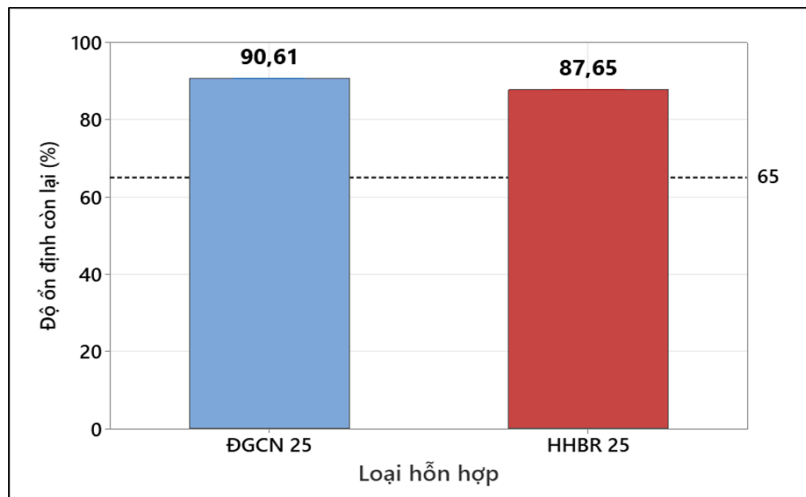
TT	Chỉ tiêu	Mẫu	HHBR 25		ĐGCN 25	
			Mẫu ngâm 60°C, 40 phút	Mẫu ngâm 60°C, 24 giờ (kN)	Mẫu ngâm 60°C, 40 phút	Mẫu ngâm 60°C, 24 giờ (kN)
1	Độ ổn định Marshall, kN	1	7,03	5,66	11,02	9,17
		2	6,71	6,03	10,21	9,58
		3	6,43	5,97	10,40	9,91
		TB	6,72	5,89	10,54	9,55
2	Khoảng chênh lệch R: max-min	kN	0,60	0,37	0,81	0,74
3	Hệ số biến sai cho phép Cv	%	6	6	6	6
4	Khoảng chấp nhận cho phép so với giá trị trung bình: 3.3xCv	%	19,8	19,8	19,8	19,8
5	Giá trị độ lệch cho phép	kN	1,33	1,17	2,09	1,89
6	Đánh giá: So sánh (2) và (5)	-	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt

Bảng 5. Kết quả xác định độ ổn định, độ dẻo Marshall và độ ổn định còn lại của HHBR25 và ĐGCN 25.

Loại hỗn hợp	Độ ổn định trung bình mẫu ngâm 60°C, 40 phút (kN)	Độ dẻo trung bình mẫu ngâm 60°C, 40 phút (mm)	Độ ổn định trung bình mẫu ngâm 60°C, 24 giờ (kN)	Độ dẻo trung bình mẫu ngâm 60°C, 24 giờ (mm)	Độ ổn định còn lại (%)	Độ ổn định còn lại min yêu cầu (%)
HHBR 25	6,72	3,1	5,89	3,94	87,65	65
ĐGCN 25	10,54	3,31	9,55	3,86	90,61	65



Hình 8. Độ ổn định Marshall của HHBR 25 và ĐGCN 25.

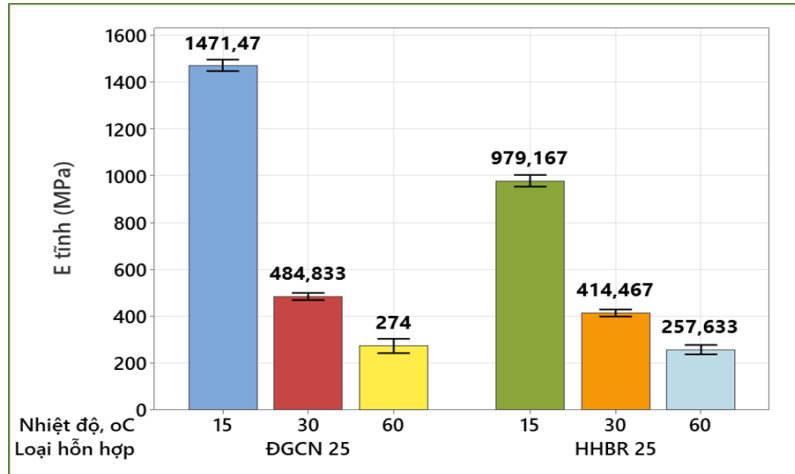


Hình 9. Độ ổn định còn lại của HHBR 25 và ĐGCN 25.

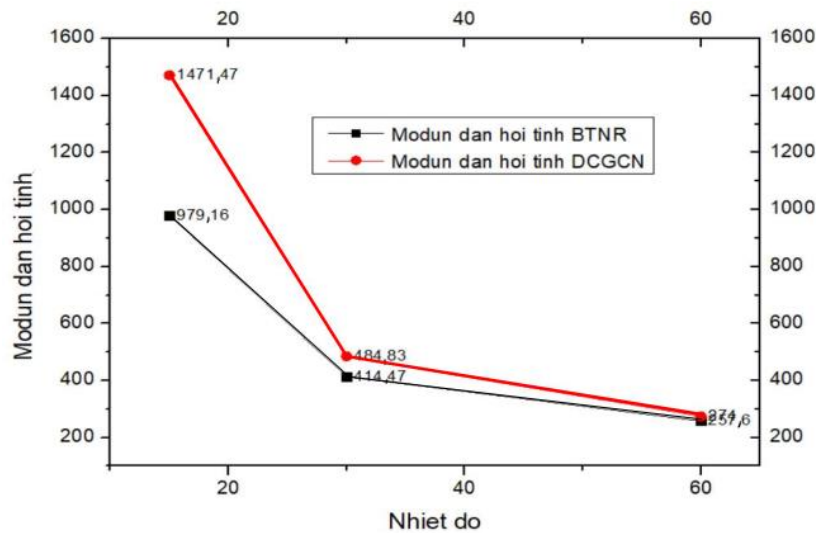
Biểu đồ Hình 8 cho thấy có sự khác biệt rõ rệt về độ ổn định Marshall giữa 2 loại hỗn hợp thử nghiệm. Với độ tin cậy 95%, sự sai khác này được chỉ ra là có ý nghĩa thống kê. Cụ thể: Ở trạng thái ngâm 60°C trong 40 phút, độ ổn định Marshall của hỗn hợp ĐGCN 25 đạt giá trị trung bình 10,54 kN gấp 1,57 lần so với HHBR 25 (6,72 kN); Ở trạng thái ngâm 60°C trong 24 giờ, độ ổn định Marshall của hỗn hợp ĐGCN 25 đạt giá trị trung bình 9,55 kN gấp 1,62 lần so với HHBR 25 (5,89 kN). Kết quả trong Bảng 5 và biểu đồ Hình 9 cho thấy cả hai loại hỗn hợp trong nghiên cứu đều có độ dẻo Marshall, độ ổn định còn lại thỏa mãn yêu cầu được quy định trong các tiêu chuẩn tương ứng [9], [10].

3.2. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh của HHBR 25 và ĐGCN 25

Kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tĩnh của HHBR 25 và ĐGCN 25 được thể hiện trong Hình 10 và được đánh giá độ chụm theo tiêu chuẩn ASTM D6927-15, kết quả đánh giá cho thấy kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tĩnh của cả hai hỗn hợp ở tất cả các nhiệt độ thí nghiệm đều đảm bảo độ chụm.



Hình 10. Mô đun đàn hồi tĩnh của HHBR 25 và ĐGCN 25.



Hình 11. Biểu đồ quan hệ giữa mô đun đàn hồi tĩnh và nhiệt độ của HHBR 25 và ĐGCN 25.

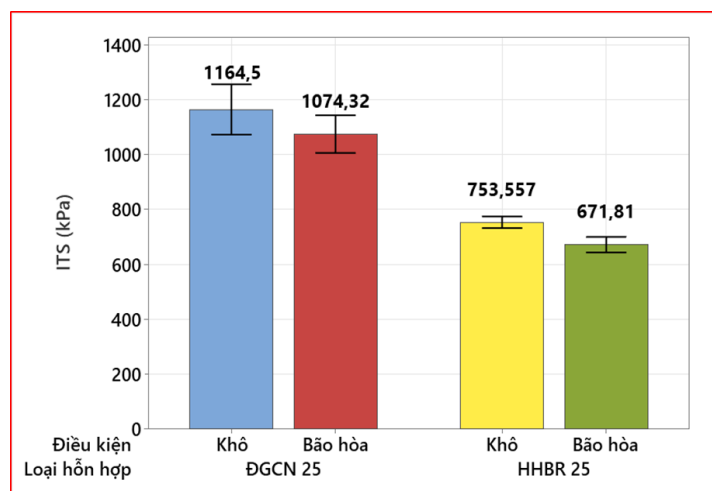
Biểu đồ Hình 10 cho thấy ở tất cả các nhiệt độ thí nghiệm, mô đun đàn hồi tĩnh (E_{tinh}) của hỗn hợp ĐGCN 25 đều lớn hơn HHBR 25 tuy nhiên mức độ chênh lệch khác nhau khá lớn ở các nhiệt độ thí nghiệm khác nhau, cụ thể: Ở nhiệt độ 15°C, E_{tinh} của ĐGCN 25 lên tới 1471,47 MPa, gấp 1,5 lần so với E_{tinh} của HHBR 25 (979,16 MPa); ở nhiệt độ 30°C mức độ chênh lệch giữa hai loại hỗn hợp giảm đáng kể, E_{tinh} của ĐGCN 25 chỉ bằng 1,17 lần E_{tinh} của HHBR 25; ở nhiệt độ 60°C E_{tinh} của ĐGCN 25 cao hơn E_{tinh} của HHBR 25 không đáng kể.

Biểu đồ Hình 11 cho thấy nhiệt độ thí nghiệm tăng lên, E_{tinh} của cả hai hỗn hợp đều giảm và giảm mạnh khi nhiệt độ thí nghiệm tăng từ 15°C lên 30°C cụ thể: E_{tinh} của ĐGCN 25 giảm từ 1471,47 MPa xuống 484,83 MPa (giảm gần 3 lần) tương ứng giảm trung bình 328,88 MPa/5°C; E_{tinh} của HHBR 25 giảm từ 979,16 MPa xuống 414,47 MPa (giảm gần 2 lần) tương ứng giảm trung bình 188,23 MPa/5°C. Khi nhiệt độ thí nghiệm tăng từ 30°C lên 60°C mức giảm trung bình của của ĐGCN 25 và HHBR 25 lần lượt chỉ còn 70,28 MPa/5°C và 52,28 MPa/5°C. Ở nhiệt độ 60°C, cả hai hỗn hợp làm việc tương đối kém, E_{tinh} giảm xuống còn 274 MPa và 257,6 MPa, thấp hơn so với giá trị khuyến nghị (300 MPa) của BTNC có hàm lượng đá dăm $\geq 50\%$ và chỉ tương đương giá trị kiến nghị (250 MPa) của BTNC có hàm lượng đá dăm $\geq 35\%$ trong TCCS 38 [11]. Hình 11 cũng cho thấy sự chênh lệch mô đun đàn hồi giữa ĐGCN 25 và HHBR 25 giảm dần và có xu hướng hội tụ khi nhiệt độ tăng. Điều này cũng cho

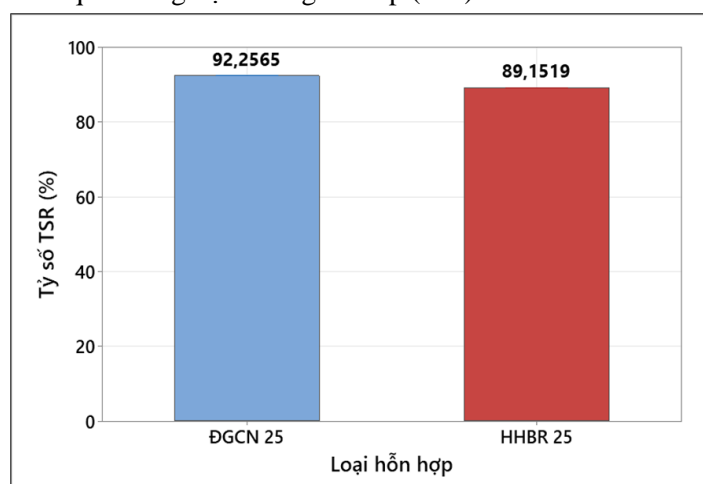
thấy trong điều kiện làm việc đàn hồi, hai vật liệu này có thể có sự tương đương nhất định ở miền nhiệt độ cao; Còn ở miền nhiệt độ thấp thì HHBR chịu nhiều bất lợi hơn so với ĐGCN.

3.3. Kết quả xác định cường độ chịu kéo gián tiếp

Cường độ chịu kéo gián tiếp (ITS) của ĐGCN 25 và HHBR 25 trong nghiên cứu này được xác định ở hai trạng thái khô và bão hòa, đánh giá độ chụm theo tiêu chuẩn ASTM D4867-09 cho thấy kết quả thí nghiệm đảm bảo độ chụm.



Hình 12. Kết quả thí nghiệm kéo gián tiếp (ITS) của HHBR 25 và ĐGCN 25.



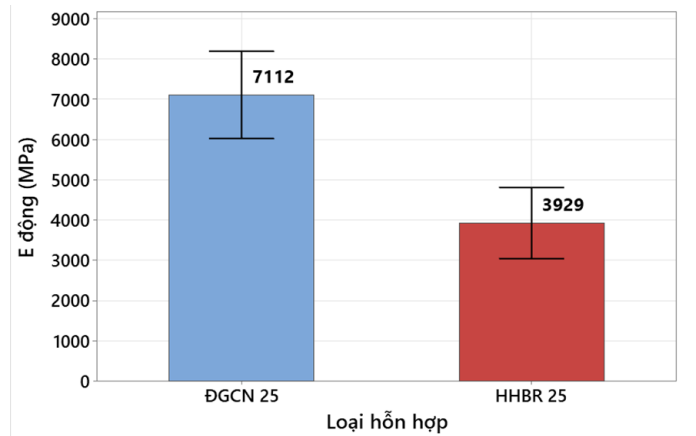
Hình 13. Tỷ lệ độ bền kéo gián tiếp của HHBR 25 và ĐGCN 25.

Kết quả thí nghiệm (Hình 12) cho thấy với nhiệt độ thử nghiệm 25°C, ở cả hai trạng thái khô và bão hòa ĐGCN 25 đều có cường độ chịu kéo gián tiếp lớn hơn nhiều so với HHBR 25 (gấp 1,55 và 1,6 lần). Hình 13 cho thấy khả năng kháng ẩm của hỗn hợp ĐGCN 25 đã đầm chặt cũng tốt hơn so với hỗn hợp HHBR 25 đầm chặt, tuy nhiên mức chênh không quá lớn chỉ 3%. Cả hai hỗn hợp thử nghiệm đều có khả năng kháng ẩm tương đối tốt, tỷ số TSR đều từ xấp xỉ 90% trở lên.

3.4. Kết quả xác định mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp của ĐGCN 25 và HHBR 25

Mô đun đàn hồi động xác định bằng phương pháp kéo gián tiếp của HHBR 25 và ĐGCN 25 được thể hiện trong Hình 14, đánh giá độ chụm theo tiêu chuẩn ASTM D6927-15 cho thấy kết quả thí nghiệm đảm bảo độ chụm. Phân tích Hình 12 cho thấy hỗn hợp ĐGCN 25 có mô

đun đàn hồi động ở nhiệt độ 20°C, tần số gia tải 1Hz lớn hơn nhiều so với HHBR 25, giá trị trung bình mô đun đàn hồi động của ĐGCN 25 cao gấp gần 2 lần so với HHBR 25.



Hình 14. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi động của HHBR 25 và ĐGCN 25.

4. PHÂN TÍCH MẶT ĐƯỜNG CẤP CAO SỬ DỤNG ĐGCN 25 VÀ HHBR 25 LÀM LỚP MÓNG TRÊN

Từ những kết quả thí nghiệm đã thực hiện trong nghiên cứu, tiến hành phân tích kết cấu mặt đường mềm cấp cao sử dụng lớp móng trên bằng ĐGCN 25 và HHBR 25 để so sánh đánh giá các đặc trưng khai thác. Các kết cấu được thiết kế và kiểm toán theo tiêu chuẩn đang được sử dụng ở Việt Nam - TCCS 37 [12] và phân tích theo phương pháp cơ học - thực nghiệm MEPDG.

Các thông số đầu vào để phân tích: Tuyến đường cấp III-ĐB, vận tốc thiết kế $V=80\text{km/h}$, 4 làn xe, chiều rộng làn xe 3,5m, có dải phân cách giữa; Lưu lượng xe tính toán năm đầu 8488 xe/nđ theo số liệu đếm xe BOT Cai Lậy (Km1998) trong 4 ngày liên tiếp từ 7/12/2017 đến 10/12/2017; Điều kiện khí hậu MERRA-2 từng giờ trong 37 năm liên tục từ 1985-2021 cho 6 trạm điển hình Việt Nam trải theo vĩ độ thấp dần từ Bắc xuống Nam: Cao Bằng, Hà Nội, Nghệ An, Đà Nẵng, Tiền Giang, Đồng Nai, Cà Mau; Thời gian tính toán kết cấu $t=15$ năm; Độ tin cậy thiết kế $R=90\%$ đối với các đường cấp cao theo khuyến cáo của AASHTO MEPDG. Tham khảo các dự án thực tế đã sử dụng lớp ĐGCN và HHBR ở Việt Nam, đề xuất 02 kết cấu áo đường chỉ khác nhau lớp móng trên là ĐGCN 25 hoặc HHBR 25 được thể hiện trong Bảng 6. Các thông số đầu vào của các lớp trong kết cấu sử dụng kết quả thí nghiệm trong nghiên cứu, các thông số $|E^*|$ của các lớp BTN tham khảo kết quả thực nghiệm trong các nghiên cứu [4] và [13], các thông số đầu vào của đất nền và lớp CPĐĐ tham khảo trong TCCS 37 [12].

Bảng 6. Kết cấu mặt đường đề xuất phân tích đánh giá.

Số thứ tự lớp	Lớp vật liệu	Chiều dày lớp vật liệu trong kết cấu	
		Kết cấu 1	Kết cấu 2
1	BTNC 12,5 dùng nhựa PMB III (BTNP 12,5)	5	5
2	BTNC 19 dùng nhựa 60/70 (BTNC 19)	7	7
3.(1)	ĐGCN 25	10	10
3.(2)	HHBR 25		
4	Cấp phối đá dăm loại 1 (CPĐĐ loại 1)	Kết quả tính toán	Kết quả tính toán

4.1. Tính toán kết cấu áo đường theo TCCS 37

Từ lưu lượng xe trung bình năm đầu 8488 xe/nd, thành phần xe và phổ tải trọng xe, hệ số tăng trưởng xe 5% năm tính ra được tổng số trục xe đơn tương đương $W18= 28.305.707$ ESAL18kip/1 lần xe tích lũy trong 15 năm khai thác. Với các thông số đầu vào: Độ lệch tiêu chuẩn toàn bộ $S_o=0,45$; độ lệch trung bình tiêu chuẩn $Z_R=-1,645$; chỉ số khả năng phục vụ ban đầu $P_o=4,2$; chỉ số khả năng phục vụ cuối $P_t=2,5$; tổn thất khả năng phục vụ $\Delta PSI=1,7$; mô đun đàn hồi hữu hiệu của đất nền $M_R=42$ MPa xác định được chỉ số kết cấu $SN=6,417$. Hệ số lớp a_i của lớp ĐGCN 25 và HHBR 25 được tính dựa vào giá trị độ ổn định Marshall xác định được trong Mục 3.1 (10,54 MPa và 6,72 MPa) lần lượt có giá trị là 0,383 và 0,285. Lớp BTNP12.5 và lớp BTNC 19 lấy hệ số lớp $a_i=0,41$ [12]. Kết quả xác định chiều dày các lớp vật liệu trong kết cấu thể hiện trong Bảng 7.

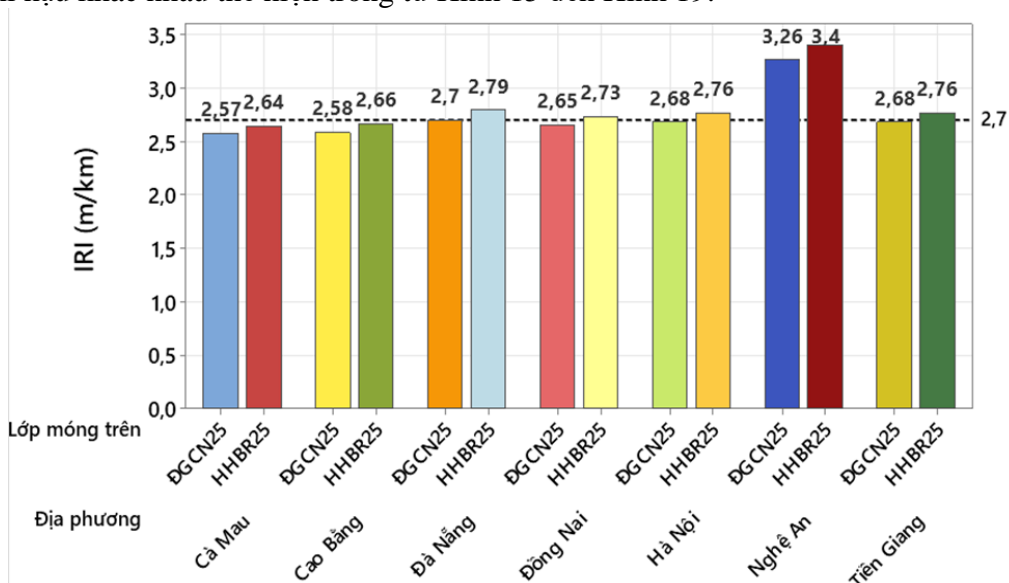
Bảng 7. Kết cấu mặt đường thiết kế theo TCCS 37.

Số thứ tự lớp	Lớp vật liệu	Chiều dày lớp vật liệu trong kết cấu, cm	
		Kết cấu 1	Kết cấu 2
1	BTNC 12,5 dùng nhựa PMB III (BTNP 12,5)	5	5
2	BTNC 19 dùng nhựa 60/70 (BTNC 19)	7	7
3.(1)	ĐGCN 25	10	-
3.(2)	HHBR 25	-	
4	Cấp phối đá dăm loại 1 (CPĐĐ L1)	54	61

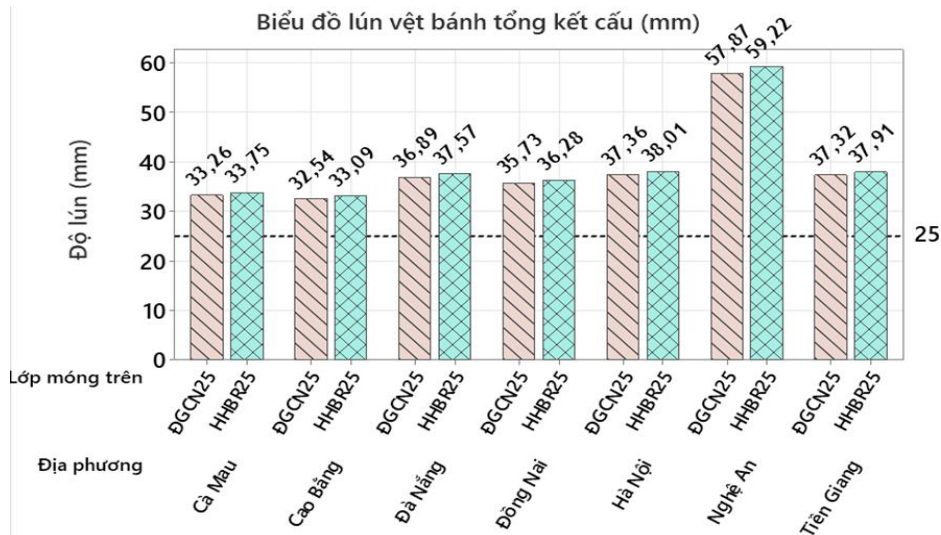
Kết quả tính toán kết cấu theo TCCS 37 trong Bảng 7 cho thấy khi sử dụng ĐGCN 25 làm lớp móng trên (kết cấu 1) thay cho lớp HHBR 25 (kết cấu 2) thì sẽ giảm được 7 cm chiều dày lớp móng dưới CPĐĐ L1. Nếu kết cấu 1 cũng lấy chiều dày của lớp CPĐĐ L1 như kết cấu 2 là 61 cm thì chỉ số kết cấu SN sẽ bằng 6,81 thừa 6,1% so với SN yêu cầu (6,417).

4.2. Phân tích kết cấu áo đường bằng phương pháp cơ học - thực nghiệm (ME)

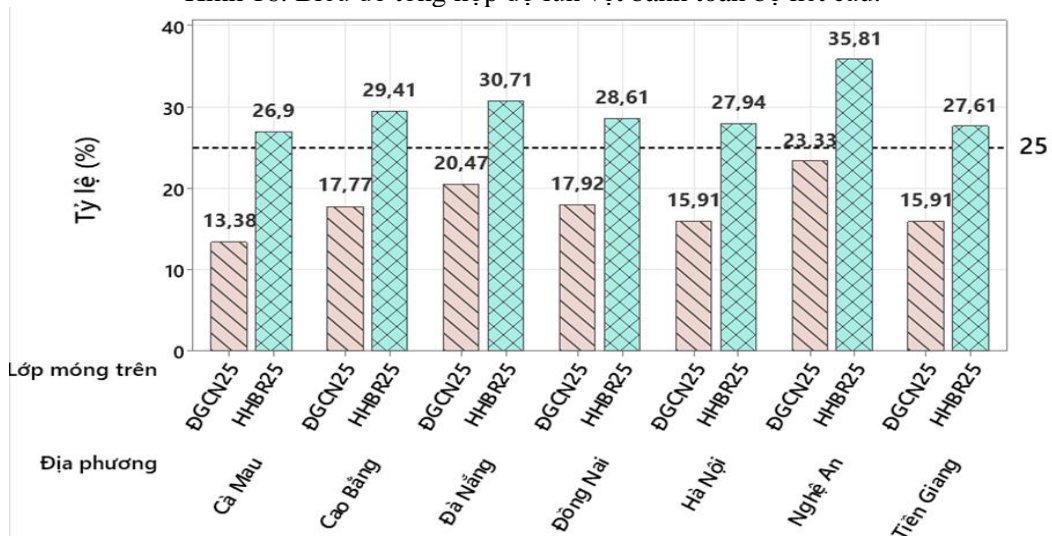
Phần mềm thiết kế mặt đường Darwin-ME 2.3.1 của AASHTO (AASHTOWare Pavement ME Design - MEPDG) được sử dụng để hỗ trợ phân tích, thiết kế mặt đường theo phương pháp ME. Kết cấu phân tích Kết cấu 1 và Kết cấu 2 trong Bảng 7, Mục 4.1. Tiêu chuẩn giới hạn thiết kế tham khảo đề xuất cho đường trục quan trọng, đường Quốc lộ, đường cấp III-ĐB trong nghiên cứu [14], độ tin cậy $R=90\%$. Kết quả phân tích kết cấu ở các điều kiện khí hậu khác nhau thể hiện trong từ Hình 15 đến Hình 19.



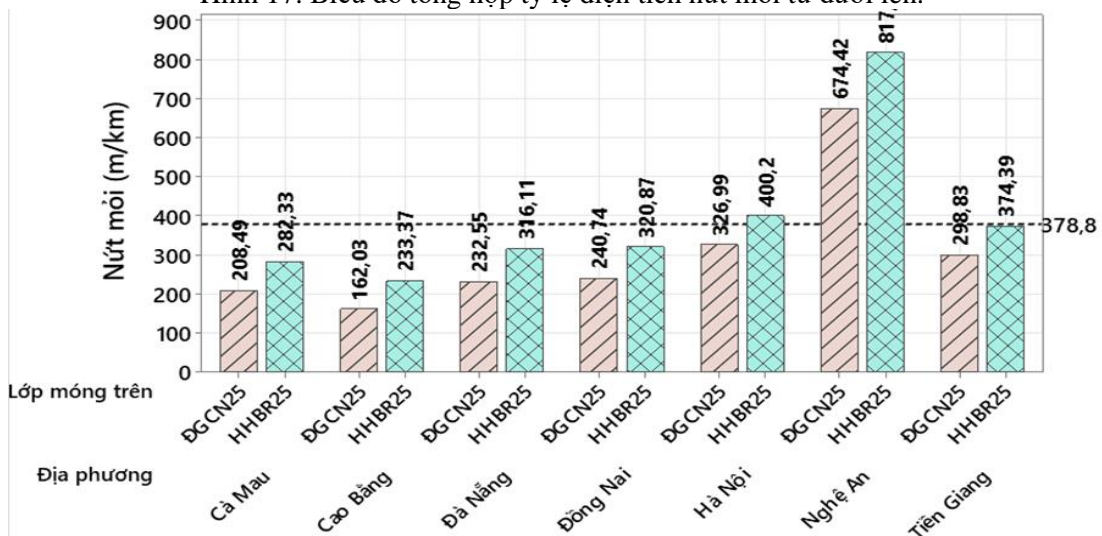
Hình 15. Biểu đồ tổng hợp độ gồ gề IRI của Kết cấu 1 (ĐGCN 25) Kết cấu 2 (HHBR 25).



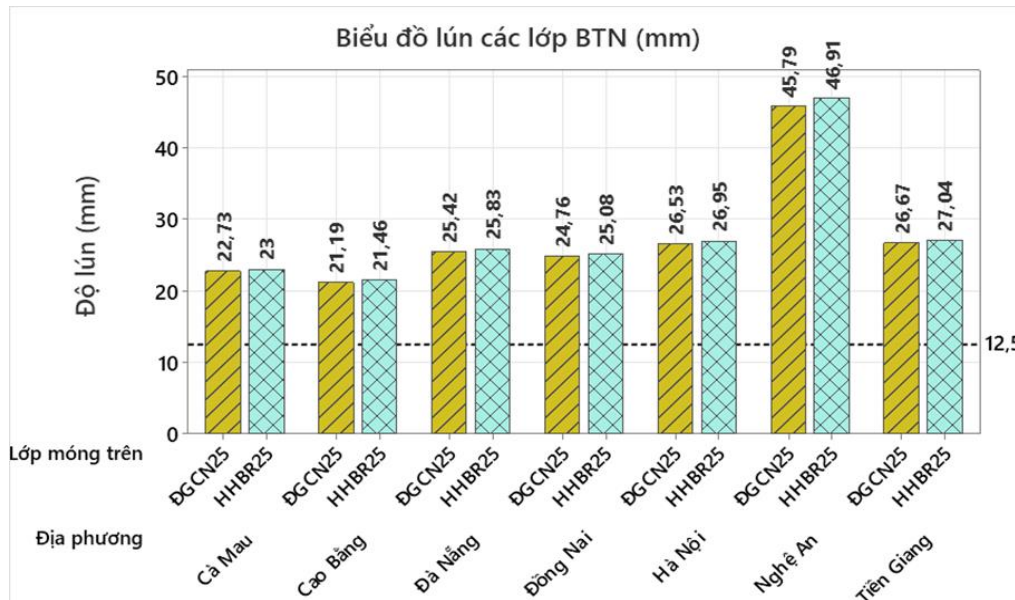
Hình 16. Biểu đồ tổng hợp độ lún vệt bánh toàn bộ kết cấu.



Hình 17. Biểu đồ tổng hợp tỷ lệ diện tích nứt môi từ dưới lên.



Hình 18. Biểu đồ tổng hợp nứt môi từ trên xuống.



Hình 19. Biểu đồ tổng hợp độ lún các lớp bê tông nhựa.

Phân tích kết quả thể hiện từ Hình 15 đến Hình 19 cho thấy ở các điều kiện khí hậu khác nhau, các chỉ tiêu đánh giá kết cấu đạt được các giá trị khác nhau và về cơ bản các đặc tính khai thác của kết cấu sử dụng lớp ĐGCN 25 làm lớp móng trên (kết cấu 1), đặc biệt là khả năng kháng mỏi tốt hơn kết cấu sử dụng lớp HHBR 25 (kết cấu 2), cụ thể như sau:

- Về chỉ tiêu độ lún toàn bộ kết cấu (Hình 16) và độ lún các lớp bê tông nhựa (Hình 19) tại tất cả các vùng khí hậu được xét, cả hai kết cấu đều không đạt yêu cầu. Tuy nhiên, kết cấu sử dụng ĐGCN 25 có độ lún nhỏ hơn so với kết cấu sử dụng HHBR 25.
- Về chỉ tiêu độ gồ ghề IRI (Hình 15) thì hầu hết các vùng được xét đều thỏa mãn khi dùng ĐGCN 25 (trừ Nghệ An), trong khi đó kết cấu sử dụng HHBR 25 chỉ thỏa mãn tại Cao Bằng, Cà Mau các vùng còn lại đều không thỏa mãn. IRI của kết cấu 1 đều nhỏ hơn đáng kể so với kết cấu 2.
- Đối với chỉ tiêu nứt mỗi từ dưới lên (Hình 17): Kết cấu sử dụng HHBR 25 không đạt đối với toàn bộ các vùng được xét; Trong khi đó kết cấu sử dụng ĐGCN 25 đều đạt và có giá trị thấp hơn nhiều so với giới hạn cho phép.
- Chỉ tiêu nứt mỗi từ trên xuống (Hình 18) cả hai kết cấu đều không đạt tại Nghệ An, kết cấu sử dụng HHBR 25 không đạt cả ở Hà Nội. Độ nứt mỗi từ trên xuống của kết cấu sử dụng ĐGCN 25 thấp hơn nhiều so với kết cấu sử dụng HHBR 25 (trung bình khoảng 80m/km).

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở các kết quả thí nghiệm trong phòng, kết quả tính toán kết cấu áo đường theo TCCS 37 và phân tích theo phương pháp ME đưa ra kết luận và kiến nghị:

- ĐGCN 25 có cường độ cao hơn HHBR 25 cụ thể: Các chỉ tiêu độ ổn định marshall, cường độ chịu kéo gián tiếp, mô đun đàn hồi tĩnh ĐGCN 25 đều cao gấp 1,5-1,6 lần HHBR 25; Mô đun đàn hồi động của ĐGCN 25 gấp đến 2 lần của HHBR 25; Hỗn hợp ĐGCN 25 đã đầm chặt cũng có khả năng kháng âm tốt hơn HHBR 25.

- Khi sử dụng ĐGCN 25 làm lớp móng trên thay cho lớp HHBR 25 thì sẽ giảm được chiều dày lớp móng dưới, tiết kiệm được tài nguyên.

- Từ kết quả phân tích bằng phương pháp cơ học-thực nghiệm khi sử dụng lớp móng ĐGCN 25 các đặc trưng khai thác của kết cấu đều tốt hơn so với HHBR 25, đặc biệt là khả năng kháng mỏi của kết cấu sử dụng lớp móng ĐGCN 25 tốt hơn nhiều so với sử dụng lớp HHBR 25.
- Với những ưu điểm trên kiến nghị sử dụng ĐGCN 25 làm lớp móng trên trong KCAĐ mềm cho các dự án xây dựng các tuyến đường cao tốc và đường ô tô cấp cao ở Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2023-CT-040. Tác giả xin chân thành cảm ơn trung tâm KHCN, phòng thí nghiệm bộ môn Vật liệu xây dựng trường ĐH GTVT đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Standard, British, BS 4987-1:2005 - Coated Macadam (asphalt concrete) for roads and other paved areas, Fifth edition, 2005.
- [2]. Sheng, J. A., Li, F. P., Chen, J., Technical specifications for construction of highway asphalt Pavement, Ministry of Communications of the People's Republic of China, Beijing, 2005. <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/JTGF40-2004>
- [3]. Delorme, J. L., De la Roche, C., Wendling, L., LPC Bituminous Mixtures Design Guide, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France, 2007. <https://www.yumpu.com/en/document/view/49787299/6-lpc-bituminous-mixtures-design-guide-sept-2007-aapaqorg>
- [4]. Trần Danh Hợi, Nghiên cứu hỗn hợp đá – nhựa nóng cường độ cao dùng trong kết cấu mặt đường ô tô cấp cao ở Việt Nam, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT, Việt Nam, 2019
- [5]. Trần Danh Hợi, Bùi Xuân Cây, Nghiên cứu thực nghiệm xác định một số chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp đá – nhựa chặt sử dụng làm móng của kết cấu áo đường mềm, Tạp chí GTVT, 9 (2017) 41 - 45.
- [6]. Trần Danh Hợi, Trần Thị Kim Đăng, Nghiên cứu mô đun động của hỗn hợp đá- nhựa làm móng của kết cấu áo đường mềm, Tạp chí Cầu Đường, 10 (2017) 10 - 14.
- [7]. Trần Danh Hợi, Đặng Minh Tân, Phân tích kết cấu mặt đường mềm với lớp mặt dưới và móng trên sử dụng đá – nhựa cường độ cao, Tạp chí GTVT, 4 (2021) 34 - 37
- [8]. Trần Danh Hợi, Trần Thị Cẩm Hà, Nghiên cứu ảnh hưởng của lớp móng cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng đến tuổi thọ của kết cấu mặt đường mềm ở Việt Nam, Tạp chí GTVT, 12 (2020) 73 - 76.
- [9]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 13567 - 3, Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng – Thi công và nghiệm thu – Hỗn hợp nhựa bán rỗng, 2022.
- [10]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 26, Hỗn hợp cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng sử dụng trong kết cấu áo đường – Yêu cầu thi công và nghiệm thu, 2019.
- [11]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 38, Áo đường mềm – Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế, 2022
- [12]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 37, Áo đường mềm – Yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế theo chỉ số kết cấu SN, 2022.
- [13]. Trần Thị Cẩm Hà, Nghiên cứu thành phần, tính chất cơ học và khả năng sử dụng bitum epoxy làm chất kết dính cho hỗn hợp asphalt tại Việt Nam, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT, Việt Nam, 2020.
- [14]. Nguyễn Hoàng Long, Nghiên cứu cơ sở khoa học để áp dụng phương pháp cơ học – thực nghiệm (The Mechanistic Empirical Pavement Design – MEPD) trong phân tích kết cấu áo đường mềm ở Việt Nam, Đề tài cấp bộ năm 2017, Mã số: DT 174055, Bộ Giao thông Vận tải, Việt Nam, 2017.