



## RESEARCHING PARAMETERS OF CARBONCOR ASPHALT LAYER IN DESIGNING FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES IN VIETNAM

Nguyen Quang Phuc<sup>1</sup>, Tran Thi Cam Ha<sup>1\*</sup>, Nguyen Van Tuong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam Carbon Joint Stock Company, No. 127 Hoang Ngan Street, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 20/03/2024

Revised: 24/04/2024

Accepted: 28/05/2024

Published online: 15/06/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.5.4>

\* *Corresponding author*

Email: [Tranthicamha@utc.edu.vn](mailto:Tranthicamha@utc.edu.vn); Tel: +84912067633

**Abstract.** Carboncor Asphalt (CA), a type of cold mix asphalt concrete, is an environmentally friendly material that utilizes low CO<sub>2</sub> emission technology. CA has been used in several countries such as South Africa and Australia as road surface layers. In Vietnam, CA has been utilized as road surface and maintenance layers for highways like National Highway 6 in Hoa Binh, National Highway 10, National Highway 40B, National Highway 279 in Bac Kan, National Highway 2C in Tuyen Quang, etc. However, according to related standards using in Vietnam, CA is regarded solely as a surface treatment layer and is not factored into pavement structure thickness during the design process. The paper presents laboratory research results on some physical and mechanical properties of CA with nominal maximum particle sizes of 9.5mm, 12.5mm, and 19mm (CA 9.5, CA 12.5, and CABR 19), determining the layer coefficient values for these three types of CA. The research results demonstrate that CA 9.5, CA 12.5, and CABR 19 possess adequate strength to serve as load-bearing layers in pavement structures, and thus, they should be considered in pavement structure thickness during the design phase. The study also proposes values for  $E_{dh}$  (Static elasticity module),  $R_{ku}$  (Flexural strength), Resilient Modulus and  $a_i$  (layer coefficients) of various CA types to facilitate the design of flexible structures in accordance with TCCS 38 and TCCS 37 standards.

**Keywords:** Carboncor Asphalt, CA, CABR, Static elasticity module, Resilient Modulus, Flexural strength, layer coefficients  $a_i$ .

@2024 University of Transport and Communications



## NGHIÊN CỨU CÁC THÔNG SỐ CỦA LỚP CARBONCOR ASPHALT KHI THIẾT KẾ KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG MỀM Ở VIỆT NAM

Nguyễn Quang Phúc<sup>1</sup>, Trần Thị Cẩm Hà<sup>1\*</sup>, Nguyễn Văn Tường<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam, Số 127 Hoàng Ngân, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 20/03/2024

Ngày nhận bài sửa: 24/04/2024

Ngày chấp nhận đăng: 28/05/2024

Ngày xuất bản Online: 15/06/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.5.4>

\* Tác giả liên hệ

Email: [Tranhticamha@utc.edu.vn](mailto:Tranhticamha@utc.edu.vn); Tel: +84912067633

**Tóm tắt.** Carboncor Asphalt (CA) - một dạng bê tông nhựa trộn nguội là loại vật liệu xanh, sử dụng công nghệ ít phát thải khí CO<sub>2</sub>. CA đã được sử dụng ở một số nước trên thế giới như Nam Phi, Úc làm các lớp mặt đường. Ở Việt Nam, CA đã được sử dụng làm lớp mặt đường, lớp bảo trì cho các tuyến đường như Quốc lộ 6 Hòa Bình, Quốc lộ 10, Quốc lộ 40B, Quốc lộ 279 Bắc Kạn, Quốc lộ 2C Tuyên Quang,.... Tuy nhiên, trong tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành chỉ xem lớp CA là lớp hao mòn bảo vệ và không được tính vào chiều dày kết cấu áo đường (KCAĐ) khi kiểm toán. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý của CA có cỡ hạt lớn nhất danh định 9,5mm, 12,5mm, 19mm (CA 9,5, CA 12,5 và CABR 19) và kết quả xác định hệ số lớp a<sub>i</sub> của ba loại CA này. Kết quả nghiên cứu cho thấy CA 9,5, CA 12,5 và CABR 19 đủ cường độ để có thể sử dụng làm lớp chịu lực trong kết cấu áo đường (KCAĐ) và được tính vào chiều dày KCAĐ khi kiểm toán. Nghiên cứu cũng đề xuất các thông số mô đun đàn hồi tĩnh (E<sub>th</sub>), cường độ chịu kéo uốn (R<sub>ku</sub>), mô đun đàn hồi động và hệ số lớp a<sub>i</sub> của các loại CA để phục vụ thiết kế KCAĐ mềm theo TCCS 38 và TCCS 37.

**Từ khóa:** Carboncor Asphalt, CA, CABR, mô đun đàn hồi tĩnh, mô đun đàn hồi động, cường độ chịu kéo uốn, hệ số lớp a<sub>i</sub>.

@2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc phát triển các loại vật liệu xanh, đặc biệt là vật liệu ít phát thải khí CO<sub>2</sub> ra môi trường trong quá trình sản xuất, thi công đã và đang trở thành xu thế tất yếu của ngành xây dựng nói chung và xây dựng công trình giao thông nói riêng. Carboncor Asphalt (CA) – một loại bê tông nhựa trộn nguội là loại vật liệu xanh với ba thành phần: Xít than (than đá thải) sau sàng, nhũ tương kiềm và đá dăm. Công nghệ thi công lớp áo đường bằng Carboncor Asphalt đã được cấp phép từ năm 1999 và được ứng dụng trên 40 quốc gia trên thế giới [1]. Hơn một thập kỷ vừa qua (từ 2009), ở Việt Nam, CA được sản xuất, cung cấp độc quyền bởi Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam theo giấy phép bởi Carboncor Technology– EU và đã được sử dụng giống như lớp phủ mỏng [2] trong công tác sửa chữa, nâng cấp, cải tạo, làm mới ở nhiều tỉnh thành như Quốc lộ 6 Hòa Bình, Quốc lộ 10, Quốc lộ 40B, Quốc lộ 279 Bắc Kạn, Quốc lộ 2C Tuyên Quang...[1]. Tổng Cục Đường bộ Việt Nam đã ban hành TCCS 09:2014 về thi công và nghiệm thu lớp CA trong xây dựng và sửa chữa kết cấu áo đường ô tô. Tuy nhiên, trong tiêu chuẩn này chỉ đề cập đến CA có đường kính hạt lớn nhất danh định 6,7 và 9,5 mm (CA 6,7 và CA 9,5) và coi lớp CA chỉ là lớp hao mòn bảo vệ nên không được tính vào chiều dày kết cấu áo đường (KCAĐ) khi kiểm toán [3]. Vì vậy việc nghiên cứu mở rộng các loại CA có cỡ hạt lớn nhất danh định 12,5 và 19 mm (CA 12,5 và CABR 19) và đánh giá khả năng sử dụng lớp CA làm lớp chịu lực trong KCAĐ là cần thiết. Bài báo trình bày kết quả thực nghiệm xác định các thông số phục vụ thiết kế KCAĐ mềm theo TCCS 37 và TCCS 38 (Mô đun đàn hồi tĩnh E<sub>đh</sub>, cường độ chịu kéo uốn R<sub>ku</sub>, mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp E<sub>AC</sub>) của vật liệu CA 9,5, CA 12,5 và CABR 19 từ đó đề xuất các thông số E<sub>đh</sub>, R<sub>ku</sub>, hệ số lớp a<sub>i</sub> của các loại CA.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Bảng 1. Thành cấp phối của Carboncor Asphalt (CA).

Loại CA	CA 9,5	CA 12,5	CABR 19
1. Cỡ hạt lớn nhất danh định, mm	9,5	12,5	19
2. Cỡ sàng mắt vuông, mm	<b>Lượng lọt qua sàng, % Khối lượng</b>		
25			100
19		100	99,44
12,5	100	91,3	85,31
9,5	99,43	85,00	72,65
4,75	70,63	60,3	32,59
2,36	42,1	37,9	18,04
1,18	27,83	25,4	-
0,6	20,71	19	7,42
0,3	12,73	11,5	-
0,15	9,18	8,4	-
0,075	6,53	5,8	-
3. Hàm lượng nhũ tương carbon (% theo khối lượng hỗn hợp)	8,8	8,2	6,1
4. Hàm lượng nhựa trong nhũ tương (%)	60	60	60

Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng đánh giá các chỉ tiêu: Mô đun đàn hồi tĩnh E<sub>đh</sub>, cường độ chịu kéo uốn R<sub>ku</sub>, mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp E<sub>AC</sub> của ba loại CA

(CA 9,5, CA 12,5 và CABR 19) được sản xuất tại nhà máy đặt tại tỉnh Hà Nam của Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam có thành phần hạt thể hiện trong Bảng 1.

Các thử nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm trọng điểm LasXD 1256 và phòng thí nghiệm bộ môn Vật liệu xây dựng của Trường Đại học GTVT. Với thiết kế thực nghiệm và phân tích thống kê bằng phần mềm Minitab 21.4.2 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 D6927-2015 và ASTM D4867-2014.

### 2.1 Thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh

Thí nghiệm xác định Mô đun đàn hồi tĩnh được thực hiện theo mô hình nén từ biến theo phụ lục C của tiêu chuẩn TCCS38:2022 [4], bằng cách nén mẫu trụ tròn trong điều kiện nở hông tự do. Mẫu thí nghiệm có đường kính  $D=10$  cm, chiều cao  $H=10$  cm. Mẫu được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng ít nhất 24 giờ và được giữ ở nhiệt độ thí nghiệm trong 2,5 giờ trước khi tiến hành thí nghiệm. Thử nghiệm được thực hiện ở 04 nhiệt độ: 10, 15, 30 và 60 độ C. 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.

Nhiệt độ, °C	Loại bê tông nhựa Carboncor Asphalt		
	CA 9,5	CA 12,5	CABR 19
10	3	3	3
15	3	3	3
30	3	3	3
60	3	3	3
<b>Tổng số mẫu</b>	<b>36</b>		

Hỗn hợp CA được sản xuất và đóng bao tại nhà máy đặt tại tỉnh Hà Nam của Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam. Mẫu thí nghiệm được chế bị bằng thiết bị đầm xoay Troxlex 4140, hỗn hợp CA trước khi đầm nén chế tạo mẫu được gia nhiệt ở 135°C trong 4h [3]. Sau khi chế tạo, mẫu được bảo dưỡng tối thiểu 24h trong điều kiện nhiệt độ phòng (25°C) trước khi tiến hành thí nghiệm.



a. Mẫu sau đầm nén

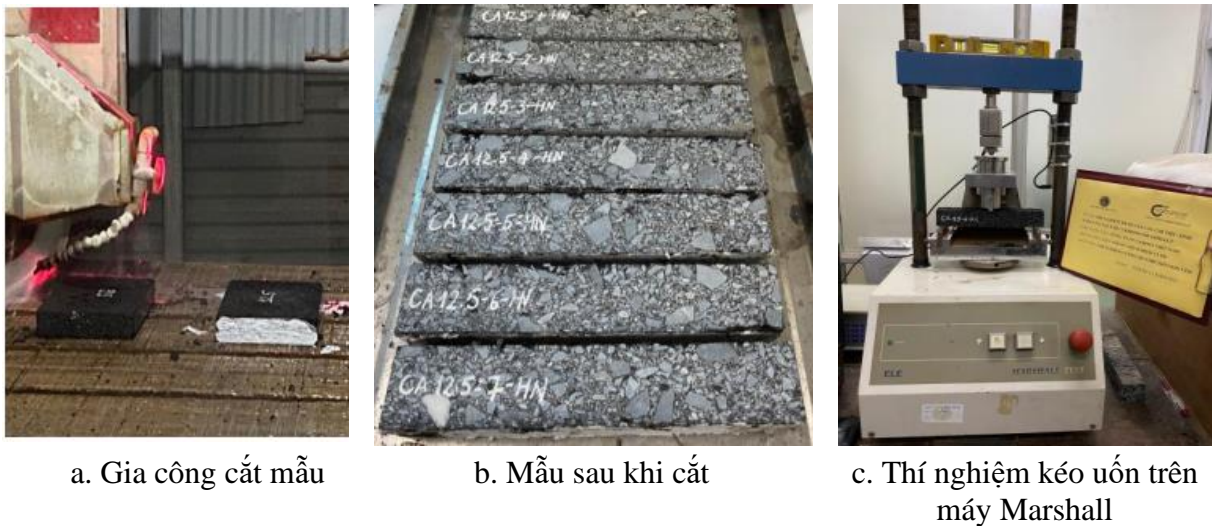


b. Nén mẫu bằng thiết bị Cooper

Hình 1. Thí nghiệm Mô đun đàn hồi tĩnh.

## 2.2 Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo uốn

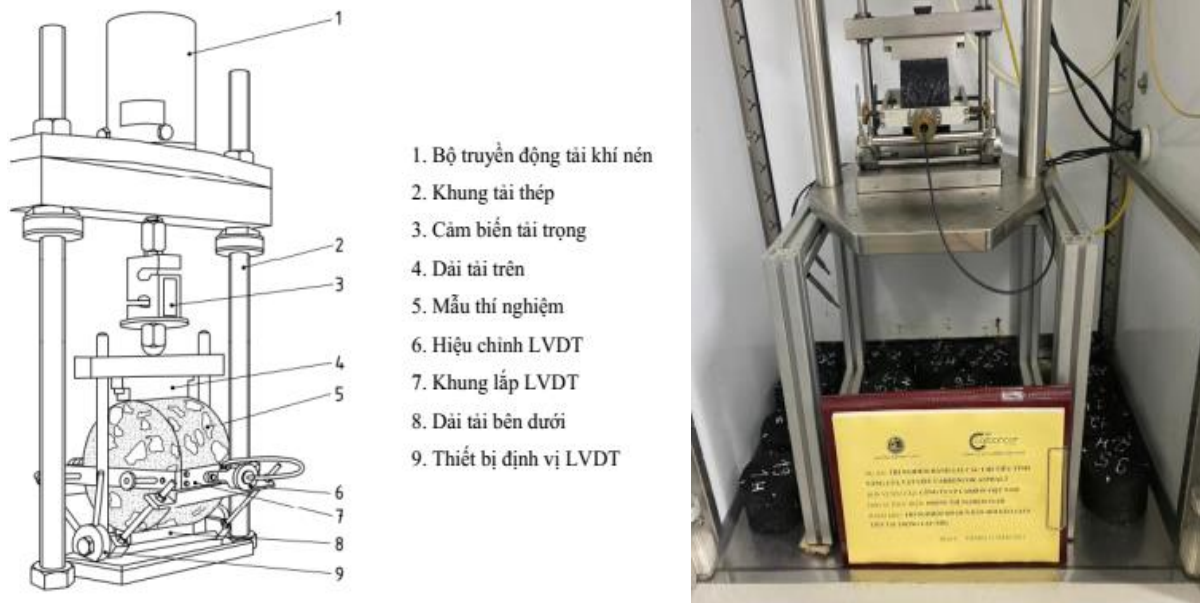
Cường độ chịu kéo uốn ở nhiệt độ thấp là một thông số quan trọng thể hiện khả năng chịu lực của bê tông nhựa được sử dụng trong kiểm toán thiết kế KCAĐ mềm theo TCCS 38:2022. Cường độ kéo uốn của mẫu CA được xác định theo phụ lục C của TCCS 38:2022 [4], thực hiện trên mẫu kiểu đầm kích thước 220 x 40 x 40 mm (Hình 2.b). Để chế tạo các mẫu thí nghiệm, các hỗn hợp CA được trộn trong nhà máy tại Hà Nam và đúc trên máy đầm lăn tại phòng thí nghiệm LASXD 1256 – Trường Đại học Giao thông vận tải theo chỉ dẫn trong TCCS 09 [3] và khuyến cáo của nhà sản xuất. Sau đó các mẫu dạng tấm được cắt laser thành các mẫu đầm tại xưởng sản xuất đá hoa cương đạt kích thước thiết kế 220 x 40 x 40 mm (Hình 2.a). Mẫu được bảo ôn ở 15°C trong thời gian 5 giờ trước khi thực hiện thí nghiệm trên máy nén Marshall (Hình 2.c). Mỗi loại CA tiến hành thí nghiệm trên 01 tổ hợp gồm 3 mẫu, tổng số mẫu là 09 mẫu.



Hình 2. Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo uốn.

## 2.3 Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi động kéo gián tiếp tải trọng lặp

Mô đun đàn hồi động kéo gián tiếp tải trọng lặp ( $E_{AC}$ ) của bê tông nhựa là thông số đầu vào của vật liệu để phục vụ thiết kế, tính toán kết cấu áo đường mềm theo TCCS 37:2022 [5]. Thí nghiệm xác định  $E_{AC}$  được tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM D 4123 [6]. 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 biến dạng bằng LVDT, đo lực bằng Loadcell, toàn bộ quá trình thí nghiệm được thực hiện tự động nhờ phần mềm điều khiển đi kèm máy (EN 12697-26). Thí nghiệm thực hiện ở điều kiện nhiệt độ mẫu 20°C (nhiệt độ tính toán của mặt đường theo AASHTO 93 [7]), tần số gia tải 1,0 Hz, mỗi loại CA tiến hành thử nghiệm trên 01 tổ hợp gồm 3 mẫu, tổng số mẫu là 09 mẫu.



Hình 3. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi động trên thiết bị Cooper.

#### 4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

##### 3.1. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh của Carboncor Asphalt

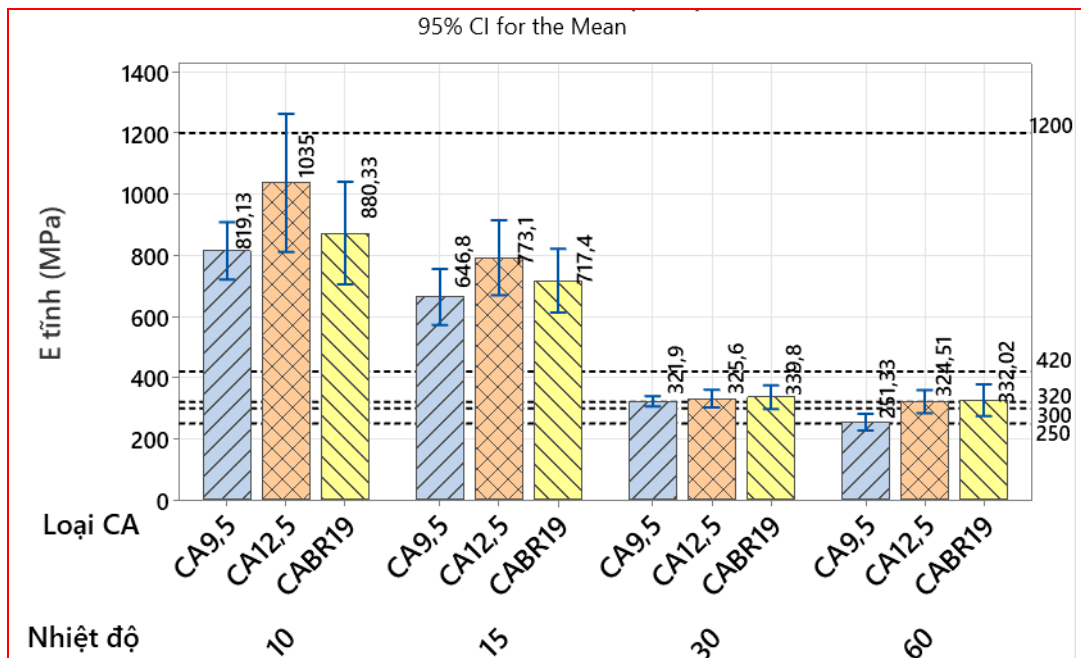
Kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tĩnh ( $E_{đh}$ ) của CA được đánh giá độ chụm theo hệ số biến động  $C_v = 6\%$ , kết quả đánh giá cho thấy kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tĩnh của cả ba hỗn hợp CA ở tất cả các nhiệt độ thí nghiệm đều đảm bảo độ chụm. Bảng 3 thể hiện chi tiết kết quả đánh giá độ chụm kết quả thí nghiệm  $E_{đh}$  ở  $15^\circ\text{C}$ . Chi tiết kết quả thí nghiệm  $E_{đh}$  được thể hiện trong Bảng 4 và Hình 4.

Bảng 3. Đánh giá độ chụm kết quả thí nghiệm  $E_{đh}$  ở  $15^\circ\text{C}$ .

TT	Chỉ tiêu	Mẫu	CA 9,5	CA 12,5	CABR 19
1	Mô đun đàn hồi tĩnh ở nhiệt độ $15^\circ\text{C}$ , MPa	1	637,10	846,60	758,30
		2	646,80	752,90	674,30
		3	705,30	773,10	717,40
		TB	<b>663,07</b>	<b>790,87</b>	<b>716,67</b>
2	Khoảng chênh lệch R: max-min	MPa	68,20	93,70	84,00
3	Hệ số biến động cho phép $C_v$	%	6	6	6
4	Khoảng chấp nhận cho phép so với giá trị trung bình: $3,3 \times C_v$	%	19,8	19,8	19,8
5	Giá trị độ lệch cho phép	MPa	131,29	156,59	141,90
6	Đánh giá: So sánh (2) và (5)	-	Đạt	Đạt	Đạt

Bảng 4. Tổng hợp kết quả thí nghiệm  $E_{dh}$  của CA

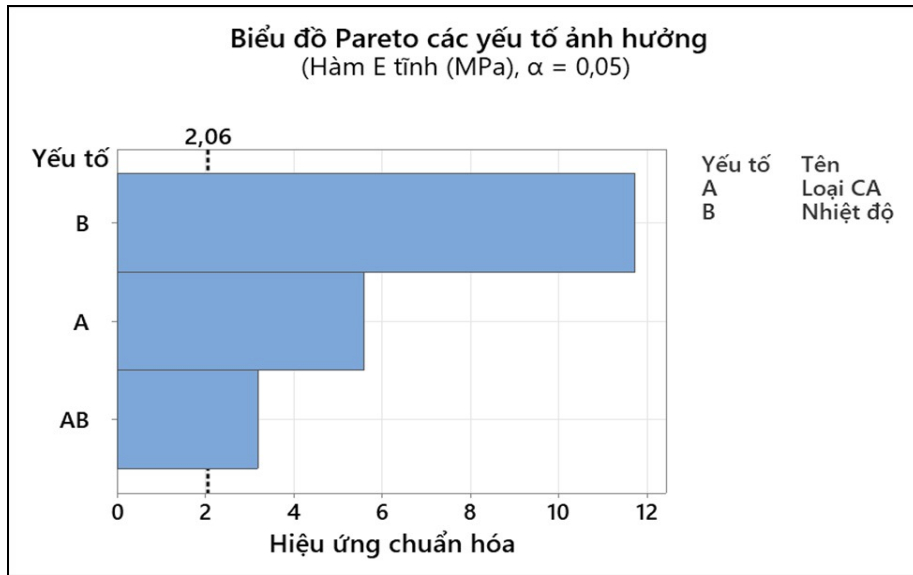
Loại CA	Mẫu	Nhiệt độ thí nghiệm, °C			
		10	15	30	60
CA 9,5	Mẫu 1	819,13	637,10	321,90	265,22
	Mẫu 2	848,28	646,80	314,90	251,33
	Mẫu 3	773,36	705,30	328,70	243,70
	<b>Trung bình</b>	<b>813,59</b>	<b>663,07</b>	<b>321,83</b>	<b>253,42</b>
CA 12,5	Mẫu 1	945,73	846,60	322,50	324,51
	Mẫu 2	1035,00	752,90	325,60	303,85
	Mẫu 3	1127,22	773,10	344,00	333,60
	<b>Trung bình</b>	<b>1035,98</b>	<b>790,87</b>	<b>330,70</b>	<b>320,65</b>
CABR 19	Mẫu 1	800,33	758,30	318,00	332,02
	Mẫu 2	880,33	674,30	339,80	341,77
	Mẫu 3	934,75	717,40	348,60	301,96
	<b>Trung bình</b>	<b>871,80</b>	<b>716,67</b>	<b>335,47</b>	<b>325,25</b>



Hình 4. Mô đun đàn hồi tĩnh của CA.

Biểu đồ Hình 4 cho thấy ở nhiệt độ thí nghiệm 10°C và 15°C, cả ba hỗn hợp CA được thử nghiệm đều có mô đun đàn hồi tĩnh ( $E_{dh}$ ) thấp hơn 1200 MPa - khoảng giá trị tham khảo của hỗn hợp BTN được nêu trong Bảng C.1 của TCCS 38 [3]. Nhưng ở nhiệt độ 30°C và 60°C,  $E_{dh}$  của các hỗn hợp thử nghiệm đều cao hơn giá trị tham khảo tối thiểu ở nhiệt độ tương ứng trong Bảng C.1 (320 MPa và 250 MPa). Đặc biệt, ở nhiệt độ thí nghiệm 60°C, các hỗn hợp CA có  $E_{dh}$  lớn hơn mức tối thiểu trung bình xấp xỉ 20%. Điều này cho thấy ở miền nhiệt độ cao, trong điều kiện làm việc đàn hồi, hỗn hợp Carboncor Asphalt có tính ổn định tương đối cao, tương đương với hỗn hợp BTN nóng.

Biểu đồ Pareto ở Hình 5, đường thẳng đứng đều cắt qua tất cả các hàng, thể hiện 2 biến loại CA, nhiệt độ thí nghiệm (t) và tích các biến đều có ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi tĩnh của Carboncor ( $E_{đh}$ ) có ý nghĩa thống kê.



Hình 5. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng mô đun đàn hồi tĩnh ( $E_{đh}$ ).

Bảng 5. Phân tích phương sai ANOVA kết quả thí nghiệm  $E_{đh}$

Source (nguồn)	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model (Mô hình)	11	2.527.103	229.737	131,26	0,000
Linear (Tuyến tính)	5	2.480.874	496.175	283,48	0,000
Loại CA	2	68.274	34.137	19,50	0,000
Nhiệt độ	3	2.412.600	804.200	459,46	0,000
2-Way Interactions (Tương tác 2 chiều)	6	46.229	7.705	4,40	0,004
Loại CA*Nhiệt độ	6	46.229	7.705	4,40	0,004
Error (Sai số)	24	42.007	1.750		
Total (Tổng)	35	2.569.110			

**Kết quả**

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
41,8366	98,36%	97,62%	96,32%

Kết quả phân tích ANOVA trong Bảng 5 cho thấy: Các biến đều có hệ số P-value << 0,05; Hệ số xác định điều chỉnh  $R^2_{đc}=96,32\%$ . Như vậy kết quả thực nghiệm các yếu tố đầu vào gồm loại CA, nhiệt độ và tích tương tác của chúng đều ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi tĩnh của Carboncor ( $E_{đh}$ ) có ý nghĩa thống kê ở mức độ tin cậy cao.

Kết quả thiết lập phương trình hồi quy quan hệ giữa mô đun đàn hồi tĩnh  $E_{đh}$  và nhiệt độ của các loại CA trong phạm vi nghiên cứu được thể hiện trong các công thức (1), (2) và (3):

- **CA 9,5:** 
$$E_{đh} = 884,48 * e^{(-0,02291*t)} \tag{1}$$

Analysis of Variance (Phân tích phương sai)



Source (Nguồn)	DF	SS	MS	F	P-value
Regression (Hồi quy)	1	2,39064	2,39064	53,42	0,000
Error (Sai số)	10	0,44754	0,04475		
Total (Tổng)	11	2,83818			
	<b>S</b>	<b>R-sq</b>	<b>R-sq(adj)</b>		
	0,211550	84,23%	82,65%		

- **CA 12,5:**  $E_{dh} = 1037,95 * e^{(-0,0226*t)}$  (2)

Analysis of Variance (Phân tích phương sai)

Source (Nguồn)	DF	SS	MS	F	P-value
Regression (Hồi quy)	1	2,32695	2,32695	24,75	0,001
Error (Sai số)	10	0,94012	0,09401		
Total (Tổng)	11	3,26707			
	<b>S</b>	<b>R-sq</b>	<b>R-sq(adj)</b>		
	0,306615	71,22%	68,35%		

- **CABR 19:**  $E_{dh} = 888,91 * e^{(-0,01929*t)}$  (3)

Analysis of Variance (Phân tích phương sai)

Source (Nguồn)	DF	SS	MS	F	P-value
Regression (Hồi quy)	1	1,69594	1,69594	25,09	0,001
Error (Sai số)	10	0,67586	0,06759		
Total (Tổng)	11	2,37180			
	<b>S</b>	<b>R-sq</b>	<b>R-sq(adj)</b>		
	0,259973	71,50%	68,65%		

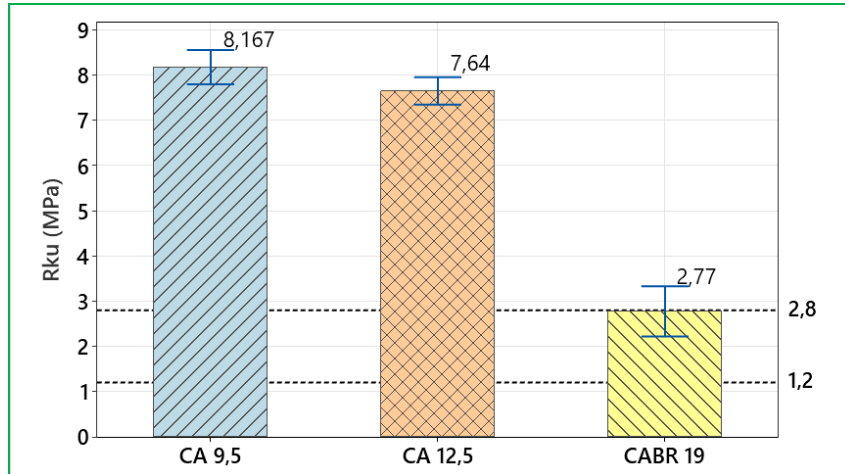
Các phương trình đều đảm bảo độ tin cậy với hệ số xác định tương đối cao (trên 70%), đặc biệt phương trình của CA 9,5 có R<sup>2</sup> lên tới 84,23%; Hệ số P-value của các tham số đều nhỏ hơn 0,05.

### 3.2. Kết quả xác định cường độ chịu kéo uốn

Cường độ chịu kéo uốn của CA trong nghiên cứu được xác định ở nhiệt độ 15°C [4], kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 6 và Hình 6. Đánh giá độ chụm theo hệ số biến động C<sub>v</sub> = 6% cho thấy kết quả thí nghiệm xác định R<sub>ku</sub> của cả ba hỗn hợp CA đều đảm bảo độ chụm.

Bảng 6. Đánh giá độ chụm kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo uốn (R<sub>ku</sub>) của CA.

TT	Chỉ tiêu	Mẫu	CA 9,5	CA 12,5	CABR 19
1	Cường độ chịu kéo khi uốn (R <sub>ku</sub> ) ở 15°C, MPa	1	8,20	7,57	2,52
		2	8,00	7,78	2,95
		3	8,30	7,57	2,84
		<b>Trung bình</b>	<b>8,17</b>	<b>7,64</b>	<b>2,77</b>
2	Khoảng chênh lệch R: max-min	MPa	0,30	0,21	0,43
3	Hệ số biến động cho phép C <sub>v</sub>	%	6	6	6
4	Khoảng chấp nhận cho phép so với giá trị trung bình: 3,3xC <sub>v</sub>	%	19,8	19,8	19,8
5	Giá trị độ lệch cho phép	MPa	1,62	1,51	0,55
6	Đánh giá: So sánh (2) và (5)	-	Đạt	Đạt	Đạt



Hình 6. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo uốn của CA.

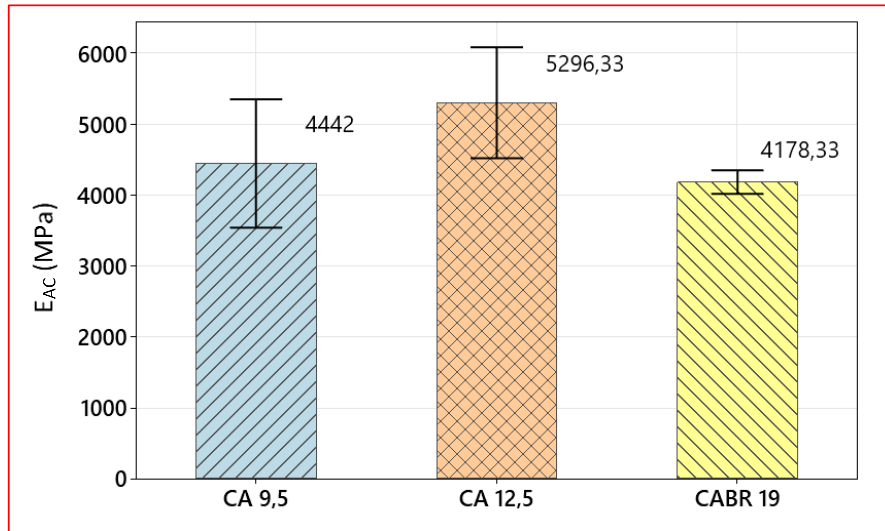
Kết quả thí nghiệm thể hiện trong Hình 6 cho thấy ở nhiệt độ 15°C, cả ba loại CA thử nghiệm đều có cường độ chịu kéo khi uốn  $R_{ku}$  tương đối cao, đặc biệt là CA 9,5 cụ thể: CABR 19 có  $R_{ku}$  bằng 2,77 MPa xấp xỉ bằng giá trị  $R_{ku}$  lớn nhất tham khảo của BTN trong Bảng C.1 - TCCS 38 (2,8 MPa) [4]; CA 9,5 và CA 12,5 lần lượt có  $R_{ku}$  cao gấp 2,91 và 2,73 lần giá trị lớn nhất tham khảo của BTN trong Bảng C.1 - TCCS 38 (2,8 MPa) [4]. Như vậy, mặc dù ở miền nhiệt độ thấp CA có  $E_{đh}$  thấp hơn giá trị tham khảo của BTN trong TCCS 38 nhưng khả năng chịu kéo khi uốn vẫn cao hơn nhiều lần so với yêu cầu.

### 3.4. Kết quả xác định mô đun đàn hồi động kéo gián tiếp tải trọng lặp của CA

Kết quả xác định mô đun đàn hồi động xác định bằng phương pháp kéo gián tiếp ( $E_{AC}$ ) của CA được thể hiện trong Hình 7, kết quả đánh giá độ chụm theo hệ số biến động  $C_v = 6\%$  cho thấy kết quả thí nghiệm đảm bảo độ chụm (Bảng 7).

Bảng 7. Đánh giá độ chụm kết quả thí nghiệm xác định  $E_{AC}$  của CA.

TT	Chỉ tiêu	Mẫu	CA 9,5	CA 12,5	CABR 19
1	Mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp ( $E_{AC}$ ) ở nhiệt độ 20°C, MPa	1	4795,00	4936,00	4254,00
		2	4463,00	5433,00	4129,00
		3	4068,00	5520,00	4152,00
		TB	<b>4442,00</b>	<b>5296,33</b>	<b>4178,33</b>
2	Khoảng chênh lệch R: max-min	MPa	727,00	584,00	125,00
3	Hệ số biến động cho phép $C_v$	%	6	6	6
4	Khoảng chấp nhận cho phép so với giá trị trung bình: $3.3 \times C_v$	%	19,8	19,8	19,8
5	Giá trị độ lệch cho phép	MPa	879,52	1048,67	827,31
6	Đánh giá: So sánh (2) và (5)	-	Đạt	Đạt	Đạt



Hình 7. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi động kéo gián tiếp tải trọng lặp ( $E_{AC}$ ) của CA.

Phân tích kết quả thí nghiệm xác định  $E_{AC}$  thể hiện trong Hình 7 cho thấy cả ba loại CA trong nghiên cứu đều có giá trị  $E_{AC}$  tương đối cao, đặc biệt là CA 12,5 có  $E_{AC}$  trung bình lên tới 5296,33 MPa, tương đương với  $E_{AC}$  của BTNC 12,5 sử dụng bitum 60/70 trong các nghiên cứu [8, 9,10].

Tiến hành xác định hệ số lớp  $a_i$ : Từ kết quả thí nghiệm, xác định mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp đặc trưng ( $E_{AC}^{DT}$ ) của CA theo công thức (4); hệ số ảnh hưởng theo mùa tham khảo [11]; xác định mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp tính toán ( $E_{AC}^{TT}$ ) theo công thức (5); tra hệ số lớp  $a_i$  dựa vào  $E_{AC}$  tính toán từ toán đồ Hình 8 trong TCCS 37 [5]; kết quả chi tiết các bước được thể hiện trong Bảng 8.

Công thức xác định mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp đặc trưng ( $E_{AC}^{DT}$ ):

$$E_{AC}^{DT} = E_{AC}^{TB} - K * S \quad (4)$$

Trong đó:

$E_{AC}^{TB}$  – Mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp trung bình của các mẫu thí nghiệm, MPa.

S – độ lệch chuẩn, MPa.

K – hệ số phụ thuộc vào độ tin cậy yêu cầu, K = 1,69 với độ tin cậy 95%.

Công thức xác định mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp tính toán ( $E_{AC}^{TT}$ ):

$$E_{AC}^{TT} = \frac{E_{AC}^{DT}}{K_m} \quad (5)$$

Trong đó:

$E_{AC}^{DT}$  – Mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp đặc trưng, MPa.

$K_m$  – Hệ số ảnh hưởng theo mùa

Bảng 8. Kết quả xác định hệ số lớp  $a_i$  của CA.

TT	Chỉ tiêu	Mẫu (hoặc đơn vị)	CA 9,5	CA 12,5	CABR 19
1	Mô đun đàn hồi kéo gián tiếp tải trọng lặp ( $E_{AC}$ ) ở nhiệt độ 20°C, MPa	1	4795,00	4936,00	4254,00
		2	4463,00	5433,00	4129,00
		3	4068,00	5520,00	4152,00
		TB	<b>4442,00</b>	<b>5296,33</b>	<b>4178,33</b>
2	Độ lệch chuẩn (S)	MPa	363,95	315,08	66,53
3	$E_{AC}$ đặc trưng ( $E_{AC}^{BT}$ )	MPa	<b>3828,43</b>	<b>4765,16</b>	<b>4066,17</b>
4	Hệ số ảnh hưởng theo mùa ( $K_m$ )		1,29	1,29	1,29
5	$E_{AC}$ tính toán ( $E_{AC}^{TT}$ )	MPa	2967,77	3693,92	3152,07
6	$E_{AC}$ tính toán ( $E_{AC}^{TT}$ )	ksi	430,44	535,76	457,17
7	Hệ số lớp $a_i$	inches	0,43	0,47	0,44

Từ kết quả xác định hệ số lớp  $a_i$  trong Bảng 8 và quy định trong TCCS 37, đề xuất hệ số lớp  $a_i$  đưa vào tiêu chuẩn của các loại CA trong nghiên cứu như sau:

- Carboncor Asphalt cỡ hạt lớn nhất danh định 9,5 mm (CA 9,5):  $a_i = 0,43$ ;
- Carboncor Asphalt cỡ hạt lớn nhất danh định 12,5 mm (CA 12,5):  $a_i = 0,44$ ;
- Carboncor Asphalt cỡ hạt lớn nhất danh định 19 mm (CABR 19):  $a_i = 0,44$ ;

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm trong phòng của Carboncor Asphalt, các thông số tính toán, thiết kế của BTN trong các tiêu chuẩn hiện hành ở Việt Nam, nghiên cứu bước đầu đưa ra những kết luận và kiến nghị sau:

- Carboncor Asphalt có các thông số đầu vào cơ bản thỏa mãn yêu cầu của BTN trong TCCS 38, cụ thể: Mô đun đàn hồi tĩnh ( $E_{dh}$ ) ở nhiệt độ 30°C và 60°C của CA trong thử nghiệm đều cao hơn giá trị  $E_{dh}$  tối thiểu tham khảo của BTN trong TCCS 38; CABR 19 có cường độ chịu kéo uốn ( $R_{ku}$ ) xấp xỉ bằng giá trị tối đa của BTN tham khảo trong TCCS 38; đặc biệt CA 9,5 và CA 12,5 có  $R_{ku}$  cao gấp đến hơn hai lần giá trị tối đa của BTN tham khảo trong TCCS 38. Như vậy CA hoàn toàn có thể sử dụng để làm lớp chịu lực trong KCAĐ.
- Đề xuất giá trị hệ số lớp  $a_i$  của ba loại Carboncor Asphalt gồm CA 9,5, CA 12,5 và CABR 19 dùng trong thiết kế tính toán kết cấu áo đường theo TCCS 37 lần lượt là 0,43, 0,44 và 0,44.
- Kiến nghị xem xét bổ sung hai loại CA 12,5 và CABR 19 vào quy trình thi công và nghiệm thu Carboncor Asphalt.
- Bước đầu kiến nghị sử dụng lớp CA 9,5, CA 12,5 và CABR 19 làm lớp mặt chịu lực trong kết cấu áo đường mềm và được tính vào chiều dày kết cấu áo đường (KCAĐ) khi kiểm toán.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong Đề tài mã số B2024-GHA-07. Nhóm tác giả cảm ơn Công ty Cổ phần Carbon Việt Nam, Trung tâm Khoa học Công nghệ, phòng thí nghiệm bộ môn Vật liệu xây dựng trường ĐH GTVT đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Carboncor VietNam, CoMPany Profile, 2019. <https://carboncor.com.vn>.
- [2]. Bùi Viết Cường, Nghiên cứu ứng xử của lớp bảo trì MicroSurfacing trong kết cấu mặt đường, Đề tài cấp bộ năm 2023, Mã số: DT 183062, Bộ Giao thông Vận tải, Việt Nam, 2023.
- [3]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 09 – 2014, Lớp vật liệu Carboncor Asphalt trong xây dựng và sửa chữa kết cấu áo đường ô tô – Tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu, 2014.
- [4]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 38 – 2022, Áo đường mềm – Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế, 2022.
- [5]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 37 – 2022, Áo đường mềm – Yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế theo chỉ số kết cấu SN, 2022.
- [6]. American society for testing and materials, ASTM D 4123 – 82, Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures, 1995.
- [7]. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO 93, Guide for Design of Pavement Structures, 1993.
- [8]. Vũ Văn Thắng, Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng và xây dựng cơ sở dữ liệu mô đun đàn hồi ( $E_{AC}$ ) của một số loại bê tông nhựa chặt nóng phục vụ thiết kế kết cấu áo đường mềm ở Việt Nam, Đề tài cấp bộ năm 2020, Mã số: DT 203050, Bộ Giao thông Vận tải, Việt Nam, 2020.
- [9]. Trần Thị Kim Đăng, Nghiên cứu về mô đun đàn hồi của bê tông asphalt làm mặt đường ô tô có xét đến đặc điểm tác dụng của tải trọng thực tế, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải, Việt Nam, 2004.
- [10]. Nguyễn Văn Thành, Vũ Đức Chính, Nghiên cứu xác định mô đun đàn hồi bằng thí nghiệm kéo gián tiếp tải trọng lập và hệ số lớp  $a_i$  của bê tông nhựa rỗng thoát nước phục vụ thiết kế kết cấu mặt theo AASHTO, Tạp chí GTVT, 12 (2016) 47-50. <https://tapchigiaothong.vn/nghien-cuu-xac-dinh-mo-dun-dan-hoi-bang-thi-nghiem-keo-gian-tiep-tai-trong-lap-va-he-so-lop-ai-cua-be-tong-nhua-rong-thoat-nuoc-phuc-vu-thiet-ke-ket-cau-mat-theo-aashto-18335189.htm>
- [11]. The Chinese Civil Aviation Administration, MH/T 5010 – 2017, Specifications for asphalt pavement design of civil airports, 2017. [https://www.codeofchina.com/professional\\_overview/MHT5010-2017.html?group=MH](https://www.codeofchina.com/professional_overview/MHT5010-2017.html?group=MH)