

# NGHIÊN CỨU CÁC TỶ LỆ PHỐI LIỆU CHO BÊ TÔNG NHỰA ĐƯỜNG POLYME NHẪM ĐÁNH GIÁ CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG SO VỚI BÊ TÔNG NHỰA THƯỜNG

TS. LÊ THÁI BÌNH

Email: binhlt@epu.edu.vn

TS. NGUYỄN VĂN CHÍNH

Email: chinhnv@epu.edu.vn

Khoa Cơ khí - Ô tô và Xây dựng, Trường Đại học Điện Lực

Phản biện: TS. Nguyễn Hải Quang

TS. Đặng Văn Thanh

## TÓM TẮT:

Sự phát triển mạnh mẽ của hệ thống giao thông tại Việt Nam trong bối cảnh khí hậu nhiệt đới gió mùa và lưu lượng giao thông ngày càng tăng đòi hỏi vật liệu mặt đường có chất lượng và độ bền cao hơn bê tông nhựa truyền thống. Nhựa đường polyme được xem là một trong những phụ gia cải tiến mang lại hiệu quả vượt trội về độ bền nhiệt, độ đàn hồi và khả năng kháng hàn lún. Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của các tỷ lệ polyme (0%, 3%, 4%, 5%) trong phối liệu bê tông nhựa nóng và đánh giá các chỉ tiêu cơ lý theo các tiêu chuẩn hiện hành tại Việt Nam. Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng 4% mang lại hiệu suất tối ưu nhất, cải thiện đáng kể độ ổn định Marshall, độ bền nước và độ dính bám so với mẫu bê tông nhựa thường. Các phân tích sâu hơn làm rõ cơ chế tác động của polyme đến cấu trúc hỗn hợp và đề xuất định hướng ứng dụng trong thực tiễn.

**Từ khóa:** Bê tông nhựa đường; polyme; Marshall; tính chất cơ lý; kháng nước; hàn lún.

## ABSTRACT:

The rapid development of the transportation infrastructure in Vietnam, under tropical monsoon climatic conditions and increasing traffic volumes, requires pavement materials with higher quality and durability than conventional asphalt concrete. Polymer-modified asphalt is considered one of the most effective modifiers, providing superior performance in terms of high-temperature stability, elasticity, and resistance to rutting. This study investigates the effects of different polymer contents (0%, 3%, 4%, and 5%) in hot mix asphalt and evaluates the corresponding mechanical and physical properties in accordance with current Vietnamese standards. Experimental results indicate that an content of 4% delivers the optimal overall performance, significantly enhancing Marshall stability, moisture resistance, and adhesion compared with conventional asphalt concrete. Further analyses elucidate the modification mechanisms of polymer on the mixture structure and propose practical application orientations for pavement engineering.

**Keywords:** Asphalt concrete; polymer; Marshall stability; mechanical properties; moisture resistance; rutting resistance.

## 1. GIỚI THIỆU

Bê tông nhựa đường vẫn là vật liệu chủ đạo trong thi công mặt đường tại Việt Nam. Tuy nhiên, thực tiễn khai thác cho thấy mặt đường bê tông nhựa truyền thống thường xuyên xuất hiện các dạng hư hỏng điển hình như: Hàn lún vệt bánh xe do ứng suất trượt - nén lặp đi lặp lại dưới tải trọng lớn; Nứt nhiệt, nứt mỏi do biến đổi nhiệt độ và chế độ tải trọng phức tạp; Bong tróc bề mặt do độ dính bám giữa nhựa với cốt liệu kém; Giảm độ bền nước

gây xuống cấp nhanh trong môi trường Việt Nam.

Nguyên nhân chính là do đặc tính của nhựa đường truyền thống (bitumen 60/70 hoặc 80/100) chưa đủ khả năng chống biến dạng ở nhiệt độ cao (50-60°C) và thiếu độ đàn hồi khi chịu tải trọng xe tải nặng.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của nhựa đường cải tiến (Modified Asphalt Binder), trong đó nhựa polyme được xem là loại phổ biến nhất cho

các tuyến đường chịu tải trọng lớn và điều kiện khí hậu khắc nghiệt. Các nghiên cứu nổi bật: Whiteoak (1990) cho thấy nhựa polymer giúp tăng đáng kể tính đàn hồi và độ bền nhiệt [1]; Kennedy (1984) chỉ ra rằng nhựa polymer tăng khả năng kháng lún và kháng nứt [2]; F. L. Roberts (1996) chứng minh hỗn hợp cải tiến có tuổi thọ cao hơn 30-50% [3].

Dù có nhiều ứng dụng thực tế, nhưng tại Việt Nam, việc xác định tỷ lệ nhựa polymer tối ưu vẫn chưa

thống nhất. Một số dự án sử dụng 3-4%, trong khi một số nơi tăng đến 6-7%, gây lãng phí hoặc không mang lại hiệu quả tương xứng.

Do đó, bài báo này tập trung vào việc xác định hàm lượng nhựa polyme tối ưu, dựa trên: Thí nghiệm Marshall theo TCVN 8819:2011; Độ rỗng dư; Thí nghiệm độ bền ngâm nước; Thí nghiệm độ dính bám nhựa - cốt liệu; Với mục tiêu xác định ảnh hưởng của các tỷ lệ POLYMER (0-5%) đến các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp. Từ đó đánh giá tính phù hợp của hỗn hợp trong điều kiện khí hậu và tải trọng tại Việt Nam và đề xuất tỷ lệ tối ưu cho các dự án mặt đường chịu tải trọng lớn.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Đặc tính của nhựa đường 60/70 tại Việt Nam

Nhựa 60/70 đang được sử dụng rộng rãi nhưng có một số hạn chế cơ bản đó là: Độ kim lún cao nên dễ mềm khi trời nóng. Có độ nhớt thấp, dễ bị trượt và khả năng hồi phục biến dạng thấp nên dễ gây hằn lún vệt bánh xe.

Theo TCVN 7493:2005, nhựa 60/70 đáp ứng yêu cầu tiêu chuẩn,

nhưng chưa đủ để thích ứng với tải trọng ngày càng tăng.

### 2.2. Cơ chế cải thiện của nhựa đường polymer

Nhựa đường polyme là loại elastomer có cấu trúc chuỗi S-B-S, trong đó: Khối styrene làm tăng độ cứng còn khối butadiene làm tăng độ đàn hồi.

Khi trộn với nhựa đường nóng, polymer tạo ra mạng lưới phân tử ba chiều giúp: (i) tăng khả năng chống biến dạng dẻo; (ii) tăng độ đàn hồi khi chịu tải; (iii) cải thiện độ ổn định nhiệt; (iv) tăng độ bền nước nhờ giảm sự tách nhựa - cốt liệu; (v) duy trì cấu trúc khi chịu rung động - tải trọng lặp.

### 2.3. Chỉ tiêu đánh giá theo TCVN

Theo TCVN thì các chỉ tiêu đánh giá chất lượng BTN dựa vào:

- Marshall Stability - đánh giá khả năng chịu tải;
- Flow (độ dẻo) - đánh giá biến dạng;
- VTM - độ rỗng dư;
- VMA - độ rỗng cốt liệu chứa nhựa;
- Độ bền ngâm nước (ITS Ratio);
- Độ dính bám theo TCVN 8861:2011.

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 3.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng được lựa chọn là những loại đại diện, được sử dụng phổ biến hiện nay ở khu vực phía Bắc:

+ Đá dăm các loại: Mỏ đá Việt Úc - Kiên Khê - Phú Lý - Hà Nam.

+ Bột khoáng: Đồng Giao - Ninh Bình.

+ Cát vàng: Sông Lô - Việt Trì - Phú Thọ.

+ Nhựa đường Nhựa đường Shell đặc 60/70 và nhựa polymer PMB1-phù hợp mặt đường cấp II-III.

Cấp phối cốt liệu sử dụng theo tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam cho bê tông nhựa chặt hạt mịn là bê tông nhựa thường (BTNC 9.5) và bê tông nhựa polime (BTNP 9.5), như được thể hiện trong Bảng 1.

Cấp phối cốt liệu sử dụng theo tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam cho bê tông nhựa chặt hạt mịn là bê tông nhựa thường (BTNC 12.5) và bê tông nhựa polymer (BTNP 12.5), như được thể hiện trong Bảng 2.

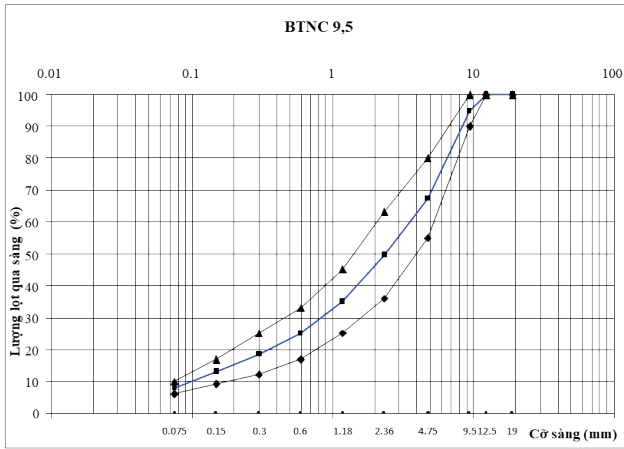
Các Hình 1 và 2 dưới đây thể hiện đường cong cấp phối tiêu chuẩn cho các loại bê tông nhựa sử dụng trong chương trình nghiên cứu thực nghiệm.

*Bảng 1. Cấp phối cốt liệu sử dụng chế tạo mẫu thí nghiệm cho bê tông nhựa 9.5*

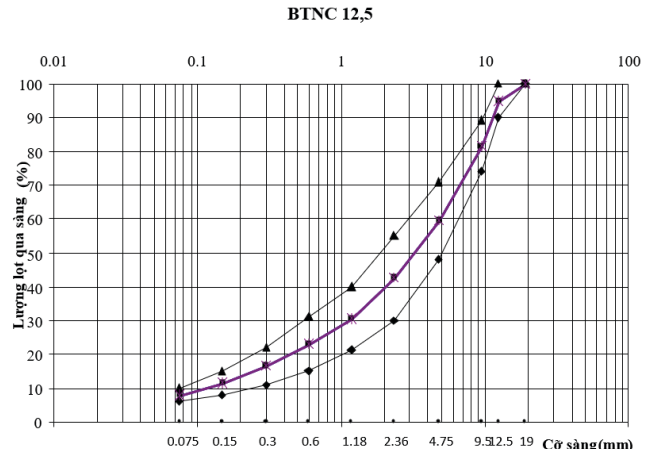
Cỡ sàng vuông (mm)	Lượng lọt qua sàng (%)			Lượng trên sàng (%)	Thành phần % hỗn hợp
	Min	Max	Thiết kế		
19	100	100	100		Cốt liệu thô: 32.5 %
12.5	100	100	100	-	
9.5	90	100	95	5	
4.75	55	80	67.5	27.5	
2.36	36	63	49.5	18	
1.18	25	45	35	14.5	Cốt liệu mịn: 59.5%
0.6	17	33	25	10	
0.3	12	25	18.5	6.5	
0.15	9	17	13	5.5	
0.075	6	10	8	5	
<0.075				8	BK: 8 %

*Bảng 2. Cấp phối cốt liệu sử dụng chế tạo mẫu cho bê tông nhựa 12.5*

Cỡ sàng vuông (mm)	Lượng lọt qua sàng (%)			Lượng trên sàng (%)	Thành phần % hỗn hợp
	Min	Max	Thiết kế		
19	100	100	100		Cốt liệu thô: 40.5 %
12.5	90	100	95	5	
9.5	74	89	81.5	13.5	
4.75	48	71	59.5	22	
2.36	30	55	42.5	17	
1.18	21	40	30.5	12	Cốt liệu mịn: 51.5%
0.6	15	31	23	7.5	
0.3	11	22	16.5	6.5	
0.15	8	15	11.5	5	
0.075	6	10	8	3.5	
<0.075				8	BK: 8 %



Hình 1. Đường cong cấp phối cốt liệu sử dụng cho BTNC 9.5 và BTNP 9.5



Hình 2. Đường cong cấp phối cốt liệu sử dụng cho BTNC 12.5 và BTNP 12.5

### 3.2. Các chỉ tiêu được lựa chọn để nghiên cứu thực nghiệm

+ Xác định hàm lượng nhựa tối ưu đối với cấp phối đã lựa chọn

Để xác định hàm lượng nhựa tốt nhất cho một hỗn hợp cấp phối ở bước thiết kế thành phần hỗn hợp, cần vẽ các đồ thị quan hệ giữa hàm lượng nhựa (6 giá trị hàm lượng nhựa khác nhau của các tổ mẫu) và các chỉ tiêu vật lý và chỉ tiêu Marshall. Các quan hệ được sử dụng để xác định hàm lượng nhựa tối ưu bao gồm: Độ ổn định Marshall - hàm lượng nhựa; Độ dẻo Marshall - hàm lượng nhựa; Dung trọng thể tích - hàm lượng nhựa; Độ rỗng dư - hàm lượng nhựa; Độ rỗng cốt liệu - hàm lượng nhựa; Phần trăm thể tích lỗ rỗng lấp đầy bằng nhựa - hàm lượng nhựa.

Trên cơ sở các mối quan hệ giữa các chỉ tiêu được tính toán với các hàm lượng nhựa thay đổi, việc xác định hàm lượng nhựa tối ưu được thực hiện bằng một số phương pháp như sau:

Phương pháp 1: Chọn hàm lượng nhựa tương ứng với độ rỗng dư yêu cầu trung bình (4%). Kiểm tra các chỉ tiêu khác ứng với độ rỗng 4%, so sánh các chỉ tiêu được xác định với phạm vi yêu cầu. Nếu đảm bảo, hàm lượng nhựa tối ưu là hàm lượng cho độ rỗng dư bằng 4%. Nếu có chỉ tiêu nào đó nằm



Hình 3. Hình ảnh một số mẫu thí nghiệm

ngoài phạm vi yêu cầu, hỗn hợp cần được thiết kế lại.

Phương pháp 2: Chọn hàm lượng nhựa cho tỷ trọng hỗn hợp đã đầm nén lớn nhất, độ ổn định Marshall lớn nhất, và độ rỗng dư 4%. Lấy số trung bình cộng của các giá trị trên. So sánh giá trị xác định được với các phạm vi yêu cầu của các chỉ tiêu còn lại. Nếu đảm bảo, giá trị trung bình xác định được đó sẽ là hàm lượng nhựa tối ưu lựa chọn.

Xác định hàm lượng nhựa tốt nhất cho hỗn hợp cấp phối lựa chọn làm thí nghiệm theo phương pháp Marshall theo TCVN 8819:2011. Số lượng mẫu thí nghiệm nghiên cứu gồm: 4 tổ hợp mẫu theo tỷ lệ nhựa đường polymer: 0%, 3%, 4%, 5%. Mỗi tổ hợp gồm 3 mẫu, tổng 12 mẫu Marshall. Hình 3 là hình ảnh một số mẫu thí nghiệm.

Các chỉ tiêu lựa chọn để nghiên cứu là Độ ổn định Marshall (kg); Độ rỗng dư VTM (%); Độ bền nước (%); Độ dính bám (%).

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐÁNH GIÁ

### 4.1. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm được tổng hợp trong bảng 4.1 dưới đây:

Bảng 4.1. Bảng kết quả thí nghiệm

Hàm lượng polymer	Độ ổn định (kg)	Độ rỗng dư (%)	Độ bền nước (%)	Độ dính bám (%)
0%	1060	4.1	80.2	75
3%	1215	4	85.6	85
4%	1290	4.2	87.1	90
5%	1285	4.3	86.4	92

Độ ổn định Marshall và Độ rỗng dư theo tỷ lệ nhựa đường polymer được thể hiện trên hình 4.1 và Hình 4.2

Độ bền ngâm nước và Độ dính bám theo tỷ lệ nhựa đường polymer được thể hiện trên hình 4.3 và Hình 4.4

## 4.2. Bàn luận và đánh giá

### 4.2.1. Ảnh hưởng của hàm lượng nhựa polymer đến độ ổn định Marshall

Độ ổn định Marshall (MS) là một thông số quan trọng, phản ánh khả năng chịu tải tức thời của hỗn hợp bê tông nhựa. Hình 4.1 cho thấy khi bổ sung polymer, giá trị MS tăng từ: 1060 kg → 1215 kg (tăng 14,6%) ở hàm lượng 3%; 1215 kg → 1290 kg (tăng 6,2%) ở hàm lượng 4%; 1290 kg → 1285 kg (giảm nhẹ 0,4%) khi tăng lên 5%.

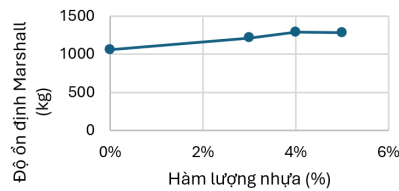
Xu hướng này phù hợp với lý thuyết về nhựa đường cải tiến polymer. Khi trộn polymer vào nhựa đường, mạng lưới phân tử hình thành cấu trúc đàn-dẻo giúp tăng khả năng chịu biến dạng và giữ ổn định khi chịu nén. Mức tăng rõ rệt từ 0% đến 4% cho thấy tại mức 4%, mạng polymer đã đạt cấu trúc mạng liên kết tối ưu.

Việc tăng lên 5% khiến lượng polyme thừa không thể hòa trộn đồng nhất, dẫn đến hiện tượng: hình thành gel cục bộ, phân tách pha một phần, làm giảm hiệu quả chịu tải tổng thể. Điều này cũng được Kennedy (1984) và Roberts (1996) ghi nhận trong các nghiên cứu quốc tế [1-2].

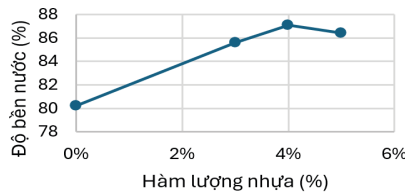
### 4.2.2. Ảnh hưởng đến độ rỗng dư (VTM)

Độ rỗng dư được kiểm soát trong khoảng 3-5% theo yêu cầu của TCVN 8819:2011. Các mẫu thí nghiệm đều nằm trong khoảng này, theo Bảng 4.1 và Hình 4.2 cho thấy: polymer giúp giảm nhẹ độ rỗng ở hàm lượng thấp (3%), do tăng độ nhớt nhựa đã làm lấp kín lỗ rỗng; Ở hàm lượng 4-5%, VTM tăng nhẹ do độ nhớt quá cao làm cho hỗn hợp khó lu lèn và sinh thêm lỗ rỗng thứ cấp.

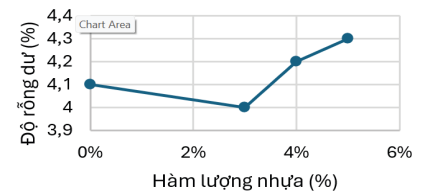
Điều này rất quan trọng trong thiết kế hỗn hợp: Nếu VTM quá thấp thì nguy cơ chảy nhựa. Còn nếu quá cao thì giảm độ bền nước. Các giá



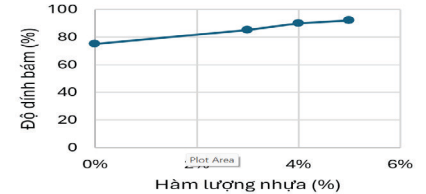
Hình 4.1. Độ ổn định Marshall theo tỷ lệ polymer



Hình 4.3. Độ bền ngâm nước theo tỷ lệ polymer



Hình 4.2. Độ rỗng dư theo tỷ lệ polymer



Hình 4.4. Độ dính bám theo tỷ lệ polymer

trị 4.0-4.2% được xem là tối ưu nhất.

### 4.2.3. Ảnh hưởng đến độ bền nước

Độ bền nước là chỉ tiêu quyết định tuổi thọ mặt đường trong khí hậu mưa nhiều của Việt Nam. Việc tăng độ bền nước với việc tăng hàm lượng nhựa đường polymer là do: Tính đàn hồi của polymer giúp mạng nhựa không bị nứt vì mô khi ngâm trong nước và độ dính bám cao hơn giữa nhựa - cốt liệu nhờ polymer làm tăng năng lượng liên kết bề mặt.

Theo TCVN 8819, mẫu đạt yêu cầu khi Độ bền nước  $\geq 80\%$ . Hình 4.3 cho thấy tất cả mẫu có nhựa đường polymer đều vượt xa ngưỡng này - chứng minh khả năng cải thiện đáng kể tính bền nước.

### 4.2.4. Ảnh hưởng đến độ dính bám nhựa - cốt liệu

Hình 4.4. cho thấy độ dính bám được cải thiện liên tục khi tăng polymer: 75% → 85% → 90% → 92%.

Điều này có thể giải thích qua các cơ chế vi mô:

+ Polymer giúp tăng năng lượng bám dính giữa pha bitum và khoáng.

+ Các chuỗi polybutadiene có phân cực thấp → tăng tính tương thích với bề mặt cốt liệu.

+ Pha styrene giúp tăng khả năng bám dính trong môi trường ẩm.

Đặc biệt, sự cải thiện mạnh giữa 3% → 4% cho thấy ngưỡng lan tỏa phân tử tối ưu, nơi polymer đã phân bố đồng đều trong pha nhựa.

## 5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, thiết kế thí nghiệm và phân tích kết quả thực nghiệm, bài báo đã đánh giá được ảnh hưởng của hàm lượng polyme đến một số chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của bê tông nhựa trong điều kiện vật liệu và tiêu chuẩn áp dụng tại Việt Nam. Kết quả cho thấy việc sử dụng nhựa đường polyme giúp cải thiện rõ rệt chất lượng hỗn hợp bê tông nhựa so với hỗn hợp sử dụng nhựa đường thông thường, thể hiện qua sự gia tăng độ ổn định Marshall, độ bền nước và độ dính bám giữa nhựa với cốt liệu, đồng thời vẫn bảo đảm độ rỗng dư nằm trong phạm vi phù hợp theo yêu cầu kỹ thuật.

Trong phạm vi nghiên cứu, hàm lượng polyme 4% cho hiệu quả tổng thể tốt nhất. Ở mức này, hỗn hợp đạt độ ổn định Marshall cao nhất, độ bền nước và độ dính bám được cải thiện rõ rệt, trong

khi độ rỗng dư vẫn duy trì ở mức hợp lý, cho thấy sự cân bằng tốt giữa khả năng chịu tải, tính ổn định và độ bền làm việc của vật liệu. Khi tăng hàm lượng polyme lên 5%, hiệu quả cải thiện không còn rõ rệt, thậm chí một số chỉ tiêu có xu hướng giảm nhẹ, cho thấy nếu hàm lượng polyme vượt quá ngưỡng thích hợp thì hiệu quả kỹ thuật thu được không tương xứng.

Các kết quả nghiên cứu khẳng định rằng việc lựa chọn hàm lượng polyme phù hợp có ý nghĩa quan trọng trong thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa, đặc biệt đối với các tuyến đường làm việc trong điều kiện nhiệt độ cao, tải trọng lớn và môi trường ẩm ướt như ở Việt Nam. Đây là cơ sở thực nghiệm có giá trị cho việc xem xét ứng dụng bê tông nhựa cải tiến polyme trong thực tiễn nhằm nâng cao chất lượng khai thác, kéo dài tuổi thọ mặt đường và giảm chi phí bảo trì trong vòng đời công trình.

Tuy nhiên, để hoàn thiện hơn cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc áp dụng rộng rãi, cần tiếp tục nghiên cứu các đặc tính làm việc dài hạn của hỗn hợp như khả năng kháng mỏi, kháng hàn lún thực địa, ảnh hưởng của lão hóa vật liệu và hiệu quả kinh tế - kỹ thuật trong suốt vòng đời khai thác. ■

#### LỜI CẢM ƠN

Bài báo này là kết quả nghiên cứu Đề tài NKCH cấp Trường Đại học Điện Lực năm 2025, mã số ĐTKHCN.10/2025. Nhóm nghiên cứu trân trọng ghi nhận sự hỗ trợ về tài chính và kỹ thuật mà Nhà trường đã cung cấp trong suốt quá trình nghiên cứu. Các tác giả cũng xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến các nhà Phản biện ẩn danh vì những nhận xét quý giá và đánh giá khách quan, điều này đã giúp cải thiện đáng kể chất lượng của bài báo này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Whiteoak, D. (1990). The Shell Bitumen Handbook. Shell Bitumen.
- [2]. Kennedy, T. W., Roberts, F. L., & Lee, K. W. (1984). Evaluation of Modified Asphalts. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists.
- [3]. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R. (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. NAPA.
- [4]. Zhang, Y., Chen, J.S., (2018). Performance of POLYMER-modified asphalt mixtures. Construction and Building Materials, 160, 489-496.
- [5]. Trần Thị Kim Đăng (2003), “Nghiên cứu xác định chỉ tiêu cơ lý của vật liệu bê tông Asphalt dùng làm thông số tính toán hợp lý cho lớp mặt đường ô tô”, Luận án tiến sĩ, Việt Nam.
- [6]. Dương Học Hải (2006), “Giáo trình xây dựng mặt đường ô tô (tập 1, 2)”, NXB Giáo dục, Việt Nam.
- [7]. Nguyễn Quang Chiêu (2005), “Nhựa đường và các loại mặt đường nhựa”, NXB Xây dựng, Việt Nam.
- [8]. Lê Thái Bình (2009), “Nghiên cứu thực nghiệm để đề xuất chỉ tiêu đánh giá chất lượng cho bê tông nhựa sử dụng nhựa cải tiến”, Luận văn thạc sĩ, Việt Nam.
- [9]. Lê Thái Bình (2015), “Nghiên cứu thực nghiệm các thông số Marshall và mô đun đàn hồi tĩnh nhằm đánh giá chất lượng bê tông nhựa đường polime”, Tạp chí Khoa học Kiến trúc & Xây dựng, số 20 tháng 12/2015, Việt Nam.
- [10]. Bộ Giao thông vận tải, tiêu chuẩn ngành (về quy trình thí nghiệm, kỹ thuật thi công thiết kế, nghiệm thu mặt đường, áo đường, lớp phủ mỏng bê tông nhựa có và không sử dụng nhựa đường polime) 22TCN 62-84, 22TCN 249-06, 22TCN 211-06, 22TCN 274-01, 22TCN 356-06, 22TCN 345-06, TCVN 7493:2005, TCVN 8819:2011, TCVN 8861:2011.
- [11]. FHWA (2019). Life-cycle cost analysis for pavement design. Federal Highway Administration.
- [12]. AASHTO Designation T 283-02 (2008), “Standard Method of Test for: Resistance o Compacted Asphalt Mixtures to Moisture- Induced Damage”, USA.
- [13]. AASHTO Designation D 4123-82 (1995), “Standard Test Method for: Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures”. USA.
- [14]. AASHTO Designation:TP31-96 (1996), “Standard Test Method for: Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixures by Indirect tension”. USA.
- [15]. ASTM Standard- Voloum 04 Road and paving material (1994), “Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures: D3497 - 79(1985)”, USA.

Ngày nhận bài: 28/3/2026

Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026