

Nghiên cứu khả năng ứng dụng bê tông nhựa graphen oxit làm lớp mặt trên của kết cấu áo đường mềm cấp cao tại Việt Nam

■ **TS. HOÀNG THỊ HƯƠNG GIANG**

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Email: gianghth@utt.edu.vn

TÓM TẮT: Bài báo tập trung nghiên cứu khả năng ứng dụng bê tông nhựa (BTN) sử dụng graphen oxit (GO) làm lớp mặt trên của kết cấu áo đường mềm (KCAĐM) cấp cao tại Việt Nam. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá hiệu quả kỹ thuật và tiềm năng ứng dụng thực tế của BTN_GO thông qua việc kiểm toán các kết cấu áo đường sử dụng loại vật liệu này theo Tiêu chuẩn TCCS 38:2022/TCĐBVN. Kết quả nghiên cứu đưa ra các đánh giá khoa học và định hướng ứng dụng BTN_GO trong việc cải thiện hiệu suất kết cấu đường bộ, đặc biệt tại các khu vực có yêu cầu cao về thiết kế và thi công.

TỪ KHÓA: Bê tông nhựa, graphen oxit (GO), kết cấu áo đường mềm.

ABSTRACT: The paper focuses on the application of asphalt concrete (AC) using graphene oxide (GO) as the top layer of high-grade flexible pavement in Vietnam. The objective of the study is to evaluate the technical efficiency and practical application potential of AC_GO through auditing pavement structures using this material according to the TCCS 38:2022/TCĐBVN standard. The results provide scientific assessments and directions for the application of AC_GO in improving the performance of pavement structures, especially in areas with high requirements for design and construction.

KEYWORDS: Asphalt concrete (AC), graphene oxide (GO), flexible pavement structure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong suốt thập kỷ qua, vật liệu nano đang trở thành một trong những hướng nghiên cứu tiên tiến với tiềm năng cải thiện tính chất cơ lý của vật liệu xây dựng, trong đó có BTN. Các vật liệu nano như graphene, graphen oxit (GO) [1, 2], ống nano carbon (CNT) [3], nanoclay [4, 5], nano kim loại (ZnO, Al₂O₃, Fe₂O₃) [6, 7], sợi nano [8, 9] và

nanosilica [10, 11] đã chứng minh khả năng cải thiện độ bền, tính dẻo, độ bền mài mòn và khả năng chống lão hóa của BTN [12]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc bổ sung vật liệu nano vào BTN có tác động tích cực đến khả năng tăng cường độ, tăng khả năng chống hằn lún ở nhiệt độ cao, khả năng chống nứt do môi, từ đó giúp tăng tuổi thọ cho lớp mặt đường. Trong số các vật liệu nano kể trên, GO nổi bật nhờ cấu trúc đặc biệt đã tăng cường đáng kể các tính chất cơ học của BTN. GO có khả năng cải thiện tính ổn định nhiệt, độ bền và tăng khả năng chịu tải trọng của BTN [13]. Vì vậy, việc nghiên cứu và ứng dụng GO vào BTN đang mở ra một hướng đi đầy triển vọng, giúp nâng cao chất lượng và hiệu quả sử dụng của vật liệu trong các công trình giao thông.

Tại Việt Nam, hệ thống giao thông đường bộ cấp cao đang đối mặt với nhiều vấn đề nghiêm trọng liên quan đến chất lượng và độ bền của các tuyến đường. Đặc biệt, các tuyến quốc lộ, cao tốc và các đường nối các thành phố lớn thường xuyên gặp phải tình trạng xuống cấp nhanh chóng do tác động của điều kiện khí hậu với nhiệt độ cao, độ ẩm lớn và mùa mưa kéo dài. Các yếu tố này kết hợp với lưu lượng giao thông ngày càng tăng khiến các tuyến đường cấp cao thường xuyên xảy ra các hiện tượng như nứt, lún, mài mòn lớp mặt, đặc biệt là trong những năm đầu khai thác [14]. Để khắc phục những vấn đề này, việc tìm kiếm và ứng dụng các vật liệu mới có khả năng cải thiện tính chất cơ lý của BTN là vô cùng cần thiết. Các nghiên cứu trước đây về sử dụng GO làm chất phụ gia trong BTN mới chỉ dừng lại ở thí nghiệm trong phòng. Để việc đánh giá chính xác và toàn diện hơn về vật liệu này, việc nghiên cứu ứng dụng BTN sử dụng GO (BTN_GO) làm lớp vật liệu trong KCAĐM cấp cao là cần thiết.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng ứng dụng BTN_GO làm lớp mặt trên của KCAĐM cấp cao tại Việt Nam. Các nội dung nghiên cứu sẽ tập trung vào việc kiểm toán kết cấu áo đường cấp cao có sử dụng BTN_GO theo TCCS 38:2022/TCĐBVN, nhằm đưa ra các đánh giá khoa học về hiệu quả ứng dụng của vật liệu này trong thực tế mà chưa phân tích về hiệu quả kinh tế.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu sử dụng

Trong bài báo này, đối tượng nghiên cứu là BTN_GO_2%, là BTN chặt có kích cỡ hạt danh định lớn nhất là 12,5 mm theo Quyết định 858/QĐ-BGTVT (tương đương

với BTN C16 theo TCVN 13567:2022). BTN_GO_2% là loại BTN có nhiều đặc tính cơ lý vượt trội so với BTN đối chứng về cường độ, khả năng kháng lún vết bánh xe và cao hơn BTN_GO_1% và BTN_GO_1,5% theo nghiên cứu [15]. Nguồn gốc cốt liệu, bột khoáng, nhựa đường, GO, tỷ lệ các thành phần hỗn hợp trong BTN_GO_2% cũng như quy trình chế tạo chất kết dính nhựa-GO và BTN_GO được thực hiện theo đề xuất ở Mục 2.1 và 4.5 của nghiên cứu [15].

2.2. Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 38:2022

Hiện nay ở Việt Nam, Tiêu chuẩn TCCS 38:2022/TCĐBVN được áp dụng để tính toán, kiểm toán chiều dày các lớp vật liệu cho hầu hết các tuyến đường sử dụng KCAĐM. Tiêu chuẩn này áp dụng cho KCAĐM trên đường ô tô cao tốc, đường ô tô có cấp hạng thiết kế khác nhau, đường đô thị, đường ô tô chuyên dụng trong cả trường hợp áo đường làm mới và trường hợp nâng cấp, cải tạo áo đường cũ. Đây là một phương pháp thiết kế dựa trên lý thuyết cơ học, việc tính toán dựa theo kết quả phân tích trạng thái ứng suất - biến dạng của áo đường, từ đó kiểm toán các trạng thái giới hạn của áo đường. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng TCCS 38:2022/TCĐBVN để phân tích, đánh giá khi đưa BTN_GO_2% vào KCAĐM thay thế cho lớp mặt trên của một số tuyến đường cấp cao ở Việt Nam.

2.3. Lựa chọn kết cấu áo đường

Ở Việt Nam, các tuyến quốc lộ (QL) thường được sử dụng KCAĐM. Các tuyến này dù là xây dựng mới hay nâng cấp cải tạo thường có cấu tạo thành phần các lớp tương đối giống nhau, chỉ khác nhau về số lớp và chiều dày mỗi lớp tùy theo lưu lượng xe, điều kiện địa chất và nguồn vật liệu xây dựng ở mỗi tuyến. Cụ thể:

- Tầng mặt: Được cấu tạo từ 1 - 2 lớp BTNC rải nóng, có hoặc không có lớp BTN chức năng trên cùng, chiều dày tầng mặt thông thường từ 12 - 14 cm.

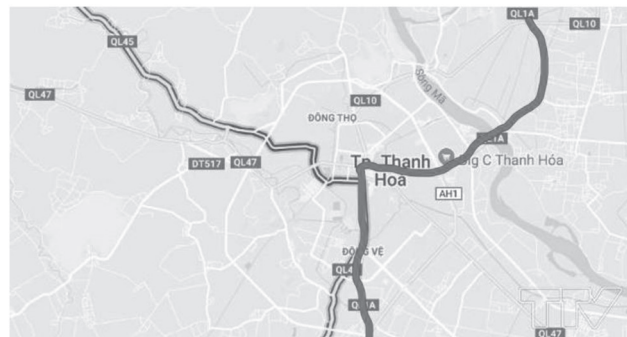
- Tầng móng: Được chia thành lớp móng trên và lớp móng dưới. Lớp móng trên thường dùng cấp phối đá dăm (CPĐĐ) loại 1 có hoặc không gia cố xi măng, hoặc dùng cấp phối đá gia cố nhựa. Lớp móng dưới có thể dùng CPĐĐ loại 1, CPĐĐ loại 2, cấp phối sỏi, cát gia cố xi măng.

Tương tự, các tuyến đường cao tốc cũng thường được sử dụng KCAĐM với kết cấu phổ biến:

- Tầng mặt: Có thể bố trí lớp trên cùng là BTN tạo nhám với chiều dày khoảng 3 cm, tiếp theo là 2 lớp BTNC rải nóng, tổng chiều dày 2 lớp này từ 12 - 14 cm.

- Tầng móng: Lớp móng trên thường thiết kế là BTN bán rỗng hoặc đá dăm gia cố xi măng dày khoảng 10 cm. Lớp móng dưới là CPĐĐ loại 1 dày khoảng 30 - 35 cm hoặc cả CPĐĐ loại 1 và CPĐĐ loại 2 với tổng chiều dày khoảng 60 - 65 cm.

Để so sánh và đánh giá BTN_GO_2% khi ứng dụng làm lớp mặt trên trong các tuyến đường cấp cao, nghiên cứu lựa chọn KCAĐ của QL1A (cấp III - đồng bằng) đoạn đi qua tỉnh Thanh Hóa (Hình 2.1) và KCAĐ cao tốc Hà Nội - Hải Phòng (Hình 2.2). Chi tiết các kết cấu được trình bày ở Bảng 2.1. Cần chú ý rằng, chiều dày của lớp BTN_GO_2% do tính toán quyết định sao cho hai kết cấu so sánh có mô-đun đàn hồi chung tương đương nhau, các lớp còn lại trong KCAĐ có chiều dày không đổi.



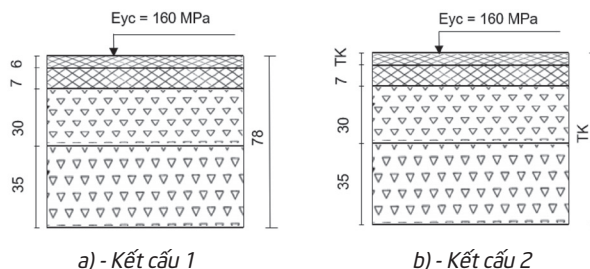
Hình 2.1: QL1A đoạn đi qua TP. Thanh Hóa



Hình 2.2: Cao tốc Hà Nội - Hải Phòng

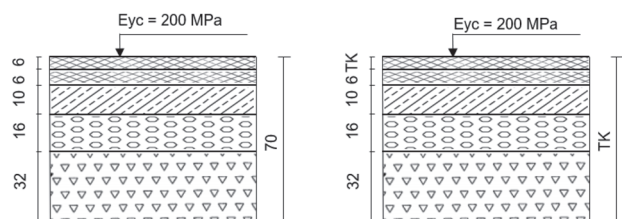
Bảng 2.1. Các KCAĐ đánh giá, KCAĐ QL1A và KCAĐ cao tốc Hà Nội - Hải Phòng được sử dụng trong nghiên cứu này

TT	Lớp vật liệu	Chiều dày các lớp KCAĐ của QL1A, cm (KC1)	Chiều dày các lớp trong KCAĐ đánh giá, cm (KC2)	Chiều dày các lớp KCAĐ của CT Hà Nội - Quảng Ninh, cm (KC3)	Chiều dày các lớp trong KCAĐ đánh giá, cm (KC4)
1	BTN C16 SBS			6	-
2	BTN C16	6	-	-	-
3	BTN_GO_2%	-	Thiết kế	-	Thiết kế
4	BTN C19	7	7	6	6
5	BTN bán rỗng 25	-	-	10	10
6	Đá dăm GCXM	-	-	16	16
7	CPĐĐ loại 1	30	30	32	32
8	CPĐĐ loại 2	35	35	-	-
	Tổng	78	Thiết kế	70	Thiết kế



a) - Kết cấu 1

b) - Kết cấu 2



c) - Kết cấu 3 d) - Kết cấu 4
 Hình 2.3: Minh họa 4 KCAĐ được sử dụng trong nghiên cứu này

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các thông số về mô-đun đàn hồi tĩnh và cường độ kéo uốn của BTN_GO_2% là các giá trị đặc trưng đã điều chỉnh theo độ tin cậy yêu cầu 95% và lấy theo kết quả thực nghiệm ở Mục 3.5.4 và 3.6.4 của nghiên cứu [15]. Các thông số của các lớp vật liệu còn lại trong các KCAĐ được lấy theo dự án và thể hiện chi tiết ở Bảng 3.1 và Bảng 3.2.

Bảng 3.1. Thông số đặc trưng của các lớp vật liệu KC1 và KC2 của QL1A

TT	Vật liệu	E (MPa)			R ^k (MPa)	C (MPa)	φ (°)
		Kéo uốn	Vòng đàn hồi	Trượt			
1	BTN C16	1.600	350	250	2	-	-
2	BTN_GO_2%	911,10	583,64	292,29	6,447	-	-
3	BTN C19 (đá dăm ≥50%)	1.800	420	300	2,8	-	-
4	CPĐD loại 1	280	280	280	-	-	-
5	CPĐD loại 2	230	230	230	-	-	-
6	Nền đất á sét	48			-	0,032	24

Bảng 3.2. Thông số đặc trưng của các lớp vật liệu KC3 và KC4 của cao tốc Hà Nội - Hải Phòng

TT	Vật liệu	E (MPa)			R ^k (MPa)	C (MPa)	φ (°)
		Kéo uốn	Vòng đàn hồi	Trượt			
1	BTN C16 SBS	1.214,8	404,2	250,5	3,992	-	-
2	BTN_GO_2%	911,10	583,64	292,29	6,447	-	-
3	BTN C19	1.195,7	387,7	253,3	3,377	-	-
4	BTN bán rỗng 25	790,5	289,4	200,5	2,667	-	-
5	Đá dăm GCXM	701,4	701,4	701,4	0,35	-	-
6	CPĐD loại 1	282,45	282,45	282,45	-	-	-
7	Nền đất á sét	48			-	0,0313	28,3

QL1A có $E_{yc} = 160$ MPa, chọn hệ số độ tin cậy 95%, hệ số an toàn về cường độ $= 1,17$, xác định được $E_{yc}^* = 187$ MPa. Cao tốc Hà Nội - Hải Phòng có $E_{yc} = 200$ MPa, chọn hệ số độ tin cậy 95%, hệ số an toàn về cường độ $= 1,17$, xác định được $E_{yc}^* = 234$ MPa. Độ vòng đàn hồi của KCAĐ sẽ được xem là đủ cường độ khi trị số mô-đun đàn hồi chung của cả kết cấu (E_{ch}) lớn hơn trị số mô-đun đàn hồi yêu cầu. Kết quả xác định chiều dày các kết cấu được trình bày chi tiết trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Kết quả xác định chiều dày các kết cấu

TT	Lớp vật liệu	Chiều dày các lớp KCAĐ QL1, cm		Chiều dày các lớp KCAĐ cao tốc HN - HP, cm	
		KC1	KC2	KC3	KC4
1	BTN C16 SBS	-	-	6	-

2	BTN C16	6	-	-	-
3	BTN_GO_2%	-	4	-	4
4	BTN C19	7	7	6	6
5	BTN bán rỗng 25	-	-	10	10
6	Đá dăm GCXM	-	-	16	16
7	CPĐD loại 1	30	30	32	32
8	CPĐD loại 2	35	35	-	-
Tổng chiều dày, cm		78	76	70	68
E_{yc}^* (MPa)		187,20		234,00	
E_{ch} (MPa)		188,02	188,79	234,82	234,61

Cũng theo TCCS 38:2022, kết cấu áo đường được xem là đủ cường độ thiết kế khi đảm bảo tiêu chuẩn chịu cắt trượt trong nền đất và ứng suất kéo uốn lớn nhất phát sinh trong đáy lớp vật liệu liên khối không vượt quá cường độ chịu kéo uốn cho phép của vật liệu lớp đó. Kết quả tính toán theo hai tiêu chuẩn nêu trên của các lớp kết cấu được trình bày chi tiết tại Bảng 3.4 với kết cấu của QL1A và Bảng 3.5 với kết cấu của cao tốc Hà Nội - Hải Phòng.

Bảng 3.4. Kết quả kiểm toán QL1A theo TCCS 38:2022

TT	Nội dung kiểm toán	Yêu cầu (MPa)	KCAĐ của QL1A, cm (KC1)		KCAĐ đánh giá, cm (KC2)	
			Giá trị	Đánh giá	Giá trị	Đánh giá
1	Kiểm toán theo tiêu chuẩn cắt trượt trong nền đất	Max 0,0230	0,0037	Đạt	0,0035	Đạt
Kiểm toán theo tiêu chuẩn kéo uốn tại đáy các lớp BTN						
2	a. BTN C16 lớp trên	Max 1,0707	0,8925	Đạt	-	-
	b. BTN_GO_2% lớp trên	Max 3,4513	-	-	0,7089	Đạt
	c. BTN C19 lớp dưới	Max 1,4989	0,8109	Đạt	0,8913	Đạt

Bảng 3.5. Kết quả kiểm toán cao tốc Hà Nội - Hải Phòng theo TCCS 38:2022

TT	Nội dung kiểm toán	Yêu cầu (MPa)	KCAĐ Cao tốc Hà Nội - Hải Phòng, cm (KC3)		KCAĐ đánh giá, cm (KC4)	
			Giá trị	Đánh giá	Giá trị	Đánh giá
1	Kiểm toán theo tiêu chuẩn cắt trượt trong nền đất	Max 0,0183	0,0028	Đạt	0,0021	Đạt
Kiểm toán theo tiêu chuẩn kéo uốn tại đáy các lớp vật liệu liên khối						
2	a. BTN C16 lớp trên	Max 1,4320	0,6739	Đạt	-	-
	b. BTN_GO_2% lớp trên	Max 5,9950	-	-	0,8211	Đạt
	c. BTN C19 lớp dưới	Max 1,3738	0,6739	Đạt	0,7242	Đạt
	d. BTN bán rỗng 25	Max 0,8680	0,4233	Đạt	0,4845	Đạt
	e. Đá dăm GCXM	Max 0,1799	0,1326	Đạt	0,1461	Đạt

Từ kết quả kiểm toán các KCAĐ mềm theo TCCS 38:2022 có thể rút ra nhận xét: Do BTN_GO_2% có mô-đun đàn hồi lớn hơn so với BTN C16 và BTN C16 SBS nên có thể giảm chiều dày lớp mặt trên. Cụ thể, khi sử dụng lớp BTN_GO_2% thay thế cho lớp BTN C16 của QL1A cũng như lớp BTN C16 SBS của cao tốc Hà Nội - Hải Phòng làm lớp mặt trên thì lớp mặt trên giảm 33,33% chiều dày (từ 6 cm xuống 4 cm) và tầng mặt giảm từ 15,38 - 16,67% chiều dày nhưng vẫn đảm bảo các điều kiện về độ võng đàn hồi, cường độ kéo uốn trong các lớp vật liệu liên khối và khả năng chống cắt trượt trong nền đất theo tiêu chuẩn. Đây là một giải pháp cần xem xét khi xây dựng các tuyến đường khi qua các điểm khống chế cao độ như cầu, hầm chui, khu dân cư... Khi việc nâng cao độ mặt đường tại các khu vực này là không thể thì giải pháp sử dụng vật liệu BTN_GO_2% là hữu ích.

4. KẾT LUẬN

Mặc dù các nghiên cứu về vật liệu mới cải thiện tính chất BTN đã chứng minh hiệu quả vượt trội về độ bền, khả năng chịu lực và tuổi thọ, nhưng việc ứng dụng chúng vào thực tế tại Việt Nam vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này đã chứng minh rằng việc sử dụng BTN_GO_2% làm lớp mặt trên trong KCAĐM cấp cao tại Việt Nam mang lại nhiều lợi ích vượt trội. BTN_GO_2% có mô-đun đàn hồi lớn hơn BTN C16 và BTN C16 SBS, cho phép giảm chiều dày lớp mặt trên đến 33,33%. Dù giảm chiều dày, vật liệu này vẫn đảm bảo đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật về độ võng đàn hồi, cường độ kéo uốn và khả năng chống cắt trượt theo TCCS 38:2022. Điều này cho thấy BTN_GO_2% là một giải pháp tối ưu, không chỉ cải thiện hiệu quả kỹ thuật của kết cấu áo đường mà còn giảm lượng vật liệu sử dụng. Đặc biệt, giải pháp này có giá trị ứng dụng cao tại các khu vực bị khống chế cao độ như cầu, hầm chui và khu dân cư, nơi việc nâng cao độ mặt đường là không khả thi. Với tiềm năng cải tiến trong ngành xây dựng hạ tầng giao thông, BTN_GO_2% không chỉ đáp ứng yêu cầu thực tiễn mà còn mở ra hướng nghiên cứu mới trong ứng dụng vật liệu tiên tiến.

Tài liệu tham khảo

[1]. J. Zhu, K. Zhang, K. Liu, X. Shi (2020), *Adhesion characteristics of graphene oxide modified asphalt unveiled by surface free energy and AFM-scanned micro-morphology*, Construction and Building Materials 244, 118404.

[2]. K. Liu, J. Zhu, K. Zhang, J. Wu, J. Yin, X. Shi (2019), *Effects of mixing sequence on mechanical properties of graphene oxide and warm mix additive composite modified asphalt binder*, Construction and Building Materials 217, 301-309.

[3]. M.S. Eisa, A. Mohamady, M.E. Basiouny, A. Abdulhamid, J.R. Kim (2022), *Mechanical properties of asphalt concrete modified with carbon nanotubes (CNTs)*, Case Studies in Construction Materials 16, e00930.

[4]. M.E. Abdullah, K.A. Zamhari, M.R. Hainin, E.A.

Oluwasola, N.A. Hassan, N.I.M. Yusoff (2016), *Engineering properties of asphalt binders containing nanoclay and chemical warm-mix asphalt additives*, Construction and Building Materials 112, 232-240.

[5]. J.V.S. De Melo, G. Trichês (2017), *Evaluation of properties and fatigue life estimation of asphalt mixture modified by organophilic nanoclay*, Construction and Building Materials 140, 364-373.

[6]. S. Pirmohammad, Y. Majd-Shokorlou, B. Amani (2020), *Experimental investigation of fracture properties of asphalt mixtures modified with Nano Fe₂O₃ and carbon nanotubes*, Road Materials and Pavement Design 21, 2321-2343.

[7]. H. Zhang, Y. Gao, G. Guo, B. Zhao, J. Yu (2018), *Effects of ZnO particle size on properties of asphalt and asphalt mixture*, Construction and Building Materials 159, 578-586.

[8]. G. Xu, L.H. Zhao, J. Zhao (2011), *Research on Performance of Basalt Fiber-Enhanced SMA*, Advanced Materials Research 243, 4323-4327.

[9]. B. Wu, X. Wu, P. Xiao, C. Chen, J. Xia, K. Lou (2021), *Evaluation of the long-term performances of SMA-13 containing different fibers*, Applied Sciences 11, 5145.

[10]. A. Al-Omari, M. Taamneh, M.A. Khasawneh, A. Al-Hosainat (2020), *Effect of crumb tire rubber, microcrystalline synthetic wax and nano silica on asphalt rheology*, Road Materials and Pavement Design 21, 757-779.

[11]. J.M.L. Crucho, J.M.C. das Neves, S.D. Capitão, L.G. de Picado-Santos (2018), *Mechanical performance of asphalt concrete modified with nanoparticles: Nanosilica, zero-valent iron and nanoclay*, Construction and Building Materials 181, 309-318.

[12]. S. Wu, O. Tahri (2021), *State-of-art carbon and graphene family nanomaterials for asphalt modification*, Road Materials and Pavement Design 22, 735-756.

[13]. J. Zhu, K. Zhang, K. Liu, X. Shi (2019), *Performance of hot and warm mix asphalt mixtures enhanced by nano-sized graphene oxide*, Construction and Building Materials 217, 273-282.

[14]. Z. Liu, X. Gu, X. Dong, B. Cui, D. Hu (2023), *Mechanism and performance of graphene modified asphalt: An experimental approach combined with molecular dynamic simulations*, Case Studies in Construction Materials 18, e01749.

[15]. Hoàng Thị Hương Giang (2023), *Nghiên cứu sử dụng graphen oxit cải thiện tính chất cơ lý bê tông nhựa trong điều kiện Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ GTVT.

Ngày nhận bài: 01/12/2024

Ngày nhận bài sửa: 15/12/2024

Ngày chấp nhận đăng: 31/12/2024