

Phân tích kết cấu mặt đường bê tông xi măng sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng bằng phương pháp cơ học thực nghiệm

Analysis of cement concrete pavement structure using recycled aggregate from construction demolition by Mechanistic - Empirical method

> THS.NCS NGÔ VĂN TÌNH^{1*}, PGS.TS NGUYỄN THANH SANG²,
TS LƯƠNG XUÂN CHIỀU², THS.NCS NGÔ VĂN QUÂN³

^{1,3}Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam; *Email: tinhnv@vaa.edu.vn

²Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT

Bài báo sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm (MEPDG) để phân tích kết cấu mặt đường bê tông xi măng sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng (PTXD) trong điều kiện khí hậu Việt Nam. Bên cạnh đó, kết cấu mặt đường được đề xuất cũng được kiểm toán theo TCCS39:2022/TCĐBVN để so sánh kết quả tính toán của hai phương pháp với nhau. Kết cấu mặt đường bê tông xi măng sử dụng trong nghiên cứu này được tham khảo từ kết quả nghiên cứu đề xuất phương án kết cấu áo đường sử dụng bê tông cốt liệu tái chế của PGS.TS Nguyễn Thanh Sang và các cộng sự. Kết quả phân tích cho thấy, kết cấu mặt đường đã đề xuất thỏa mãn tất cả các tiêu chuẩn tính toán của cả 2 phương pháp. Phương pháp MEPDG còn cho thấy kết cấu mặt đường bê tông xi măng sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng có tính ổn định theo thời gian, các yếu tố kiểm tra ít có sự thay đổi theo thời gian tính toán của mặt đường.

TỪ KHÓA: Cốt liệu tái chế; bê tông xi măng sử dụng cốt liệu tái chế; phương pháp cơ học thực nghiệm; phân tích mặt đường bê tông xi măng bằng phương pháp cơ học thực nghiệm.

ABSTRACT

This article using software to analyze pavement structure by Mechanistic - empirical method (MEPDG) to analyze of cement concrete pavement structure using recycled aggregate from construction waste in Vietnam's climate conditions. In addition, the proposed pavement structure was also analyzed according to TCCS39:2022/TCĐBVN to compare the calculation results of the two methods with each other. The cement concrete pavement structure used in this study was referenced from the research results to propose a pavement structure plan using recycled aggregate concrete by Associate Professor, PhD. Nguyen Thanh Sang et al. The analysis results show that the proposed pavement structure satisfies all the calculation criteria of both methods. The MEPDG method also shows that the cement concrete pavement structure using recycled aggregate from construction waste is stable over time, the tested factors have little change over the calculation time of the pavement.

KEYWORDS: Recycled aggregates; recycled aggregates concrete; mechanistic-empirical pavement design; Analysis of cement concrete pavement using experimental mechanical methods.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp cơ học thực nghiệm MEPDG đã và đang được sử dụng trong thiết kế kết cấu mặt đường rộng rãi ở Mỹ và một số nước khác. MEPDG khắc phục được các nhược điểm của phương pháp thiết kế kết cấu thuần thực nghiệm AASHTO [1] [2] [3] [4] [5].

Ở Việt Nam việc nghiên cứu ứng dụng phương pháp cơ học thực nghiệm trong phân tích thiết kế kết cấu áo đường mềm đã được thực hiện bởi tác giả Nguyễn Quang Phúc (2014) [6]. Hay đề tài nghiên cứu các điều kiện cần thiết để áp dụng phương pháp MEPDG trong phân tích kết cấu mặt đường ở Việt Nam của tác giả Nguyễn Hoàng Long (2018) [7]. Một số nghiên cứu khác cho thấy khi kiểm toán một số kết cấu mặt đường theo TCCS 37: 2022 thỏa mãn tất cả

các tiêu chuẩn. Nhưng khi kiểm toán các kết cấu trên bằng phương pháp MEPDG thì có một số tiêu chuẩn không đạt.

Đối với mặt đường bê tông xi măng (BTXM) khi phân tích bằng phương pháp MEPDG cũng cần phải nghiên cứu và so sánh kết quả với tiêu chuẩn thiết kế mặt đường BTXM (TCCS 39: 2022/TCĐB) đang áp dụng ở Việt Nam để có các đánh giá phù hợp.

Cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng (PTXD) đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng trong các trường hợp cụ thể. Một trong những ứng dụng phổ biến của PTXD là sử dụng trong các lớp kết cấu áo đường, trong đó có việc ứng dụng làm cốt liệu cho mặt đường BTXM. Nghiên cứu của tác giả PGS.TS Nguyễn Thanh Sang về việc ứng dụng cốt liệu tái chế từ PTXD cho mặt đường BTXM đã đề xuất một số kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế phù hợp với điều kiện Việt Nam

[8]. Nghiên cứu này sẽ sử dụng các đề xuất kết cấu của PGS.TS Nguyễn Thanh Sang để phân tích và song sánh kết quả.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Các thông số đầu vào của kết cấu mặt đường nghiên cứu

2.1.1. Kết cấu mặt đường

❖ Kết cấu mặt đường gồm 3 lớp như hình 1

<p>Hình 1. Kết cấu mặt đường RAC (B40) được sử dụng trong nghiên cứu này [8]</p>	RAC (B40) RA (CL tái chế) gia cố 5% XM Cấp phối đá dăm loại 2 Đất đầm chặt K>=98, CBR>=6	- Lớp BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD (RAC-Recycled Aggregate Concrete), dày $h_1 = 26\text{cm}$
		- Lớp cấp phối cốt liệu tái chế (RA-Recycled Aggregate) gia cố 5% xi măng, dày $h_2 = 15\text{cm}$
		- Lớp cấp phối đá dăm loại 2 dày $h_3 = 15\text{cm}$
		- Lớp đất nền đầm chặt $K \geq 98$, $CBR \geq 6$

❖ **Kích thước tấm BTXM sử dụng cốt liệu tái chế**

Mặt đường BTXM được thiết kế mới dạng phân tấm (Jointed Plain Concrete Pavement) với kích thước tấm như sau:

Chiều dài tấm:	L=4.5m
Bề rộng tấm:	W=3.7m
Tỷ lệ L/W	=1.21 < 1.25 (theo khuyến cáo của AASHTO)

2.1.2. Các thông số về vật liệu của các lớp kết cấu

❖ **Lớp RAC B40 [13]**

Khối lượng riêng:	2400kg/m ³ [17]
Hệ số thoát hơi:	0.15
Hệ số giãn nở vì nhiệt:	7.10 ⁻⁶ mm/mm/°C [14] [16]
Độ dẫn nhiệt:	2.16 W/m-K [14] [15] [16] [17]
Nhiệt dung riêng:	1172.3 J/kg-K [14] [15] [16] [17]
Loại xi măng:	GU(Type I) (tương đương PC40)
Hàm lượng xi măng:	356 kg/m ³
Tỷ lệ nước và xi măng:	0.45
Cốt liệu:	Tái chế từ PTXD
Mô đun đàn hồi:	31000 Mpa
Cường độ chịu nén:	42.6 MPa
Cường độ chịu kéo uốn:	5.0 MPa

❖ **Lớp RA (Cốt liệu tái chế) gia cố 5% xi măng [13]**

Khối lượng riêng:	2400kg/m ³ [17]
Hệ số thoát hơi:	0.20
Mô đun đàn hồi:	1300MPa
Nhiệt dung riêng:	1172.3 J/kg-K [14] [15] [16] [17]
Độ dẫn nhiệt:	2.16 W/m-K [14] [15] [16] [17]

❖ **Lớp Cấp phối đá dăm loại 2 [11] [12]**

Hệ số thoát hơi:	0.25
Hệ số áp lực đất ngang (K ₀):	0.5
Mô đun đàn hồi:	250MPa

❖ **Đất nền K98, CBR>=6 [12]**

Hệ số thoát hơi:	0.35
Hệ số áp lực đất ngang (K ₀):	0.5
Mô đun đàn hồi:	45MPa

2.1.3. Thông số khí hậu của khu vực có dự án

Các đặc trưng cơ học của vật liệu trong các lớp kết cấu áo đường và nền đường thay đổi trong suốt vòng đời thiết kế của áo đường phụ thuộc vào các yếu tố tác động của khí hậu xung quanh như: nhiệt độ, độ ẩm, lượng mưa, chu kì đóng băng-tan băng, mực nước ngầm,...v.v. [7]. Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng thông số

khí hậu của tỉnh Phú Yên thông qua trạm quan trắc (PHU-YEN.VN (113359)) nơi có dự án được thiết kế và được tích hợp sẵn trong phần mềm (ME).

Chiều sâu mực nước ngầm: Phú Yên là khu vực có địa hình đa dạng, chiều sâu mực nước ngầm có sự khác nhau lớn tại các địa điểm của tỉnh [10]. Sau khi phân tích và so sánh tác giả chọn chiều sâu mực nước ngầm là 10m để tiến hành phân tích.

Các dữ liệu khác liên quan đến khí hậu như: Lượng mưa trung bình năm, số ngày ẩm ướt trong năm, nhiệt độ trung bình từng giờ trong ngày, nhiệt độ trung bình từng tháng, tốc độ gió,...v.v phần mềm sẽ tự động xử lý và cập nhật khi lựa chọn khu vực phân tích.

2.1.4. Thông số về lưu lượng xe và tải trọng tính toán

Thông số về lưu lượng xe, tải trọng trục xe được tham khảo trong bảng tính về lưu lượng xe thiết kế cho dự án nâng cấp tuyến đường bộ nối hai tỉnh Phú Yên và Gia Lai của Tổng Công ty tư vấn thiết kế giao thông vận tải, Công ty cổ phần tư vấn XDGT2 (TEDI) [9]. Sau đó, sử dụng công thức quy đổi về lưu lượng xe tải trung bình các ngày trong tuần thiết kế năm đầu cho cả 2 làn là (Initial Two-Way Average Annual Daily Truck Traffic - AADTT): AADTT=250 xe/nđ [9]. Hệ số tăng trưởng xe hàng năm 3% theo mô hình hàm mũ (compound). Tỷ lệ xe tải/xe khách theo hướng 50%. Tỷ lệ xe tải/xe khách chạy trên làn tính toán 80%. Các thông số khác được lấy theo mặc định của chương trình.

2.1.5. Thời gian tính toán của dự án

Thời gian tính toán của dự án: 15 năm
 Năm bắt đầu đi vào khai thác của dự án: 2020
 Năm cuối khai thác của dự án: 2035

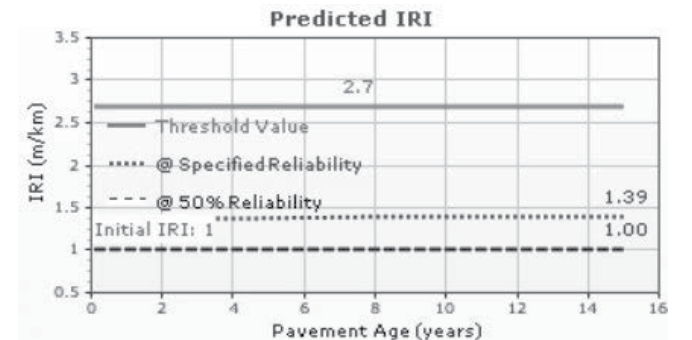
2.2. Kết quả phân tích bằng phương pháp cơ học thực nghiệm (MEPDG)

2.2.1. Kết quả phân tích

Khi phân tích kết cấu mặt đường BTXM bằng phương pháp MEPDG mỗi kết cấu mặt đường cần thỏa mãn 3 tiêu chuẩn sau:

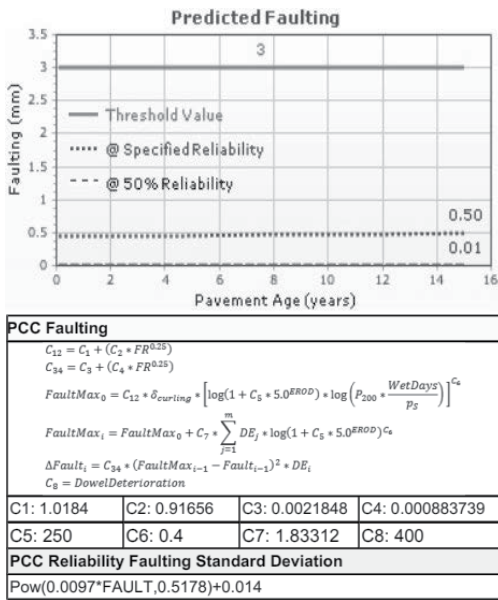
- + Độ gồ ghề cuối cùng (Terminal (IRI - m/km)), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 2.70 m/km
- + Tiêu chuẩn về đứt khớp (liên kết) giữa các tấm với nhau (Mean joint faulting (mm)), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 3.00 mm
- + Tiêu chuẩn nứt ngang tấm (JPCP transverse cracking (percent slabs)): giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 15%

Sau khi khai báo các thông số đầu vào, phân tích kết cấu bằng phần mềm MEPDG và dự đoán các yếu tố kiểm tra trong thời gian khai thác như sau:

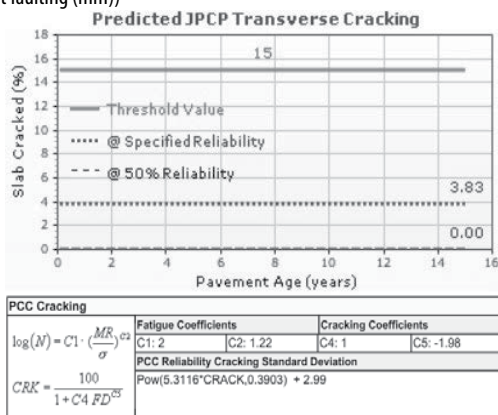


IRI-jpcp		
C1 - Cracking	C1: 0.8203	C2: 0.4417
C2 - Spalling	C3: 1.4929	C4: 25.24
C3 - Faulting	Reliability Standard Deviation	
C4 - Site Factor	5.4	

Hình 2. Kết quả phân tích độ gồ ghề theo thời gian (Terminal (IRI - m/km))



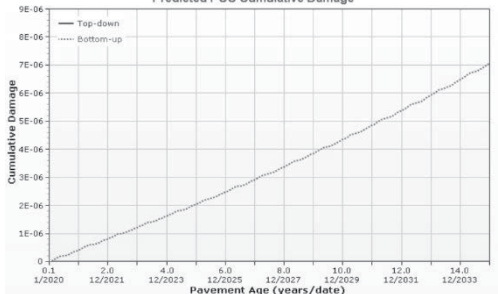
Hình 3. Kết quả kiểm toán về tiêu chuẩn đứt khớp (liên kết) giữa các tấm với nhau (Mean joint faulting (mm))



Hình 4. Kết quả kiểm toán nứt ngang tấm (JPCP transverse cracking (percent slabs))

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	1.39	90.00	100.00	Pass
Mean joint faulting (mm)	3.00	0.50	90.00	100.00	Pass
JPCP transverse cracking (percent slabs)	15.00	3.83	90.00	100.00	Pass

Hình 5. Kết quả kiểm toán kết cấu mặt đường bằng phần mềm MEPDGD



Hình 6. Kết quả dự đoán nứt theo thời gian từ dưới lên trên (Bottom-up)

2.2.2. Thảo luận

Sau khi phân tích kết cấu áo đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD trên ta nhận thấy:

- Cả 3 tiêu chuẩn cần kiểm tra của kết cấu áo đường BTXM đều thỏa mãn yêu cầu và có giá trị tính toán nhỏ hơn nhiều so với yêu cầu của các tiêu chuẩn và phương pháp tính toán. Tiêu chuẩn về độ gồ ghề tại thời điểm năm cuối tính toán (năm 2035) là 1.39m/km so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 2.70m/km. Tiêu chuẩn kiểm toán về đứt

liên kết giữa các tấm BTXM với nhau ở thời điểm năm cuối tính toán (2035) là 0.5mm so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 3.0. Tiêu chuẩn kiểm toán về nứt ngang tấm BTXM ở thời điểm năm cuối tính toán (2035) là 3.83% so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 15% (hình 5). Qua đó ta nhận thấy kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD đã được đề xuất của PGS.TS Nguyễn Thanh Sang và các cộng sự đề xuất là hợp lý và có độ an toàn cao khi phân tích bằng phương pháp MEPDGD.

- Cả 3 tiêu chuẩn cần kiểm tra của kết cấu áo đường trên khi xét theo thời gian ta nhận thấy: Theo thời gian sự gia tăng của cả 3 tiêu chuẩn về độ gồ ghề, đứt liên kết các tấm BTXM và nứt ngang của tấm BTXM thay đổi rất nhỏ (theo các hình 2, 3, 4). Điều đó chứng tỏ kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD có tính ổn định cao theo thời gian.

- Theo kết quả phân tích yếu tố phá hoại nứt từ dưới lên trên tích lũy theo thời gian có sự gia tăng (hình 6). Nhưng giá trị và mức độ gia tăng là rất nhỏ và vẫn nhỏ hơn nhiều so với giá trị giới hạn của phương pháp tính.

2.3. Phân tích và kiểm toán kết cấu theo TCCS 39:2022/TCĐBVN

2.3.1. Các thông số đầu vào

Các thông số đầu vào về kết cấu mặt đường, các thông số về vật liệu của các lớp kết cấu, thời gian tính toán như đối với phương pháp cơ học thực nghiệm.

Thông số về khí hậu được lấy theo khu vực miền Trung (không lấy cụ thể tại tỉnh nào của miền trung), thông số này liên quan đến trị số gradien nhiệt độ lớn nhất (Tg=89 °C/m đối với khu vực miền trung)

Thông số về lưu lượng xe và tải trọng tính toán được lấy tương tự như phương pháp cơ học thực nghiệm, nhưng phải quy đổi từ lưu lượng xe tải trung bình ngày đêm năm đầu khai thác về tải trọng trục 100kN tích lũy (N_e = 800000 trục/lần) [12].

2.3.2. Kiểm toán kết cấu

Việc kiểm toán kết cấu mặt đường BTXM được tiến hành theo các trạng thái giới hạn sau [11]:

$$\gamma_r \cdot (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) < f_r \tag{1}$$

$$\gamma_r \cdot (\sigma_{pmax} + \sigma_{tmax}) < f_r \tag{2}$$

$$\gamma_r \cdot \sigma_{bpr} < f_{br} \tag{3}$$

Trong đó:

+ σ_{pr} : Ứng suất kéo uốn (USKU) gây môi do tác dụng xe chạy tại vị trí tấm BTXM để bị phá hoại (Mpa).

+ σ_{tr} : USKU gây môi do tác dụng gradien nhiệt độ tại vị trí tấm BTXM để bị phá hoại (Mpa)

+ σ_{pmax} : USKU gây môi do tải trọng trục xe nặng nhất gây ra tại vị trí tấm BTXM để bị phá hoại (Mpa)

+ σ_{tmax} : USKU gây môi do tải trọng gradien nhiệt độ lớn nhất giữa mặt trên và mặt dưới tại vị trí tấm BTXM để bị phá hoại (MPa)

+ f_r : Cường độ kéo uốn thiết kế của BTXM (MPa)

+ f_{br} : Cường độ kéo uốn thiết kế của vật liệu móng (MPa)

+ γ_r : Hệ số độ tin cậy trong thiết kế, chọn =1.1

❖ Kiểm tra ứng suất kéo uốn gây ra do tải trọng và nhiệt độ tại vị trí giữa cạnh dọc tấm BTXM.

- Tính toán ứng suất kéo uốn gây ra do tải trọng, được xác định theo công thức:

$$\sigma_{pr} = k_r \cdot k_f \cdot k_c \cdot \sigma_{ps} = 3.24 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{pmax} = k_r \cdot k_c \cdot \sigma_{pm} = 2.59 \text{ (MPa)}$$

Trong đó: + k_r : Hệ số triết giảm ứng suất do khả năng truyền tải tại khe nối; $k_r = 0.87$

+ k_c : Hệ số tổng hợp, phụ thuộc vào cấp hạng đường; $k_c = 1.05$

+ k_f : Hệ số môi trong thời hạn phục vụ thiết kế; $k_f = 2.17$

- Tính toán ứng suất kéo uốn gây ra do nhiệt độ được xác định theo công thức:

$$+ \sigma_{tr} = k_t \cdot \sigma_{tmax} = -0.05$$

Trong đó:

+ k_t : Hệ số ứng suất kéo uốn gây bởi nhiệt

+ σ_{tmax} : Ứng suất kéo uốn lớn nhất do gradient nhiệt độ lớn nhất gây ra

$$\sigma_{tmax} = 0,5 \cdot \alpha_c \cdot h_c \cdot E_c \cdot T_g \cdot B_L = 0.567 \text{ (Mpa)}$$

Trong đó:

+ α_c : Hệ số giãn nở một chiều của BTXM phụ thuộc vào cốt liệu, lấy $= 7.10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$ [14]

+ k_t : Hệ số ứng suất kéo uốn gây bởi nhiệt, lấy $= -0.095$

- Kiểm tra theo điều kiện (1)

$$+ \gamma_r \cdot (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 3.5 < 4.5 \text{ đạt yêu cầu.}$$

- Kiểm tra theo điều kiện (2)

$$+ \gamma_r \cdot (\sigma_{pmax} + \sigma_{tmax}) = 3.48 < 4.5 \text{ đạt yêu cầu.}$$

- Kiểm tra điều kiện (3): Do trị số ứng suất gây bởi nhiệt dưới đáy móng với trường hợp móng trên bằng cấp cốt liệu tái chế từ PTXD gia cố xi măng thường là nhỏ, không đáng kể nên có thể bỏ qua.

2.3.3. Thảo luận

Sau khi phân tích kết cấu áo đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD trên theo TCCS39:2022/TCĐBVN ta nhận thấy:

- Kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD trên thỏa mãn tất cả các điều kiện cần kiểm tra của kết cấu áo đường cứng.

- Ứng suất tính toán và ứng suất cho phép của mặt đường khá tương đồng nhau nên kết cấu mặt đường đã đề xuất là tương đối phù hợp.

- Kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD hoàn toàn có thể kiểm toán theo TCCS39:2022/TCĐBVN khi có đầy đủ các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu. Tuy nhiên, có nhiều loại cốt liệu tái chế, mỗi loại lại có các đặc trưng cơ lý khác nhau. Do đó, cần phải có kết quả nghiên cứu cụ thể về các chỉ tiêu cơ lý của từng loại cốt liệu tái chế khác nhau.

3. KẾT LUẬN

- Kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD được đề xuất khi kiểm tra bằng phương pháp MEPDG và theo TCCS39:2022/TCĐBVN (phương pháp lý thuyết - thực nghiệm) đều thỏa mãn các điều kiện kiểm tra. Điều đó chứng tỏ, việc sử dụng cốt liệu tái chế cho các lớp kết cấu mặt đường BTXM là hoàn toàn khả thi và góp phần vào việc xử lý chất thải, bảo vệ môi trường và hiệu quả kinh tế.

- Khi kiểm toán kết cấu mặt đường BTXM bằng phương pháp MEPDG cần có nhiều thông số đầu vào hơn như: Thông số về kết cấu, thông số về vật liệu, thông số về lưu lượng xe tải, thông số về khí hậu, thông số về thời gian tính toán của kết cấu mặt đường. Trong khi đó, khi kiểm toán kết cấu mặt đường BTXM theo TCCS39:2022/TCĐBVN (phương pháp lý thuyết - thực nghiệm) thì có thông số đầu vào ít hơn, khi chỉ cần các thông số kết cấu, thông số vật liệu, thông số về tải trọng trục xe, thông số về thời gian tính toán của kết cấu mặt đường. Mỗi thông số trong phương pháp MEPDG cần phải có nhiều chỉ tiêu hơn và phức tạp hơn so với phương pháp lý thuyết - thực nghiệm.

- Khi kiểm toán bằng phương pháp MEPDG kết cấu mặt đường cần thỏa mãn 3 tiêu chuẩn: là độ gồ ghề tại thời điểm cuối cùng thiết kế; kiểm toán tiêu chuẩn đứt khớp (thanh liên kết giữa các tấm) và tiêu chuẩn nứt ngang của tấm BTXM. Trong khi đó, khi kiểm toán theo TCCS39:2022/TCĐBVN (phương pháp lý thuyết - thực nghiệm) chỉ kiểm tra ứng suất kéo uốn gây ra do tải trọng và nhiệt độ tại vị trí giữa cạnh dọc tấm BTXM thông qua các bất đẳng thức của phương pháp tính.

- Khi kiểm toán kết cấu mặt đường BTXM bằng phương pháp MEPDG, biểu đồ kết quả thể hiện được sự thay đổi các điều kiện yêu cầu theo thời gian từ năm đầu khai thác đến thời điểm cuối của kỳ

tính toán (độ gồ ghề theo thời gian; đứt thanh liên kết giữa các tấm theo thời gian; khả năng nứt tấm theo thời gian). Trong khi đó, kiểm toán theo TCCS39:2022/TCĐBVN (phương pháp lý thuyết - thực nghiệm) không thể hiện được sự thay đổi theo thời gian.

- Khi kiểm toán kết cấu mặt đường BTXM bằng phương pháp MEPDG cho phép xác định được tính ổn định trong các chỉ tiêu của kết cấu mặt đường theo thời gian. Qua kết quả phân tích kết cấu trên ta nhận thấy kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ PTXD có tính ổn định cao theo thời gian, các giá trị của các tiêu chuẩn kiểm tra ít có sự thay đổi từ năm đầu đưa vào khai thác đến thời điểm cuối khai thác. Đây là một tính chất quan trọng khi sử dụng cốt liệu tái chế vì có nhiều nghiên cứu còn băn khoăn về sự ổn định của các tính chất cơ lý của cốt liệu tái chế từ PTXD.

- Không thể so sánh được mức độ chính xác giữa 2 phương pháp tính với nhau vì mỗi phương pháp có các tiêu chuẩn kiểm toán khác nhau. Nhưng nhìn chung, nội dung kiểm toán của phương pháp MEPDG có thể hợp lý hơn do xét đến nhiều yếu tố hơn và cần có nhiều kết quả thực nghiệm về vật liệu, các kết quả đo về khí hậu và số liệu về lưu lượng xe phức tạp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. AASHTO (2015), *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide- A Manual of Practice*, ISBN: ISBN: 978-1-56051-597-5.

[2]. Jonathan Nathan Boone (2013), *“Comparison of Ontario Pavement Designs Using the AASHTO 1993 Empirical Method and the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Method”*, Master Thesis, the University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.

[3]. Husam A. Sadek, Eyad A. Masad, Okan Sirin, Hussain Al-Khalid, Mohammed A. Sadeq & Dallas Little (2014), *“Implementation of mechanistic-empirical pavement analysis in the State of Qatar”*, International Journal of Pavement Engineering, 15:6, 495-511.

[4]. NCHRP (2004), *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*, Project 37-1A, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.

[5]. Nick Thom (2014), *“Principles of Pavement Engineering Second edition”*, ICE Publishing, ISBN 978-0-7277-5853-8.

[6]. N.Q. Phúc và P.T. Hà (2014), *“Sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm phân tích kết cấu mặt đường mềm ở Việt Nam”*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, Số tháng 8/2014.

[7]. N.H. Long và các cộng sự (2018), *“Nghiên cứu các điều kiện cần thiết để áp dụng phương pháp cơ học thực nghiệm trong phân tích kết cấu mặt đường ở Việt Nam”*, Đề tài NCKH cấp Bộ Giao thông vận tải, 2024.

[8]. N.T.Sang, N.V.Tinh, V.V.Hung (2024), *“Nghiên cứu chế tạo bê tông mặt đường sử dụng cốt liệu tái chế và chất thải công nghiệp”*, Hội thảo khoa học quốc gia: Những tiến bộ trong xây dựng, kiến trúc, kinh tế và công nghệ năm 2024.

[9]. Công ty cổ phần tư vấn XDCT giao thông 2 (2012), *“Bảng kiểm toán kết cấu áo đường bê tông xi măng”*, Dự án nâng cấp tuyến đường bộ nối hai tỉnh Phú Yên - Gia Lai, đoạn trên địa phận tỉnh Phú Yên.

[10]. Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), *“Nghiên cứu khai thác nước ngầm tại các tỉnh Duyên hải nam trung bộ nước CHXHCN Việt Nam”*, tháng 3/2009.

[11]. TCCS39: 2022/TCĐBVN, *“Thiết kế mặt đường Bê tông xi măng thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông”*, năm 2022.

[12]. TCCS37: 2022/TCĐBVN, *“Áo đường mềm - yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế theo chỉ số kết cấu SN”*, năm 2022.

[13]. TCVN 11969: 2018, *“Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông”*, năm 2018.

[14]. A. H. Ahmed., S. A. Al-Mishhadani., A. M. Ibrahim, *“Thermal Properties of Recycle Aggregate Concrete with Different Densities”*, Eng.&Tech.Journal, Vol.33,Part (A), No.9, 2015.

[15]. K. H. Milon., M. H. Rashid., M. Debashis., H. Tomzammel, *“Effects Of Aggregate Types On Thermal Properties Of Concrete”*, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 7, pp. 900-907, 2012.

[16]. S. Belarouf., A. Moufakkir., K. Annaba., A. Samaoui, *“Experimantal and numerican thermal properties of concrete materials modified with construction waste for building construction use”*. JP Journal of Heat and Mass Transfer, India, p113-132, 2022.

[17]. S. Magdalena., V. Martin., P. Tereza, *“Thermal Properties of Concrete with Recycled Aggregate”*, Advanced Materials Research Vol. 1054 (2014) p.227-233, Switzerland, 2014.